

Productergonomie

Ontwerpen voor gebruikers

Hans Dirken

© VSSD

Eerste druk 1997, 2e druk 1999, 3e druk 2001

DUP Blue Print is een imprint van:

Delft University Press

P.O. Box 98, 2600 MG Delft, The Netherlands

tel. +31 15 27 85678, telefax +31 15 27 85706, e-mail info@library.tudelft.nl

internet: <http://www.library.tudelft.nl/dup>

In opdracht van:

Vereniging voor Studie- en Studentenbelangen te Delft

Poortlandplein 6, 2628 BM Delft, The Netherlands

tel. +31 15 27 82124, telefax +31 15 27 87585, e-mail: hlf@vssd.nl

internet: <http://www.vssd.nl/hlf>

URL over dit boek: <http://www.vssd.nl/hlf/ergonomie.html>

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

Printed in the Netherlands

ISBN 90-407-1464-9

NUGI 831, 834

Trefw.: ergonomie.

Voorwoord

Het bedenken van nieuwe gebruiksgoederen en het verbeteren van bestaande, vormen de kerntaak voor het industrieel ontwerpen en voor verscheidene andere ingenieursberoepen. Om die taak goed uit te voeren is kennis nodig van technisch construeren en industrieel vervaardigen. Evenzeer is het daarbij onmisbaar om veel te weten van de productgebruikers, van hun capaciteiten, gewoonten en onderlinge verschillen. Techniek is er voor ons mensen, voor het uitbreiden, verbijzonderen en vergemakkelijken van ons functioneren. Productontwerpen wordt dus ook geïnspireerd en gericht door inzichten in wat productgebruikers kunnen met, en nodig hebben voor, hun ledematen, zintuigen en brein. Productergonomie verschaft die inzichten, feiten en methoden.

Dit studieboek is vooral voor technici bedoeld. Het is een inleiding tot de ergonomie van gebruiksgoederen en bedoelt inzichten en overzichten te bieden betreffende de directe omgang van mensen met hun dagelijkse hulpmiddelen: thuis, op het werk, bij vervoer, ontspanning en dergelijke. Die omgang, genoemd mens-product interactie, kan worden geanalyseerd met biologische, psychologische én technische kennis en methoden. Daarmee is het ook gemakkelijker en meer verantwoord producten te bedenken en technisch te detailleren, te beoordelen en te kiezen. Die productergonomische kennis helpt bij product-innovatie en dan vooral in het streven naar gebruikskwaliteiten: nut, efficiëntie, comfort en veiligheid.

In het boek staat centraal het model van mens-product interactie. Belangrijke ergonomische beslissingen (o.m. de zogenaamde 'ontwerptypen') bij het ontwikkelen van seriematig te fabriceren gebruiksgoederen worden behandeld en voorzien van richtlijnen en achtergronden. De gebruiksgoederen worden in vele typen onderscheiden en functioneel gespecificeerd, naar gelang zij verschillende lichamelijke, zintuiglijke of mentale functies ondersteunen. Vele ontwerpvoorbeelden worden daarbij gegeven plus normen en werkwijzen.

Na elk hoofdstuk staat een lijst met kernbegrippen, met hun relatieve belang en of zij vooral kennis of inzicht of toepassing betreffen. Tevens volgen dan vragen voor controle, het doordenken en toepassen. Het studieboek is in menig opzicht ook een handige bron voor de ontwerppraktijk. De literatuurverwijzingen zijn beperkt gehouden.

De stof is ontleend aan de ergonomische literatuur, maar evenzeer aan een jarenlange ervaring met doceren en toepassen van kennis van industriële productontwikkeling. Het is de bedoeling iets over te brengen van de habitus van de ontwerper, die altijd zoekt naar mogelijkheden voor product-innovatie ten bate van velerlei gebruikersgroepen in allerlei gebruikssituaties. De 'productergonomische

blik' hoort daarbij. Bij ontwerpprojecten horen ook ergonomische modelvorming, berekeningen en proefondervindelijk onderzoek; ook de grondbeginselen daarvan worden in de tekst behandeld.

Het tot stand komen van dit inleidende studieboek nam jaren in beslag. De reacties van vele generaties studenten hebben de opzet en presentatie mede gestuurd. Het is echter vooral de hulp van diverse medewerkers van onze Faculteit Industrieel Ontwerpen van de Technische Universiteit Delft die onmisbaar is geweest. Zij gaven kritiek en aanmoediging en hielpen met illustraties en tekstverzorging. Dank gaat uit naar ir. M.C. Alders, dr.ir. B.J. Daams, ir. J.C. Danhof, dr.ir. R.H.M. Goossens, ir. P.N. Hoekstra en ir. O.D. Rietkerk. Veel waardering verdient eveneens J.E. Schievink van de VSSD. Fouten en onvolkomenheden in dit boek zijn echter geheel te wijten aan de auteur.

prof.dr. J.M. Dirken, Eur Ing
TU Delft, zomer 1997

Bij de tweede druk

De tekst is ongewijzigd gebleven, behoudens enkele kleine verwijzingen, aanvullingen en correcties, waaronder vooral in de literatuurlijst.

prof.dr. J.M. Dirken, Eur Ing
TU Delft, november 1998

Bij de derde druk

De tekst is wederom ongewijzigd gebleven, behoudens vele kleine veranderingen, zoals correcties en aanvullingen.

prof.(em) dr. J.M. Dirken, Eur Ing
Leiden, juli 2001

Inhoud

VOORWOORD	5
DEEL I. ALGEMENE ACHTERGRONDEN EN DOELSTELLINGEN	13
1. HET PROBLEEMGEBIED	15
Samenvatting	15
1.1 Wetenschap en Techniek	15
1.2 Industrieel Ontwerpen	21
1.3 Ergonomie	25
1.4 Vier-pilaren model	31
1.5 De opzet van dit boek	35
Begrippen	37
Vragen en suggesties	38
2. MENS EN HULPMIDDEL	40
Samenvatting	40
2.1 Historie van technocultuur	40
2.2 Het onderscheiden van producten naar gebruik	45
2.3 Indeling in ergonomische specialisaties	49
Begrippen	56
Vragen en suggesties	57
3. MODELLEN EN SYSTEMEN	59
Samenvatting	59
3.1 Denktuigen	59
3.2 Theorie van levende systemen	63
3.3 Enkele ergonomische modellen	68
3.4 Het Mens-Product Interactiemodel	73
Begrippen	79
Vragen en suggesties	80
4. DE ONTWERPUITDAGING DOOR DE MENSELIJKE VERSCHIEDENHEID	82
Samenvatting	82
4.1 De normaal-verdeling	82
4.2 De zeven ergonomische ontwerptypen	87
4.3 De vraag naar bronnen en data	96
4.4 Ontwerpen voor herkenbaarheid en gebruik	100
4.5 Waar productergonomie minder ontwerprelevant is	104
Begrippen	106
Vragen en suggesties	107

DEEL II. FYSIEKE ERGONOMIE	109
5. INLEIDING TOT DE FYSIEKE ERGONOMIE	111
Samenvatting	111
5.1 Relatie met het eerste deel	111
5.2 Een indeling van fysiek ondersteunende producten	116
5.3 De fysieke aspecten	118
5.4 Een matrix van producttypen en kennisgebieden	121
Begrippen	122
Vragen	122
6. STATISCHE ANTROPOMETRIE	124
Samenvatting	124
6.1 Antropometrie	124
6.2 Modelling in de statische antropometrie	128
6.3 Bronnen van lichaams-variantie	139
6.4 Ontwerpen van kleine verblijfsruimten (cabins)	149
6.5 Ontwerpen van middelen voor lichaamsondersteuning (supports)	154
6.6 Ontwerpen van persoonlijke uitrusting (outfits)	159
Begrippen	165
Vragen	166
7. DYNAMISCHE ANTROPOMETRIE	169
Samenvatting	169
7.1 Houdingsverandering en beweging	169
7.2 Gewrichtswerking	170
7.3 Bewegingsparameters	177
7.4 Lopen	179
7.5 Ontwerpen van middelen voor lichaamsondersteuning (vervolg)	179
7.6 Ontwerpen van persoonlijke uitrusting (vervolg)	186
7.7 Ontwerpen van handvatten, verpakking en lasten (grips, packs and loads)	189
Begrippen	199
Vragen en suggesties	201
8. PASSIEVE KRACHTOPVANG	202
Samenvatting	202
8.1 De krachten op en in het lichaam	202
8.2 Ontwerpen van middelen voor lichaamsondersteuning (slot)	208
8.3 Ontwerpen van handvatten (vervolg)	214
8.4 Ontwerpen van handwerktuigen (tools)	217
Begrippen	228
Vragen en suggesties	229

9. FYSIEKE INSPANNING EN ACTIEVE KRACHTSUITOEFENING	231
Samenvatting	231
9.1 Fysieke inspanning	231
9.2 Spierarbeid	234
9.3 Fysiek vermogen en belastingsgraad	244
Begrippen	250
Vragen en suggesties	251
10. HET BEDIENEN VAN PRODUCTEN VIA BEDIENINGSCOMPONENTEN	253
Samenvatting	253
10.1 Vanaf eenvoudig gebruik, via hanteren, naar bedienen	253
10.2 Bediening als input in het product	254
10.3 Bedieningsfasen en -patronen	256
10.4 Typen van bedieningscomponenten	258
10.5 Ontwerp-, keuze- en installatie-overwegingen	260
10.6 Trend in controls	264
Begrippen	266
Vragen en suggesties	266
11. HET LEREN EN BEGRIJPEN VAN COMPLEXERE BEDIENINGSPROCESSEN	268
Samenvatting	268
11.1 Processen en factoren bij het leren bedienen	268
11.2 Het kennen van beweging-effect relaties	272
Begrippen	277
Vragen en suggesties	277
DEEL III. SENSORISCHE ERGONOMIE	279
12. ZINTUIGEN ALS VENSTERS NAAR DE BUITENWERELD	281
Samenvatting	281
12.1 De instroom van informatie	281
12.2 Zintuigen als huidspecialisatie	283
12.3 Zintuigen als vensters naar de buiten- en binnenwereld	284
12.4 Producten voor de zintuigen	289
12.5 Soorten zintuigen	290
12.6 Vensterspecificaties	295
Begrippen	300
Vragen en suggesties	301
13. HET AUDITIEVE ZINTUIGSYSTEEM	303
Samenvatting	303
13.1 Bouw, werking en meeteenheden	303
13.2 De auditieve waarnemingskwaliteiten	307
13.3 Auditieve signaalgevers (audio-displays)	310
Begrippen	311

Vragen en suggesties	312
14. LAWAAI, VÓÓRKOMEN EN VOORKÓMEN	314
Samenvatting	314
14.1 Lawaai-effecten en lawaai vóórkomen	314
14.2 Geluidsarm ontwerpen	319
Begrippen	321
Vragen en suggesties	321
15. HET VISUELE ZINTUIGSYSTEEM	323
Samenvatting	323
15.1 Algemene bouw en werking van het oog	323
15.2 Visuele processen	327
15.3 Visuele waarnemingskwaliteiten	330
15.4 Het waarnemen van kleur, helderheid, diepte en beweging	334
15.5 Blikvelden	340
15.6 Verlichting	342
Begrippen	344
Vragen en suggesties	345
16. WAARNEMING EN ONTWERP VAN VISUELE VORMEN, PATRONEN EN KLEUREN	347
Samenvatting	347
16.1 Vorm en patroon als gevolg van visueel organiseren	347
16.2 Het ontwerpen van codes	349
16.3 Kleur als biologisch, fysisch en cultureel verschijnsel	353
16.4 Kleursystemen en coderen met kleur	355
Begrippen	359
Vragen en suggesties	360
17. VISUELE SIGNAALGEVERS (DISPLAYS): METERS, SCHALEN EN ELEKTRONISCHE INDICATOREN	363
Samenvatting	363
17.1 Het gebruik van visuele signaalgevers	363
17.2 Technische oplossingen voor dynamische visuele signaalgevers	366
17.3 Richtlijnen voor de uitvoering van schalen	369
17.4 De elektronische indicatoren en elektronisch gegenereerde tekens	375
Begrippen	377
Vragen en suggesties	377
DEEL IV. COGNITIEVE ERGONOMIE	379
18. DENKEN EN BESLUITEN OVER PRODUCTEN	381
Samenvatting	381
18.1 Informatie-verwerking in het mens-product interactie model	381

18.2	Wat van cognitieve ergonomie al behandeld werd	385
18.3	Het product in het brein	386
18.4	Het leren bedienen	389
18.5	Gebruiksonderzoek	392
	Begrippen	393
	Vragen en suggesties	394
19.	MENTALE BELASTING	396
	Samenvatting	396
19.1	Problemen van definiëren en meten	396
19.2	Het principe van onmiddellijke kennis van resultaat	401
19.3	Het korte-termijn geheugen	403
19.4	Activatie-niveau en prikkelarmoede	405
19.5	Tekens van mentale inspanning en vermoeiing	410
19.6	Een tiental geboden voor ontwerpen van intelligente producten	412
	Begrippen	413
	Vragen en suggesties	413
DEEL V.	ONTWERPEN EN BEOORDELEN VAN PRODUCTFUNCTIONALITEIT	415
	ERGONOMISCHE GEBRUIKSFUNCTIONALITEIT: NUT, EFFICIËNTIE, COMFORT EN VEILIGHEID	417
	Samenvatting	417
20.1	Verband met wat voorafging	417
20.2	Productfunctionaliteit	418
20.3	Nut van gebruiksgoederen	420
20.4	Efficiëntie en effectiviteit	422
20.5	Comfort en discomfort	428
	Begrippen	434
	Vragen en suggesties	435
21.	VEILIG PRODUCTGEBRUIK	436
	Samenvatting	436
21.1	Productveiligheid en ergonomie	436
21.2	Variatie in mens-product interactie	437
21.3	Factoren bij product(on)veiligheid	441
21.4	Multi-causaliteit, ketens en netwerken van voorvallen	448
21.5	Ongevalsestatistiek	450
21.6	Bescherming	451
21.7	Ontwerpen van veilige producten	455
	Begrippen	458
	Vragen en suggesties	459

22. PRODUCTERGONOMIE BIJ ONTWERPEN EN EVALUEREN VAN	
GEBRUIKSGOEDEREN	461
Samenvatting	461
22.1 Innovatie van gebruiksgoederen	461
22.2 Het ontwerpproces en de ergonomische inbreng	466
22.3 Het ergonomisch evalueren van bestaand gebruiksgoed	470
22.4 Het ontwerpen voor gehandicapten en andere bijzondere gebruikersgroepen	471
Begrippen	476
Vragen en suggesties	477
Z-TABEL	479
LITERATUURLIJST	480
INDEX	486

Deel

I

Algemene
achtergronden en
doelstellingen

1

Het probleemgebied

Samenvatting

Productergonomie is een jong vakgebied met een nauwe relatie vooral tot het industrieel ontwerpen. Beide zijn toegepaste wetenschappelijke disciplines. De achtergrond wordt verkend door te kijken naar de aard, doelstelling en ontwikkeling van wetenschap en techniek. Die achtergrond is breed en vaak abstract, maar nuttig om te kennen. Zo wordt duidelijk welke plaats beide jonge wetenschappelijke disciplines innemen in een groter geheel. Ook wordt zo duidelijk welke werkwijzen, denkwijzen en verplichtingen daaruit voortkomen. De waarde van menskunde voor technologie in het algemeen wordt belicht. Daarna wordt een omschrijving van industrieel ontwerpen gegeven, als voorbeeld van een technische discipline met een menskundig accent, gevolgd door een behandeling van de ontwikkeling en taken van de algemene ergonomie. Productergonomie vormt een elementair deel van de fundamentele van industrieel ontwerpen en heeft daarmee ook belang voor productontwikkeling in bredere zin. In dit kader worden de belangrijkste kenmerken van de ergonomie gegeven. Tenslotte wordt de opzet van de rest van het studieboek uitgelegd.

1.1 Wetenschap en Techniek

Zowel ergonomie als industrieel ontwerpen zijn betrekkelijk jonge vakgebieden. Het kan verhelderend zijn beide te stellen tegen de algemene achtergronden van wetenschap en techniek. Zodoende worden hun aard, positie en verbanden duidelijker. Het inzicht daarin levert een kader voor wat er in dit studieboek verder wordt behandeld.

Soorten en doelen van wetenschap

Wetenschap is in de moderne maatschappij een belangrijke bedrijvigheid geworden. Velen vinden er een beroep in, als onderzoeker, onderwijzer of toepasser (in de Europese Unie in 2000 een 5,3% van de actieve bevolking, in de V.S. 8,1%).

Het wetenschappelijk bedrijf is als het verstand van een maatschappij: het is niet feilloos noch volledig, maar wel noodza-



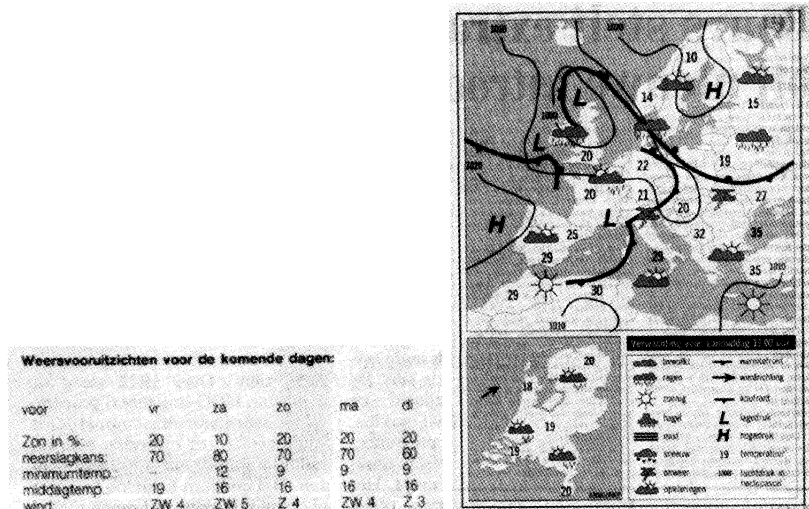
Figuur 1.1 Oude wetenschap: middeleeuwse voorstelling van Pythagoras, 6e eeuw voor Chr. (Lawlor, 1982).

kelijk voor het continueren en ontwikkelen van onze samenleving. Er zijn vele wetenschappen die op verschillende wijzen kunnen worden ingedeeld. Er zijn eeuwenoude en relatief jonge wetenschappen, bijvoorbeeld filosofie versus ergonomie (zie ook figuur 1.1). Er zijn de meer fundamentele wetenschappen, die zo genoemd worden omdat zij kennis en methoden toeleveren aan vele andere wetenschappen, bijvoorbeeld wiskunde. Er zijn ook meer toegepaste wetenschappen om specifieke problemen van alledag op te lossen, bijvoorbeeld industrieel ontwerpen of vliegtuigbouw. Het is het doel van een wetenschap om een bepaalde sector van verschijnselen te beschrijven, te voorspellen en te beheersen: Eerst inventariseert men wat er is, vervolgens worden de regelmatigheden (invarianten) opgespoord en overzichtelijk en verklarend in modellen, formules of theorieën vastgelegd, en tenslotte kan men door die kennis macht in de sector uitoefenen. Het kan gaan om alleen maar het bevredigen van nieuwsgierigheid (astronomie), maar de nadruk kan ook liggen bij het oplossen van bepaalde problemen van praktische aard (bijvoorbeeld vervaardigingsleer). Er zijn wetenschappen die vooral beschrijvend van aard zijn (geschiedenis), of die zich juist richten op de methoden (hoe te werk te gaan). Een hoger doel dan die 'wat vragen' en 'hoe vragen' is echter het beantwoorden van de 'waarom vragen'. Om de eeuwige 'waarom vragen' van kinderen te beantwoorden zijn er scholen uitgevonden. Weten waarom, betekent dieper inzicht, meer geestelijke bevrediging en een betere basis voor theorie en toepassing.

Spelregels van wetenschap

Wetenschap is een menselijk bedrijf dat vele spelregels kent. Indien die regels niet worden gevolgd kan er weliswaar sprake zijn van een interessante activiteit, maar niet van wetenschap. Wetenschappelijke activiteiten dienen openbaar en controleerbaar te zijn. Er dient dus gepubliceerd te worden, en wel zodanig dat een ander het onderzoek herhalen en toetsen kan. De gevolgde methoden dienen eenduidig en samenhangend te zijn en de begrippen en verklaringen zo sober mogelijk. Men moet voortbouwen op eerdere publikaties, dus niet telkens opnieuw het wiel uitvinden. Zodoende werkt men aan het opstellen van doelmatige meet- en verwerkingswijzen van gegevens, en aan het opstellen van een kernachtig 'woordenboek' van begrippen en theorieën. Die elementen vormen een 'corpus van kennis en methoden', dat een bepaalde wetenschap kenmerkt. Dat woordenboek verandert en groeit, en leidt soms via opsplitsing of combinatie tot een nieuwe wetenschap, ook wel genoemd 'nieuwe discipline'. Zo zullen we straks zien dat ergonomie een discipline is die een bepaalde selectie uit technische en menswetenschappen combineert, en wel met het oog op het beantwoorden van de vraag 'hoe en waarom mensen technische middelen en -systemen gebruiken'. Wat eenmalig is of niet regelmatig is, kan dus, hoe belangrijk dat misschien ook is, geen onderwerp van wetenschap zijn. Omdat astronomie wel en astrologie niet volgens de wetenschappelijke spelregels plegen te worden bedreven, is de eerste wel en de tweede geen wetenschap. Er zijn wel gradaties van regelmaat, wetmatigheid, ofwel

voorspelbaarheid: de wetten van de mechanica voorspellen trefzekender dan de kansregels uit de biologie of psychologie; het weer schijnt in principe slechts voor enkele dagen te kunnen worden voorspeld (figuur 1.2); en hoe gebruiker x een product y precies hanteert is soms maar in geringe mate voorspelbaar uit enkele eigenschappen van x en y .



Figuur 1.2 Voorspelbaarheid?

Opleiden en leren als garantie

Wetenschap beoefenen betekent: geleerd hebben en doorgaan met leren. Men dient voornoemd corpus van kennis en methoden in brein en in vingers te hebben, om samen met vakgenoten een volgend steentje te kunnen bijdragen. Het betekent zowel systematisch (volgens de spelregels) als creatief (vernieuwend) te werk te gaan, of men nu met grondslagen of toepassingen bezig is. Verzamelen en uitpluizen worden afgewisseld met scheppend werken. Men kan zich overigens niet zonder meer ergonomoom of ingenieur noemen. Afnemers van diensten willen graag garanties voor de vakkundigheid, bijvoorbeeld door diploma's of registratie als vakman. De opleiding en de spelregels moeten daarom garantie geven aan de maatschappij dat een persoon met een erkende wetenschappelijke vakopleiding kundig en verantwoordelijk te werk gaat.

Ontwikkeling van wetenschappen

Wetenschap is sinds enkele eeuwen één van de belangrijkste manifestaties van de menselijke cultuur. Over de hele wereld is de wetenschap van groeiend sociaal en economisch belang. Het blijft echter mensenwerk, dus er zijn richtingen en opvattingen die onderhevig zijn aan modegolven. Die golven worden lang niet alleen verstandelijk en economisch bepaald. De discipline Wetenschapsdynamica bestudeert dergelijke voorkeuren en hun opkomst, ontwikkeling en neerslag in

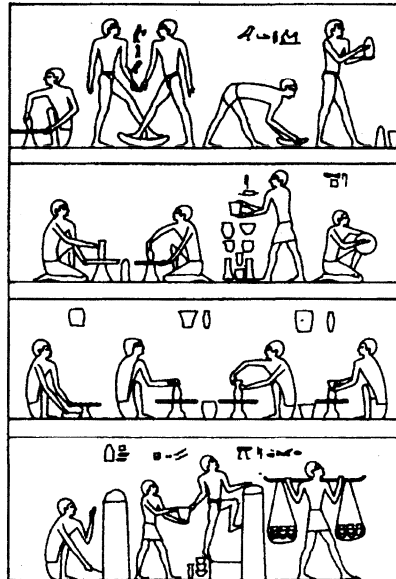
activiteiten en organisaties en maatschappij. De wetenschappen dekken overigens niet alles wat wetenswaardig is. Er zijn regelmatig nieuwe sectoren van verschijnselen die onder de aandacht komen, om met de min of meer algemeen geldende spelregels van wetenschap onderzocht te worden. Vandaar dat er nieuwe disciplines ontstaan, zoals ergonomie en industrieel ontwerpen. Het aantal wetenschappen is groot en neemt nog steeds toe. Sommige verkrijgen in korte tijd brede belangstelling en grote omvang (nu bijvoorbeeld biotechnologie, moleculaire genetica, informatica), enkele andere krimpen weer of verdwijnen bijna (zoals Volkskunde (studie van folklore). Landen kunnen hierin onderling danig verschillen.

Techniek en technologie

Techniek als zodanig is geen wetenschap maar een brede groep van inzichten, vaardigheden, methoden, activiteiten en hun voortbrengselen, die soms wetenschappelijk kunnen worden ondersteund en verklaard. Het gaat er bij techniek om, de materiële omgeving naar 's-mensenhand te zetten door middel van ordening en omzetting. Het voortbrengen van hulpmiddelen ten bate van mensen, en de inzichten en vaardigheden om die te bedenken, maken, gebruiken, verplaatsen e.d.: dat alles heet techniek. Daar is sprake van sinds de eerste gerichte worp met een steen, het eerste hanteren van een stok of het eerste aansteken van een vuur. De historie van de techniek bestrijkt dus meer dan een miljoen jaar. Techniek betekende aanvankelijk handwerk, later ambacht en nu in toenemende mate ook breinwerk (zie figuren 1.3 tot en met 1.6).



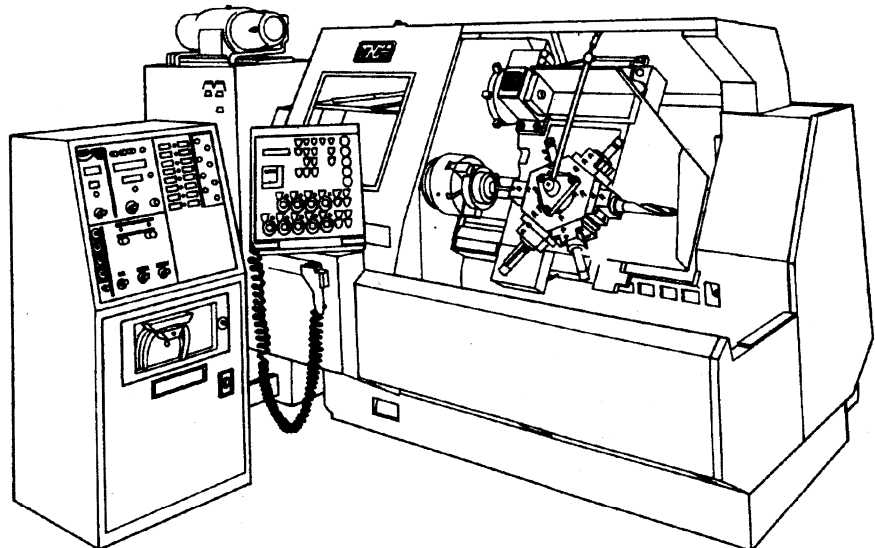
Figuur 1.3 *Bewerkingstechniek in de steentijd (Strandh, 1979).*



Figuur 1.4 *Oud- Egyptisch handwerk: het maken van potten (Strandh, 1979).*



Figuur 1.5 19e eeuwse ambacht (Forty, 1992).



Figuur 1.6 Verspanen van een technisch machinesysteem met brein (Strandh, 1979).

Techniek kan velerlei betreffen: wegen, gebouwen, voedsel, kleding, dagelijks hulpmiddel, productiemachines, vervoer- of communicatiesystemen etc. Indien het wat, hoe en waarom van die technische verschijnselen wetenschappelijk wordt aangepakt, is er sprake van technische wetenschap, ofwel technologie. Het

achtervoegsel ‘-logie’ betekent ‘de leer van’. Technologie omvat het systematisch analyseren, ontwerpen en beheersen van materie, energie en informatie.

Ook technologie evolueert in de loop der tijd. Rond 1830 ontwikkelde Lipkens (die in 1842 de eerste directeur van de Delftse ingenieursopleiding zou worden) een waarschuwingssysteem. Hiervoor werden signaalarmen geplaatst op een aantal kerktorens op een rij, zodat Den Haag snel met het Belgische strijdtoneel verbonden kon worden. Dit was eenvoudig en doeltreffend. Het ontwerpen van een nieuw telecommunicatie-systeem is nu echter een zaak van vele specialisten met diepgaande technische en organisatorische kennis. Datzelfde geldt voor installatie, onderhoud en reparatie van zulk een systeem.

Waarde van techniek en technologie

Techniek is weliswaar op zich interessant, maar toch in de eerste plaats bedoeld om nuttig te zijn, om mensen te helpen. Over dat laatste zal in dit boek veel gezegd worden. Techniek hoeft lang niet altijd wetenschappelijk onderbouwd te zijn, evenmin als dagelijks denken en doen dat steeds zijn. Het is een tweede natuur van mensen om hulpdingen te maken en te gebruiken. Vanwege die zeer lange technisch-culturele historie is een groot deel van de techniek echter zo ver ontwikkeld, dat men haar pas na veel leren en ervaren begrijpt, beheerst en kan gebruiken. Dat geldt nog sterker voor het ontwerpen, vervaardigen of repareren van producten. Kon men bijvoorbeeld vroeger zijn eigen houten bank nog wel in elkaar zetten en zo nodig repareren, tegenwoordig is dat met stalen en kunststof meubelen minder eenvoudig. Een moderne samenleving wordt door vele en ingewikkelde technische producten, -systemen en -methoden bijeen gehouden. Het leven van alle dag wordt mogelijk gemaakt en bijna permanent ondersteund door techniek. Werken, wonen, vervoeren, leren, communiceren en dergelijke zijn zonder technologie niet denkbaar. Uitval van een energie-centrale of het afsluiten van een toeweg kan al snel het leven ontwrichten. Bij het wegdenken van alle meubilair en huishoudelijke toestellen doemt een leefsituatie op van vóór de middeleeuwen. Er zijn veel technici nodig in onze maatschappij vanwege de complexiteit, de hoeveelheid en de belangrijke rol van techniek. Wetenschappelijk opgeleide technici zijn onmisbaar voor het onderbouwen, onderhouden en ontwikkelen van onze ‘technocultuur’. Niet alle geluk komt van techniek en technologie, maar zonder die twee is het leven kommer en kwel.

De basis van technische innovatie

Wetenschap en Techniek staan in nauw verband met elkaar. Er zijn weliswaar vele wetenschappen die geen technische verschijnselen tot onderwerp hebben, maar er zullen in ieder onderzoeksgebied diverse technische instrumenten voor meten, analyseren, communiceren e.d. worden toegepast. Wetenschappers zullen daarnaast ook in hun huiselijk leven technische producten gebruiken. Technisch handelen zal maar af en toe, of gedeeltelijk, wetenschappelijk te werk gaan. Dit is zo omdat techniek soms vanzelfsprekend en gewoon is, maar ook omdat het wordt

voortgestuwd door ervaring, intuïtie en proberen. Vele technische innovaties (verbeteringen en vernieuwingen) zijn slechts kleine variaties op traditionele oplossingen of een nieuwe combinatie van bekende elementen. In dat geval zijn ambachtelijke ervaring en gevoel eerder de motor tot innovatie geweest dan wetenschappelijk, bewust gehanteerde, regels. Wezenlijke vernieuwingen, technische doorbraken of innovatieve principes komen echter zelden uit ambachtelijke tradities aanwaaien. Zij vergen systematisch speuren en ontwikkelen, of tenminste het technisch-wetenschappelijk voorbereid zijn. Ontdekken veronderstelt kundig en toegespitst waarnemen, doen en denken. Een technisch-wetenschappelijke achtergrond vormt daartoe geen garantie, maar vaak wel een voorwaarde (zie bijvoorbeeld Grauls 1993, 1 en 2).

Menskunde en sociale wetenschap in technologie

De basis van de technische wetenschappen, ofwel technologie, bestaat uit de toepassing van wiskunde en natuurwetenschappen (fysica, chemie, biologie). Het gaat echter in wezen om het bedenken, vervaardigen en toepassen van hulpdingen voor mensen. Soms gaat het om hulpmiddelen voor dieren of andere elementen in de natuur, maar ook dan is dat uiteindelijk voor door mensen bepaalde doelstellingen. Uiteindelijk gaat het niet om het technisch kunnen op zichzelf, maar om de functie die het vervult voor mens en maatschappij. Daarom is technologie méér dan toegepaste natuurwetenschap, het is ook voor een deel toegepaste menskunde. De technicus en de technische wetenschapper kunnen voor een deel met die humane doelen rekening houden vanuit een eigen inlevingsvermogen. Dat is echter niet voldoende. De verstrekkendheid en complexiteit van techniek vergen zo langzamerhand dat de mens- en maatschappijwetenschappen een belangrijk onderdeel zijn van de technische wetenschap. De ingenieur is niet alleen de bedenker en maker van techniek, hij is evenzeer de bedenker en maker van de humane, sociale en economische functievervulling daarvan. De ingenieur kan een goede functievervulling bereiken door rekening te houden met die humane en sociale voorwaarden voor en doelstellingen van technische oplossingen, en met de gevolgen van zijn oplossing op langere termijn en in breder verband (Baudet, 1986).

In dit studieboek zullen we het vooral hebben over die humane voorwaarden en effecten. Dat zal worden toegespitst op de gebruiker en zijn hanteren van alledaagse technische hulpmiddelen. Een dergelijk menskundig inzicht vormt een wezenlijk onderdeel van technische wetenschap.

1.2 Industrieel Ontwerpen

De technische wetenschappen kunnen op verschillende manieren worden ingedeeld. In de wereld kan men bij de technische universiteiten en hogescholen dan ook verschillende indelingen van faculteiten en afdelingen aantreffen. Die weerspiegelen de historische groei en de positie van een land of streek. Hoe dat onderscheid ook uitvalt, elke discipline is ooit ontstaan uit een voorweten-

schappelijke, ambachtelijke en dus toepassingsgerichte sector. De technisch-wetenschappelijke disciplines hebben dan ook veel gemeenschappelijke kenmerken: het bedenken en maken van hulpmiddelen, en het toepassen van natuurwetenschappelijke inzichten en methoden. Als criterium voor indeling wordt vaak het type van product gehanteerd: werktuigen, schepen, gebouwen, infrastructuur (wegen, terreinen e.d.), vliegtuigen en zo voort. Soms wordt het natuurwetenschappelijk aspect als criterium gebruikt: elektrotechniek, chemische technologie, bio-techniek. Industrieel Ontwerpen kan gekarakteriseerd worden door de klasse van producten die zijn onderwerp van studie is. Dat zijn duurzame consumentengoederen en professionele apparaten, die industrieel en in serie zijn vervaardigd en over het algemeen intensief en frequent worden gebruikt in het dagelijks leven. Tegelijkertijd betreft dit die onderdelen van verscheidene andere ingenieursdisciplines, zoals scheepsbruggen, cockpits, regelzalen, commandocentra e.d., waar de interactie tussen mens en technisch systeem wordt geconcentreerd. Industrieel ontwerpen is in menig opzicht slechts een pregnant voorbeeld van ergonomie-toepassing, zonder uitsluiting van die toepassingen op diverse andere technische professies en ingenieurswetenschappen.

Ontstaan van de studie Industrieel Ontwerpen

Industrieel Ontwerpen is een van de jongere technische wetenschappen. Het komt voort uit een bestaand ambacht en een combinatie van werktuigbouwkunde, bouwkunde en materiaalkunde, maar het bevat eveneens elementen uit de menskunde, kunsthistorie, economie en organisatie-kunde. Dat is althans in Nederland zo begonnen sinds eind jaren zestig een studierichting Industrieel Ontwerpen werd opgericht aan de Technische Universiteit Delft. Deze studierichting houdt zich bezig met het ontwerpen van duurzame consumentengoederen en van professionele apparatuur. Door het oprichten ervan heeft men zich gecommitteerd om deze sector van technische verschijnselen te onderzoeken volgens de wetenschappelijke spelregels. Dat betekende een langdurig proces van ontwikkelen, dat uiteraard ook nu nog doorgaat. De universitaire opleiding tot ingenieur Industrieel Ontwerpen bestaat niet alleen in Delft en in andere landen vindt men in groeiend aantal soortgelijke opleidingen. Op het nivo van hoger beroepsonderwijs (HBO) zijn er verschillende scholen die opleiden tot Industrieel Ontwerper c.q. Industriële Productontwikkeling. Bij kunstacademies wordt hierbij de nadruk gelegd op de vormgeving van producten. Het wetenschappelijk aspect is voor HBO-opleidingen van minder belang. Praktisch toepasbare kennis van de ergonomie is echter voor alle industrieel ontwerpers onontbeerlijk.

De producten van Industrieel Ontwerpen

Ook industrieel ontwerpen kan dus worden getypeerd aan de hand van het soort product dat onderwerp van studie is, zoals bij scheeps-, vliegtuig- of weg- en waterbouw. Bij industrieel ontwerpen hebben we te maken met gebruiksgoederen, of precieser: hulpmiddelen, die industrieel in serie of massa worden gemaakt. Deze

producten worden intensief en/of veelvuldig gebruikt, zowel door argeloze consumenten als door professionele gebruikers. Dergelijke producten variëren bijvoorbeeld van eetgerei tot kasten, van speelgoed tot telefoons, enzovoort.

De grenzen van het vakgebied zijn niet scherp te trekken, maar industrieel ontwerpen houdt zich minder bezig met productie-machines, gebouwen of infrastructuur. Het gaat veelal om technische gebruiksgoederen op menselijke schaal, die onder handbereik zijn of bestemd zijn om mee te dragen. Ook is het kenmerkend dat het product meestal direkt contact heeft met huid en zintuigen. Echte verbruiksgoederen zoals voedings- en genotmiddelen en eenmalige verpakking behoren niet tot minder tot het domein van industrieel ontwerpen. Desalniettemin is een productergonomische denkwijze veelal ook toepasbaar op 'mens-kritische' aspecten van andere ingenieursvakken.

Fundamenten en doel van industrieel ontwerpen

In de afgelopen periode is industrieel ontwerpen gegroeid van een optelsom van oudere disciplines en ambachten tot een volwaardige technisch wetenschappelijke discipline. Er is een zelfstandig vakgebied ontstaan met een deels eigen corpus van kennis en methoden voor het analyseren, bedenken en vervaardigen van nuttige, alledaagse spullen.

De kern van het corpus is een combinatie van kennis uit diverse wetenschappen: technische, menskundige, culturele, economische en bedrijfskundige vakken en van methoden om deze kennis in onderling verband te brengen. Die kennis wordt gebruikt als uitgangspunt bij het productontwikkelen en het beoordelen van producten. Die veelzijdige en geselecteerde kennis is nodig om een behoefte systematisch en creatief te kunnen vertalen in een functie, materiaal, vorm en werking die daarin voorzien.

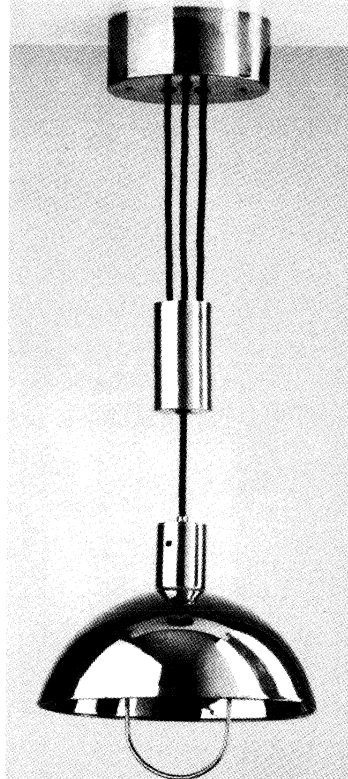
Het bedenken en maken van dagelijkse hulpmiddelen is zo oud als de mensheid zelf en is de essentie van onze technocultuur. Met de industriële revolutie kwam echter de massaproductie op gang en werd men zich bewust van het belang van een systematische aanpak en van een afzonderlijk vakgebied. Verdere ontwikkelingen leidden tot verschillende stromingen, bijvoorbeeld het Bauhaus en de Styling. Het Duitse Bauhaus (1918–1932) benadrukte de culturele en esthetische waarden van de industriële ontwerpen (zie figuur 1.7). De Styling in de U.S.A. (ongeveer 1930–1960) gebruikte aantrekkelijke vormgeving en veelvuldige verandering van de verschijningsvorm als afzet-bevorderend marketing-instrument (zie figuur 1.8).

Nu is industrieel ontwerpen dus langzamerhand een technisch-wetenschappelijke discipline geworden, die er naar streeft om het bedenken, maken en gebruiken van producten volgens de eerder genoemde spelregels grondig en systematisch te overzien, te begrijpen, te verklaren en te verbeteren en de kennis daarover uit te breiden. Dat gebeurt vooral vanwege het grote technische en economische belang van die klasse van producten, maar ook uit nieuwsgierigheid naar wat er gebeurt en wat er mogelijk is in de huidige technocultuur.



Metallwerkstatt
EISEN.
Höhe ca. 35 cm
AUSFÜHRUNG
Messing vernickelt, Glasschirm, Zugfassung

Metallwerkstatt

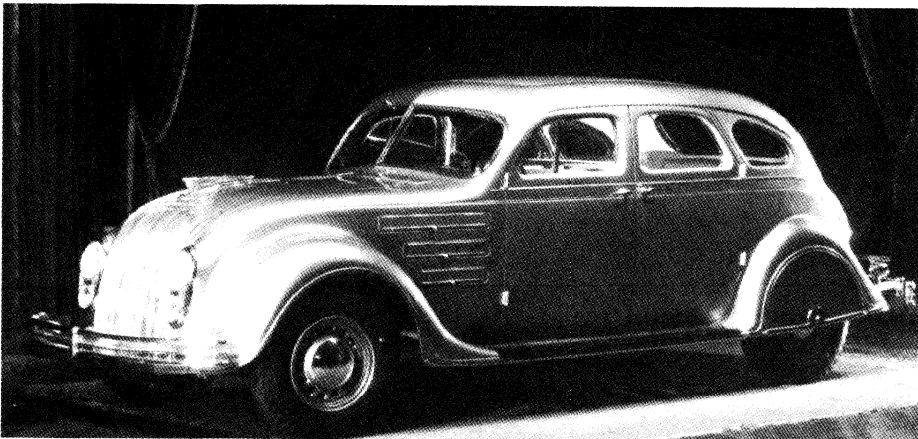


TISCHLAMPE AUS METALL

VORTEILE

- 1 beste Lichtzerstreuung (genau erprobt) mit Jenaer Schottglas
- 2 sehr stabil
- 3 einfachste, gefällige Form
- 4 praktisch für Schreibtisch, Nachttisch usw.
- 5 Glocke festgeschraubt, bleibt in jeder Lage unbeweglich

Figuur 1.7 Bauhaus: lampen (Droste, 1990).



Figuur 1.8 Styling 1934: Chrysler Airflow (Heskett, 1989).

Symbiose van gebruiker en product

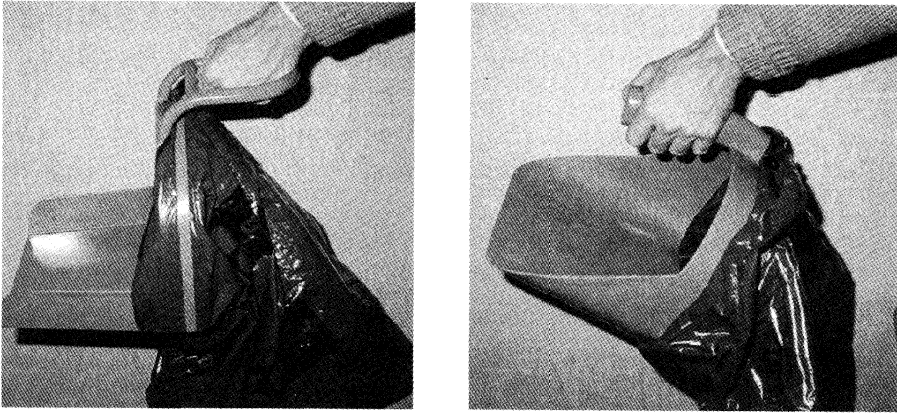
De discipline industrieel ontwerpen omvat dus het bedenken, maken en gebruiken van dagelijkse materiële hulpmiddelen, en het ligt voor de hand daarbij een groot gewicht toe te kennen aan de menskundige aspecten. Uiteindelijk is alle techniek er

voor de mens, maar in het geval van industrieel ontwerpen geldt dat nog sterker wegens het directe contact van de gebruiker met zijn hulpmiddel. Een gebruiker leeft in zekere zin samen met die producten in 'symbiose', dat wil zeggen dat beide partijen er een grote onderlinge afhankelijkheid door hebben. De gebruiker kan zeer afhankelijk zijn van het product, en het product zou niet bestaan als de gebruiker het niet wilde hebben. Voor een deel geldt, dat men is wat men aan hulpmiddelen hanteert. Dit gaat op, omdat juist die producten de mogelijkheden van de menselijke gebruikers, van hun handelen, waarnemen en deels ook hun gevoelens meebepalen. Het zijn materiële middelen die het gedrag van de gebruikers kunnen uitbreiden, verbijzonderen en soms ook beperken. Door deze invalshoek wordt het duidelijk dat er een bepaalde volgorde van werken tijdens het ontwerpen gewenst is. Eerst moet er kennis van de menselijke mogelijkheden, gewoonten en behoeften worden verzameld, om vervolgens op grond daarvan nieuwe materiële functievervullers te bedenken of de bestaande te verbeteren. Dat bedenken gebeurt ook met hulp van de technische en andere kennisgebieden. Er is in ieder geval kennis geboden over de kenmerken, capaciteiten, optima en beperkingen van de toekomstige gebruikers. Er is daarbij behoefte aan twee soorten informatie. Algemene, kwalitatieve kennis kan dienen als inspiratiebron tijdens het ontwerpen. Gedetailleerde, kwantitatieve kennis moet de technische detaillering meebepalen van een goed ontwerp, en maakt toetsing van een concept of product makkelijker. Industrieel ontwerpen is er bij uitstek voor de gebruikers (de 'mission slogan': "creating products for people"). Dat schept de verplichting tot het verwerven van menskundige kennis en het verwerken daarvan in het ontwerp, in goede harmonie met alle andere eisen. Mens-kritische aspecten in het ontwerpen door andere technische wetenschappen verdienen uiteraard soortgelijke overwegingen.

1.3 Ergonomie

Ergonomie ontstond op het moment dat men bewust constateerde dat werk en techniek niet vanzelf op de mens worden afgestemd. Toen realiseerde men zich dat werk en hulpmiddelen kundig en systematisch verbeterd moeten worden om vermoeidheid en ongelukken te verminderen en om de prestaties te verhogen (zie figuur 1.9).

Ergonomie is een betrekkelijk jonge discipline, ongeveer even oud als industrieel ontwerpen. Het begon zich als afzonderlijk vakgebied te onderscheiden tijdens en vlak na de Tweede Wereldoorlog. Oorlogen brengen sinds vanouds grote krachtsinspanningen op het gebied van probleem-oplossen teweeg; dat is een trieste waarheid. Juist in tijden van oorlog worden grote wetenschappelijke en technische sprongen voorwaarts gemaakt en ontstaan er nieuwe vakgebieden, specialisaties en wetenschappen.



Figuur 1.9 Ergonomisch legen van een prullebak (Lombaers, 1990).

Een andere belangrijke factor bij het ontstaan van het vakgebied ergonomie was de toenemende industrialisering. Enerzijds kwamen er door massaproductie grote hoeveelheden van ieder product op de markt, en elk product moest door een grote verscheidenheid van gebruikers naar tevredenheid gebruikt kunnen worden. Hierdoor ontstond er behoefte aan productergonomie. Aan de andere kant was er bij het werken, bijvoorbeeld aan de lopende band, meer aandacht nodig voor de veiligheid en gezondheid van de werknemers, terwijl de werkgevers meer op efficiëntie gingen letten. Hierdoor ontstond er behoefte aan arbeidsergonomie.

De naam ergonomie



Figuur 1.10 Passend werk (Industriebond FNV, 1979).

Aan de Brit Murrell werd toegedicht in 1948 de naam 'Ergonomie' te hebben bedacht, ofschoon de Pool Jastrzebowski die term in 1857 al eens hanteerde (Weerdmeester, 1993). Het woord is samengesteld uit de Oudgriekse woorden 'εργον [ergon] = arbeid, inspanning', en 'νομος [nomos] = wet'. Het betekent 'de leer van de wetmatigheden van menselijk werk'. Het kenmerkende principe van die beginnende ergonomie was: 'pas het werk aan aan de werker, en niet de werker aan het werk'. In de Verenigde Staten van Amerika doopte men het overeenkomstige vakgebied 'Human Factors' ofwel 'Human Factors Engineering'. Zo heet dat daar nog steeds, hoewel de Human Factors Society na verloop van tijd de bredere naam 'Human Factors & Ergonomics Society' aannam. In Duitsland gebruikte men enige tijd de

aanduiding 'Anthropo-technik', nu zegt men echter 'Ergonomie'. De naam Ergonomie heeft internationaal gewonnen, onder andere aangezien de overkoepelende organisatie van professionele landelijke ergonomie-verenigingen de naam 'International Ergonomics Association' draagt. De leden van deze internationale organisatie waren in 2001 ondergebracht in 38 nationale organisaties met tezamen bijna 15.000 leden (de V.S. met 4000, Japan met 2000 leden als grootste, de Nederlandse Vereniging voor Ergonomie met 565 leden). (Internat. Ergon. Ass. Issue 67, Febr. 2001, 679).

De eerste jaren

In de eerste jaren lag de nadruk bij ergonomie op arbeid in dienstverband, vooral op industriële arbeid. Oorzaken van onvolkomenheden in menselijke arbeid werden opgespoord bij machines, technische hulpmiddelen en arbeidsorganisaties, die vervolgens werden verbeterd. Een halve eeuw geleden werkten arbeiders met veel meer lichamelijke inspanning dan nu, en zij liepen bovendien meer risico wat hun gezondheid betreft. Dat wilde men verbeteren, ofwel 'cureren'. Daartoe werden bestaande machines, ruimtes of werkschema's aangepast.

Omdat voorkomen echter beter is dan genezen, ontstond al gauw naast deze curatieve ergonomie een preventieve ergonomie, waarbij men de onvolkomenheden reeds bij het ontwerpen van machines en arbeidsorganisaties trachtte vóór te zijn. In die dagen waren er drie disciplines die kennis toeleverden aan de ergonomie: de inspanningsfysiologie (fysiologie is de leer van de werkingen van het menselijk lichaam), de arbeidspsychologie (psychologie is de leer van het menselijk gedrag) en de technische wetenschappen (waarvan voornamelijk werktuigbouw en werkplaatstechniek).

Verbreiding en verdieping van ergonomie

Sindsdien heeft de ergonomie zich ontwikkeld naar een breder werkterrein en wel, conform de eertijdse aanduiding Antropo-techniek, tot de leer van de directe omgang van de mens met technische hulpmiddelen. De ergonomie beperkt zich niet tot arbeid aan machines in industriële zin, maar omvat ook de interactie met techniek tijdens kantoor- of huishoudelijk werk, bij vervoer, studie, ontspanning en dergelijke. In de periode sinds het ontstaan van de ergonomie hebben de technische hulpmiddelen en systemen een nog grotere dagelijkse invloed gekregen. Veel apparatuur werd ingewikkelder en er werden hogere eisen gesteld aan comfort en efficiëntie. Men kreeg steeds meer oog voor onjuiste inspanning bij het gebruik van technische hulpmiddelen, en de gevolgen daarvan voor gezondheid en welbevinden op de lange-termijn.

De nadruk van de ergonomie verschoof van het curatieve naar het preventieve en dus van het aanpassen naar het ontwerpen. Het vakgebied werd technischer en kreeg ook een bredere menskundige basis. Naast kennis uit de arbeidsfysiologie werd er ook geput uit de anatomie (antropometrie), zintuigleer, bio-mechanica en bewegingswetenschappen (Bernstein 1967). Naast kennis van de arbeidspsycho-

logie werd er ook gebruik gemaakt van andere psychologische specialismen, zoals de psychologische functieleer met kennis omtrent waarnemen, besluiten, leren en dergelijke. Tegelijkertijd werden de methoden en instrumentatie van onderzoek ingewikkelder, en nam het gebruik toe van theorieën en methoden uit de statistiek, systeemleer, cybernetica en informatica. Kortom, de ergonomie groeide in de loop der tijd uit tot een min of meer zelfstandige (nog afhankelijk van veel 'toelevering'), wetenschappelijk onderbouwde discipline en een erkend vakgebied (Bridger, 1995).

Onvolledigheid van ergonomische en technische kennis

Men kan stellen dat het corpus van kennis en methoden in de ergonomie onvolledig is en nog niet voldoende samenhangt. Zulk een onvolgroeidheid is eigen aan de meeste, vooral recent ontstane, disciplines. Er zijn tot nu toe geen dominante theorieën die het grootste gedeelte van de ergonomie omvatten, zoals dat bij oudere wetenschappen, bijvoorbeeld bij de fysica, wel het geval is. De kennis die voor het inzicht in het directe gebruik van technische hulpmiddelen door mensen nodig is, kan worden gekenmerkt als een optelsom van brokjes informatie uit de voornoemde toeleverende disciplines. Dat brengt een verscheidenheid aan termen en deeltheorieën met zich mee, en extra moeite om deze met elkaar in verband te brengen. Veel van de bestaande menskundige kennis schiet bovendien tekort als het gaat om het bedienen of hanteren van techniek.

Hoe mensen hun technische artefacten bedenken en gebruiken, hebben de menswetenschappen nauwelijks bestudeerd. Ook bestaande technische kennis omvat vaak juist niet de interactie-aspecten. Menskunde en technische wetenschappen hebben op het gebied van de ergonomie samen dus nog veel te ontwikkelen. Het voorgaande wil niet zeggen dat de huidige ergonomische kennis niet relevant zou zijn voor technisch handelen. Het verklaart wel dat er telkens weer veel onvolledigheden en onzekerheden opduiken. Zo weten we bijvoorbeeld nog nauwelijks wat er in het brein van gebruikers van telematica apparaten omgaat. Er moet derhalve nog veel worden onderzocht, doordacht en ontwikkeld. De bestaande ergonomische kennis dient ondertussen zeker te worden toegepast voor het bewaken en verbeteren van de kwaliteit van producten en omgevingen. In de volgende hoofdstukken van dit deel zal aandacht worden besteed aan algemene theorie-vorming in de ergonomie.

Specialiseren, integreren of samenwerken

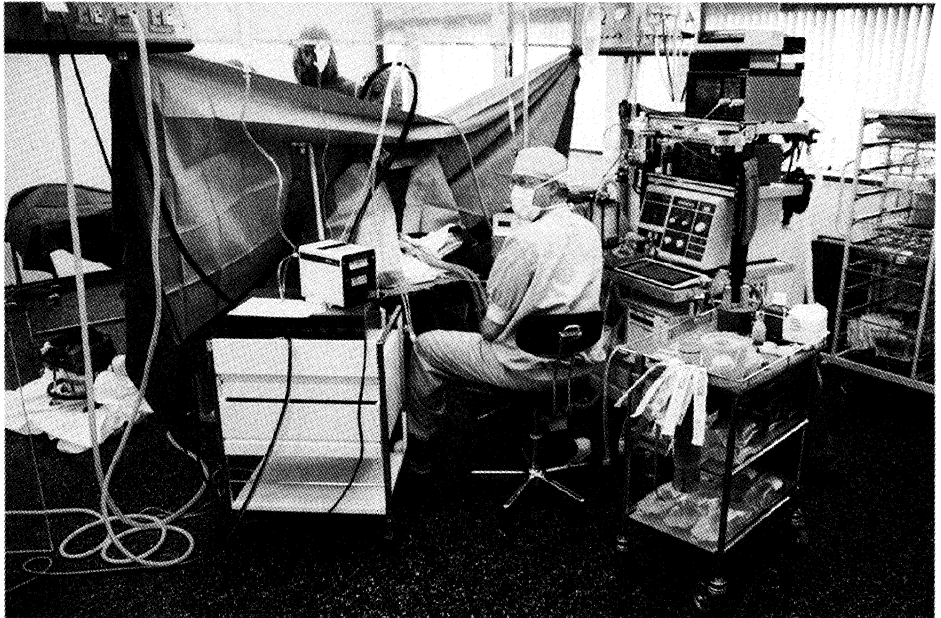
Er zijn vele ergonomische specialisaties ontstaan, waarschijnlijk wegens de nog steeds groeiende verscheidenheid van technische machines en producten.

Zo tekent zich een onderscheid af tussen enerzijds de ergonomie van de machine-arbeid, werkplek- of arbeidsergonomie genoemd, en anderzijds de ergonomie van de technische hulpmiddelen buiten de arbeidsorganisaties (consumentengoederen), ook wel productergonomie genoemd. Er zijn ook verdere specialisaties, zoals luchtvaartergonomie (Wiener & Nagel, 1988; Green et al., 1991) of ergonomie van

scheepsbesturing, ergonomie van kantoorautomatisering of van het openbaar vervoer, van de keuken of de operatiekamer (figuur 1.11).

Deze specialisaties zullen verderop (in 2.3) uitgebreider behandeld worden. Hier willen we graag de vraag beantwoorden wie zich hoe in de ergonomie zou moeten specialiseren (figuur 1.12):

1. Niemand in het bijzonder. Er is lange tijd, ook in ergonomische kring, beweerd dat een ergonoom niet bestaat. Daarmee bedoelde men dat ergonomie altijd samenwerking veronderstelde van verschillende specialisten, namelijk technici en menskundigen, die samen een multidisciplinair team vormen.
2. Een algemene ergonoom, of althans iemand met brede ergonomische kennis, die de technici helpt.
3. De technicus, in een bepaald specialisme werkzaam, die ook het desbetreffende ergonomische deel-specialisme kent.



Figuur 1.11 Ergonomie van de operatiekamer nodig?

- 1. interdisciplinair teamwerk**
- 2. algemene ergonoom**
- 3. ergonomisch geschoolde technicus**

Figuur 1.12 Drie typen van ergonomie beoefenen.

Hoofdvak of bijvak

Zoals wel vaker voorkomt, heeft elk van die drie opvattingen enige geldigheid en worden ze alle drie in praktijk gebracht. Er bestaan ergonomische teams, waarin

technische en menskundige wetenschappers gezamenlijk een ergonomisch probleem oplossen.

Er bestaan ook voltijds werkende ergonomen die door opleiding en ervaring vakman zijn geworden, net zoals dat voor arts, civiel ingenieur of andere beroepen het geval is. Men vindt die ergonomen bij bedrijven, onderzoeksinstituten, ministeries, opleidingsinstellingen en dergelijke. In het buitenland is het mogelijk een universitaire graad (BSc, MSc, PhD) in ergonomie te behalen. In Nederland is dat niet het geval en is ergonomie altijd slechts onderdeel van een andere opleiding. Bijvoorbeeld bij sommige ingenieursstudies, zoals industrieel ontwerpen, bij psychologie waar men arbeids- en organisatie-psycholoog kan worden, en bij medicijnen voor de opleiding tot bedrijfsarts. Sinds enkele jaren is er in Nederland echter wel een Stichting Registratie Ergonomen, die bepaalt wie zich register ergonoom (R.e.) mag noemen. De eisen aan het lidmaatschap zijn hoog.

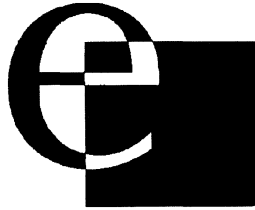
De derde opvatting, die van de ook ergonomisch geschoolde technicus, wordt het meest aangehangen. Omdat techniek er zoals gezegd voor de mens is, ligt het voor de hand dat de ingenieur ook grondige kennis heeft omtrent de gebruikers van zijn technische voortbrengselen. Daarom hoort ergonomie eigenlijk thuis in elke ingenieurs-studie. Dat is nog lang niet overal het geval. Wel is het bij de ingenieursstudies in ons land mogelijk ergonomie als bijvak te kiezen. In slechts enkele curricula (opleidingsprogramma's) is het een verplicht onderdeel. Naarmate de interactie tussen mens en techniek in een vakgebied een groter gewicht krijgt, ziet men dat ergonomie een belangrijker plaats krijgt in de opleiding: de bedrijfskundig ingenieur weet van werkplek-ergonomie en de ingenieur industrieel ontwerpen heeft veel kennis van product-ergonomie. In het hoger beroepsonderwijs zijn soortgelijke ontwikkelingen op gang gekomen.

Definitie van Ergonomie

Definities van een vakgebied geven gewoonlijk eerder de kern aan dan de grenzen, en zijn daarom zelden sluitend. Er zijn vaak verschillende definities voor eenzelfde discipline in omloop. Van de vele definities van ergonomie worden er hier twee gegeven. Figuur 1.13 geeft de omschrijving van een bekende ergonomische auteur uit de U.S.A. Figuur 1.14 geeft de definitie van de Nederlandse Vereniging voor Ergonomie.

Human factors is that branch of science and technology that includes what is known and theorized about human behavioral and biological characteristics that can be validly applied to the specification, design, evaluation, operation and maintenance of products and systems, to enhance safe, effective and satisfying use by individuals, groups and organisations.

Figuur 1.13 Definitie van ergonomie door Mark S. Sanders (1988).



TIJDSCHRIFT VOOR ERGONOMIE

Ergonomie kan in het kort als volgt worden omschreven: Ergonomie streeft naar het zodanig ontwerpen van gebruiksvoorwerpen, technische systemen en taken, dat de veiligheid, de gezondheid, het comfort en het doeltreffend functioneren van mensen worden bevorderd.

Figuur 1.14 Definitie van de Nederlandse Vereniging voor Ergonomie.

Product-ergonomie als deel van industrieel ontwerpen

In dit hoofdstuk zijn tot nu toe algemene achtergronden behandeld voor het vakgebied, waartoe dit studieboek een inleiding is. Het doel, de kenmerken en de ontwikkeling van wetenschap en techniek werden eerst globaal aangegeven, om erna enigszins in te gaan op industrieel ontwerpen en wat uitgebreider op ergonomie. Die vakgebieden staan beide nog maar aan het begin van hun ontwikkeling, ze hebben veel met elkaar te maken en kunnen veel voor elkaar betekenen.

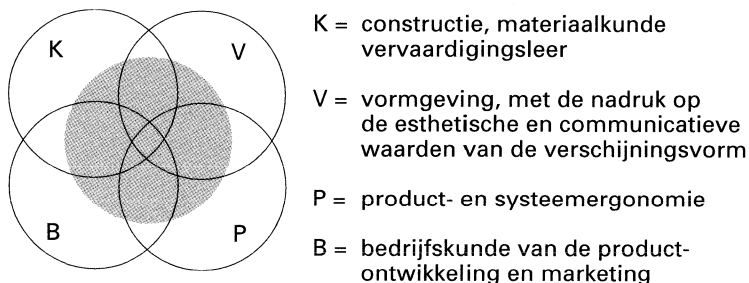
De overlap van ergonomie en industrieel ontwerpen is echter slechts gedeeltelijk, omdat ergonomie zich richt op de directe omgang van de mens met alle techniek, en industrieel ontwerpen zich alleen richt op bepaalde technische hulpmiddelen (zie 1.2). De eerdergenoemde werkplek-ergonomie is minder belangrijk voor industrieel ontwerpen omdat de werkplek niet tot het centrum van het werkterrein van industrieel ontwerpen behoort, maar tot dat van werktuigbouw of werkplaats-techniek. Product-ergonomie is daarentegen wezenlijk voor industrieel ontwerpen omdat het streeft naar nuttige, bruikbare hulpmiddelen voor het dagelijks functioneren van grote groepen gebruikers. De studie van de interactie tussen mens en product is nu juist de kern van product-ergonomie, die daarom een belangrijke bijdrage levert aan het vakgebied industrieel ontwerpen. Vandaar dat de product-ergonomie een onlosmakelijk onderdeel van de technische wetenschappelijke discipline industrieel ontwerpen is geworden. De toepasbaarheid daarenboven voor velerlei contactvlakken tussen mens en technisch systeem voor vervaardigen, vervoeren e.d. blijft bestaan en neemt zelfs toe.

1.4 Vier-pilaren model

Een gangbare schematisering van het industrieel ontwerpen is het zogenaamde 'vier- pilaren model', te zien in figuur 1.15. Het industrieel ontwerpen rust op een viertal overlappende basis-gebieden. De toepassing in een ontwerp vormt het donkere gebied en de vier basisdisciplines vormen de noodzakelijke fundering.

In die opvatting is de productergonomie een typerend en geïntegreerd onderdeel van de discipline industrieel ontwerpen, en past het in het totaal van ontwerp-

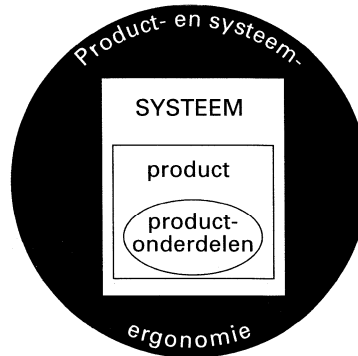
doelstellingen. De eisen die aan een product gesteld worden zijn de volgende: het product moet technisch gemaakt kunnen worden en werken; het moet er aantrekkelijk uitzien en passen in een bepaalde stijl behorend bij gebruikssituatie en leefstijl van gebruiker; het ontwerpen, produceren en distribueren dienen economisch en organisatorisch verantwoord te zijn. Hieraan mag de volgende eis zeker niet ontbreken, ja zou zelfs bovenaan moeten worden gezet: het product moet nuttig, bruikbaar, efficiënt, veilig en comfortabel zijn. In hoofdstuk 20 zullen die laatste aspecten uitgebreider aan de orde komen. Andere ingenieursvakken benadrukken gewoonlijk het eerste type eisen, maar kennen ook enig gewicht aan de volgende drie typen toe.



Figuur 1.15 Het vier-pilaren model.

Stysteem-ergonomie

Aan de term productergonomie wordt inmiddels vaak het woord 'systeem' toegevoegd. Door de ontwikkeling van de techniek en van dagelijkse, duurzame gebruiksgoederen komt het namelijk steeds minder voor dat gebruik gericht is op slechts één product. Steeds vaker is er sprake van het gelijktijdig gebruik van diverse producten in onderling verband, of van situaties waarin producten functioneel verbonden zijn met een uitgebreid systeem van andere technische middelen (figuur 1.16). Er is bijvoorbeeld interactie tussen een gebruiker en een systeem van meubelen, of een computer- of telefoonnetwerk. Dit is een wijze van denken, die al eerder gangbaar was in diverse andere technische disciplines, die zich richten op de menselijke stuurplek van systemen, zoals scheepsbruggen, regelkamers van energie- of vervoerscentrales, vliegtuigcockpits e.d. Als het industrieel ontwerpen zich richt op productonderdelen, producten en product-systemen, volgt ook het basisvak ergonomie die weg. Producten en systemen worden ingewikkelder en onderling afhankelijker en geheel nieuwe functies worden mogelijk. Dit alles heeft wezenlijke implicaties voor de interactie met gebruikers. Bij het ontwerpen wordt eerst de te vervullen functie gedefinieerd, en erna bedenkt men de materiële functievervuller (het product). Vaak ontwerpt men ook eerst het abstracte systeem, om dat daarna met de functionele onderdelen (producten en mechanische of elektronische verbindingen) te realiseren.



Figuur 1.16 Productsystemen, producten, productonderdelen.

De productergonomie bewijst haar diensten tijdens het gehele ontwerpproces: bij het bestuderen van capaciteiten, gewoonten en behoeften van gebruikers om nieuwe ideeën voor hulpmiddelen en verbeteringen te verkrijgen; bij het nader bepalen van de gebruikersgroep en gebruikssituatie; bij het opstellen van een productvisie en een programma van eisen en wensen; bij het toetsen van en kiezen tussen verschillende ideeën; bij het materialiseren en detailleren van werking, materiaal, vorm en vervaardigingswijze; en tenslotte bij het beoordelen van het prototype en het eindproduct. Het gaat daarbij zowel om algemene productkwaliteiten (zie hoofdstuk 20) als om de kwaliteiten van de details van uiterlijk en bedieningswijze. Productergonomisch denken en handelen is geen afzonderlijk element of moment in het ontwerpproces, maar hangt altijd samen met het geheel. Hier wordt verder op ingegaan in het laatste hoofdstuk 22.

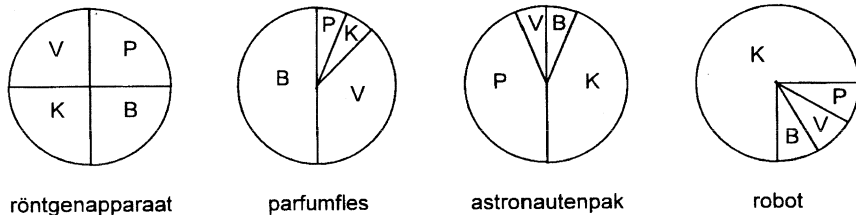
Ontwerpverantwoordelijkheid

De verwevenheid van product- en systeemergonomie in het ontwerpproces wordt niet alleen verklaard door het complexer worden van producten, maar ook door de verantwoordelijkheid van de ontwerper jegens de gebruikers van zijn product. Naarmate de functie van het product nieuwer is voor de gebruiker, dient de ontwerper ergonomische kennis en methoden grondiger toe te passen, om het nut en de gebruikskwaliteiten zo goed mogelijk te kunnen inschatten. Dat is niet vrijblijvend, maar vormt een deel van de professionele verantwoordelijkheid en vergt naast algemene kennis van ergonomie meestal specifieke kennis per ontwerp. Deze kennis moet worden verzameld, geselecteerd, geïnterpreteerd en dient in het ontwerp te worden vertaald.

Wanneer is ergonomie belangrijk?

Productergonomie heeft geen allesoverheersende positie bij de productontwikkeling. Ontwerpen vanuit alleen ergonomische kennis is onmogelijk en ongewenst. Ontwerpen zonder die kennis is echter riskant en eenzijdig. Er is een aantal situaties aan te geven waar ergonomie een grotere rol speelt dan bij het ontwerpen van een honderdste variant van de stofzuiger voor de gemiddelde

Nederlander. Er moet echter zeker wél veel aandacht aan ergonomische aspecten besteed worden bij veelvuldige, langdurige, intensieve en/of complexe interactie tussen mens en product/systeem; bij producten waarbij een niet goed functioneren of verkeerd handelen gevaar kunnen opleveren; bij producten die nieuwe functies hebben; bij producten bedoeld voor nieuwe gebruikersgroepen; en bij producten die voor nieuwe gebruikssituaties worden ontworpen. Het aandeel van ergonomie in het ontwerp varieert overigens ook sterk per productsoort. Sommige producten zijn minder complex en moeten het vooral van hun uiterlijk hebben, terwijl bij andere producten een goede werking het enige is wat telt. Dit wordt geïllustreerd door de voorbeelden in figuur 1.17.



Figuur 1.17 Aandeel van de vier basisdisciplines uit het vier-pilaren model bij het ontwerpen van verschillende producten.

Beperkingen van de ergonomische benadering

Niet alle menskundige kennis, welke voor het industrieel ontwerpen noodzakelijk is, valt onder product- en systeem-ergonomie. Vraagstukken zoals het peilen van behoeften van kopers, het subjectief onderscheiden van productkenmerken, de esthetische waarneming en beleving van productvormen, de sociale, maatschappelijke en milieu-voorwaarden en gevolgen van productbezit, -gebruik en -afdanke, staan niet in het centrum van de product-ergonomische belangstelling en worden vooral door andere vakgebieden en specialisaties bestreken. De productergonomie volgt over het algemeen de natuurwetenschappelijke benadering en baseert zich op gegevens en wetmatigheden uit de meer exacte onderdelen van de anatomie, fysiologie, biomechanica en psychologische functieleer of psychofysica. Die kennis wordt geselecteerd en aangevuld om ze te kunnen toepassen op het productontwerpen. De invloed van de technische wetenschappen, de (technische) fysica, systeemleer en toegepaste wiskunde is daarbij merkbaar.

Productgebruikers vertonen grote verscheidenheid en beperkte voorspelbaarheid - twee boeiende en gelukkige feiten! Aan de andere kant doet dit de toepassing van ergonomie vaak verkeren in kwalitatieve richtlijnen en leidt dit tot besluiten met onvolledige zekerheid, ondanks de exacte basis die er aan ten grondslag ligt. Hierin zien we een gelijkenis met het industrieel ontwerpen zelf, waar ontwerpbeslissingen soms onvermijdelijk op aannames en gissingen worden gebaseerd.

1.5 De opzet van dit boek

Het probleemgebied werd tot nu toe aangeduid door achtergronden van de productergonomie te schetsen en de disciplines waarmee zij te maken heeft. Van het vakgebied zelf werden verder slechts algemene principes uitgelegd. De dienstbaarheid aan en het passen in het industrieel ontwerpen werd daarbij centraal gesteld, waarbij industrieel ontwerpen werd omschreven als de leer van het bedenken, maken en gebruiken van dagelijkse technische hulpmiddelen en systemen. De rest van dit boek zal gewijd worden aan de nadere invulling van het corpus van kennis en methoden. Na het kennismaken van die invulling, moet men eigenlijk het zojuist behandelde kader nog eens bestuderen, om het te controleren en het beter te begrijpen. Veel bleef immers tot nu toe nog abstract en algemeen.

Opbouw van een intern kader

Voordat echter ter zake wordt gekomen, is het nuttig eerst aandacht te besteden aan enkele algemene aspecten van de productergonomie. In de volgende drie hoofdstukken van dit deel zullen de achtergronden en doelstellingen verder aan bod komen, teneinde een kader te vormen, waarin de verdere specifieke kennis een plaats krijgt. Hierdoor blijft het overzicht behouden. Na de tot nu toe aangegeven omgevingsstructuur wordt er hierna aandacht besteed aan de interne structuur van het vakgebied. De veelzijdige herkomst van de ergonomische termen, feiten, theorieën en richtlijnen - hiervoor reeds aangeduid - maakt het dringend nodig om totaalbeeld en samenhang voor ogen te houden. De inhoud van dit boek wordt daarom eerst kort weergegeven.

Historie en indelingen

Het volgende hoofdstuk zal beginnen met een algemeen historisch beeld van de menselijke cultuur van technische hulpmiddelen, om die hulpmiddelen daarna op verschillende manieren te onderscheiden en in te delen. Dat vormt dan de basis, om verder in te gaan op specialisaties in de ergonomie. Uit die indeling en die specialisaties komt het indelingsprincipe voort van de volgende delen van dit boek. Ieder deel behandelt een deelgebied van de ergonomie in het algemeen en van de productergonomie in het bijzonder.

Systemen en modellen

In het derde hoofdstuk wordt de interne structuur nader uitgelegd en onderbouwd. Het redeneren in termen van systemen, en vooral over mens en hulpmiddel als systeem, leidt tot het opstellen van een algemeen model. Met dat model worden de productergonomische hoofd-elementen, hun werking en hun samenhang beschreven.

Ontwerpergonomische werkwijzen

In het vierde en laatste hoofdstuk van dit inleidende deel worden enkele belangrijke methoden en technieken uit de ontwerp-ergonomie behandeld. Omdat het bij industrieel ontwerpen steeds gaat om een serie-product voor een markt van

uiteenlopende, individuele gebruikers, zijn enkele statistische technieken en keuzeprincipes onontbeerlijk. Die worden aangevuld door enige informatie over data en bronnen van onderzoeksgegevens, plus enkele ideeën over de voorspelbaarheid en onvoorspelbaarheid van productgebruik. Tenslotte wordt dit alles in verband gebracht met het ontwerpproces.

Drie delen van productergonomie en bijbehorende productcategorieën

De drie volgende delen van het boek behandelen de deelgebieden van de productergonomie. Naast menskundige informatie worden er ontwerpoverwegingen en typerende productgroepen besproken.

Deel één gaat over fysieke ergonomie. De fysieke ergonomie behelst lichaamsmaten, -bewegingen en -krachten, vermoeidheid en productbediening. Deel twee gaat over sensorische ergonomie. De sensorische ergonomie behelst zintuigsystematiek, horen, zien en signaalgevende technische hulpmiddelen. Deel drie gaat over cognitieve ergonomie. De cognitieve ergonomie betreft denken en besluiten bij productgebruik, en geestelijke inspanning.

Elk van die drie product-ergonomieën kent een typerende productgroep, waarvan het duidelijk is dat juist dié groep van menselijke functies erdoor wordt geholpen. Bij de fysieke ergonomie kan men zich een categorie 'fysiek ondersteunende producten' denken die voornamelijk voor ondersteuning zorgt of als verlengstuk geldt van de ledematen, zoals meubels, handwerktuigen en dergelijke. Bij de sensorische ergonomie hoort op analoge wijze een categorie 'sensorisch ondersteunende producten' die de zintuigen helpt, zoals brillen of signaalgevers met hun tekens en teksten, wijzerplaten en beeldschermen. Bij de cognitive ergonomie, tenslotte, zijn er 'cognitief ondersteunende producten' voor het technisch ondersteunen van het brein. Dit zijn de intelligente producten die het geheugen steunen, het inzicht verbeteren of het nemen van besluiten vergemakkelijken. Vanzelfsprekend zijn er ook 'algemeen ondersteunende producten' die meer dan één soort functie ondersteunen, en dus in meer dan één van de voorgaande categorieën kunnen worden ingedeeld.

Gebruikskwaliteiten, ontwerpen en verdere studie

In het afsluitende, vijfde deel van dit boek wordt weer teruggegaan van deelaspecten naar het geheel en wel naar de kwaliteiten van het productgebruik: nut, doelmatigheid, comfort en veiligheid. Daarna wordt nog eens nader ingegaan op de rol van productergonomie bij het ontwerpen en evalueren van gebruiksgoederen. Daaruit zal blijken dat dit boek slechts een inleiding is en dat diverse voortgezette ergonomievakken, oefeningen en onderzoeken nodig zijn. Het doel van een inleiding is, om onder andere te weten wat men nog niet weet en hoe nodig het is die lacunes op te vullen. Dit boek geeft daarvoor zowel een afgerond overzicht van het vakgebied product-ergonomie, als de meest essentiële informatie die nodig is om als ontwerper c.q. product- of systeemontwikkelaar aan het werk te kunnen gaan.

Begrippen¹

Doel van een fundamentele en toegepaste wetenschap:

- i1 (wat, hoe en waarom) vragen
- k1 corpus van kennis en methoden
- k2 spelregels
- i1 wetmatigheid en voorspelbaarheid
- i3 dekking van wetenswaardigheden
- k3 wetenschapsdynamica

Techniek en technologie:

- k2 uitgebreidheid en indelingen
- i1 afhankelijkheid van technocultuur
- k3 bewuste ontwikkeling van natuurwetenschappelijke basis
- i2 kenmerken van de ingenieur
- i2 humane voorwaarden en effecten

Industrieel ontwerpen:

- k1 productensector
- k1 massa- en serie-productie
- k2 funderende en toeleverende disciplines
- k2 Bauhaus en Styling
- i1 belang van symbiose tussen product en gebruiker
- i2 menskundige invalshoek

Ergonomie:

- k2 ontstaan en benamingen
- k1 curatief en preventief
- k2 fysiologie
- k2 psychologie
- k2 antropometrie
- k2 zintuigleer
- k2 biomechanica
- k2 psychologische functieleer
- k2 algemene en deel-theorieën
- k1 werkplek- en productergonomie
- k2 multidisciplinair teamwork
- k3 opleidingen en banen
- k3 definities

Productergonomie:

- k1 vier-pilaren model van industrieel ontwerpen

¹ i = inzicht, k = kennis, t = toepassing; 1,2,3 zijn afnemende graden van belang

- k1 product, onderdeel en systeem
- k2 overeenkomsten tussen construerende, technische wetenschappen in mens-product interactie
- i1 volgorde functie en functievervuller
- i1 bijdragen in ontwerpfasen
- k2 product-kwaliteiten en -details
- i1 professionele verantwoordelijkheid
- i2 andere menskundige ontwerpkenis
- i2 exacte benadering

Vragen en suggesties

- 1.1. Maak een schema met productergonomie in het midden en daaromheen andere disciplines, naargelang de functionele overeenkomsten en verbanden er mee.
- 1.2. Welke soorten statistische gegevens zouden aanduiden en verklaren hoe belangrijk de wetenschap en haar verschillende factoren zijn voor de huidige maatschappij?
- 1.3. Leidt af welke soorten waarom-vragen in de natuurkunde hebben geleid tot de huidige stand van kennis.
- 1.4. Noem iets van het corpus van kennis en methoden in het vak biologie, dat men u op de middelbare school heeft bijgebracht?
- 1.5. Observeer in uw omgeving de wetmatigheid waarmee verschillende mensen proberen de lift naar boven te laten komen.
- 1.6. Wanneer ontstond er voor het eerst wetenschap? Was die theoretisch en/of toegepast? Noem oudere en jongere vakgebieden buiten de al genoemde.
- 1.7. Noem gebieden waarvoor nieuwe wetenschappen zouden kunnen ontstaan.
- 1.8. Waarom is communiceren zulk een belangrijke wetenschappelijke spelregel?
- 1.9. Welk percentage aan niet-technische vakken zou in een universitaire ingenieursopleiding nodig zijn? Geldt dat overal ter wereld ongeveer gelijk?
- 1.10. Noem voorbeelden van technische producten (andere dan de reeds genoemde), die wél en andere die niét typerend zijn voor industrieel ontwerpen.
- 1.11. Hoe verhouden zich wetenschappelijkheid, creativiteit en productontwerpen? Zijn er tegenstellingen?
- 1.12. In welke opzichten is de naam ergonomie, voor het huidige vakgebied, minder gelukkig?
- 1.13. Ga na hoeveel procent van uw tijd u technisch vervaardigde producten gebruikt.
- 1.14. Houdt industrieel ontwerpen zich vooral bezig met productiemachines, of met technische gebruiksgoederen op menselijke schaal, of voedings- en genotmiddelen?
- 1.15. Geef in het kort de belangrijkste redenen waarom productontwikkelaars

ergonomisch inzicht dienen te hebben.

- 1.16. Is een deel van een servies een massaproduct?
- 1.17. Ga na in hoeverre het Japanse speeltje (het elektronisch huisdiertje dat moet worden gevoed en vertroeteld door zijn eigenaar) de symbiose tussen gebruiker en product heeft geoptimaliseerd.
- 1.18. Is een ergonomisch geoptimaliseerde kantoorstoel een voorbeeld van curatieve of van preventieve ergonomie?
- 1.19. Welke overlap zal er bestaan tussen de werkplek- en de product-ergonomie?
- 1.20. In hoeverre is het vier-pilarenmodel toepasbaar op werkplekergonomie?
- 1.21. Ga van een aantal producten in uw omgeving na welke functie zij vervullen en op welke andere technische manier dit ook opgelost zou kunnen worden.
- 1.22. Noem overeenkomsten tussen ontwerpprocessen van telefoonbeantwoorde-apparaten, chirurgische apparatuur, cabines voor busbestuurders, werkplekken van vliegverkeersregelaars, en regel- en toezichtkamers van energiecentrales.
- 1.23. Bedenk welke gevaren er dreigen bij het ontwerpen van producten als achtereenvolgens elk van de vier pilaren uit het vier-pilaren model wegvalt.
- 1.24. Op welke wijze en tot hoever kan een ontwerper verantwoordelijkheid dragen voor het gebruik van zijn of haar product?
- 1.25. Met behulp van ergonomie worden producten en systemen aangepast aan de mens. In hoeverre kan die aanpassing de menselijke evolutie beïnvloeden?
- 1.26. Noem overeenkomsten en verschillen tussen de definitie van Sanders en die van de Nederlandse Vereniging voor Ergonomie (pag. 31).
- 1.27. Bedenk voorbeelden van alledaagse gebruiksvoorwerpen, waarover naar uw mening bij het ontwerpen grondig ergonomisch nagedacht is en enkele voorbeelden waar u ergerlijke tekortkomingen in ergonomisch opzicht constateert.
- 1.28. Bestudeer de indeling van producten op basis van hun functionele ondersteuning en bedenk van elk van de vier (pag. 36) categorieën drie specifieke voorbeeldproducten.

2

Mens en hulpmiddel

Samenvatting

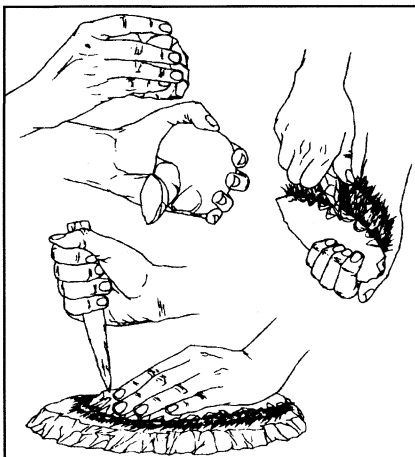
In het vorige hoofdstuk werd de omgeving van de productergonomie verkend. Nu wordt verder ingegaan op het object van studie ervan en op de structuur van deze discipline. Omdat het hier gaat om het ontstaan en gebruik van alledaagse gebruiksvoorwerpen, wordt er in dit hoofdstuk eerst een schets gegeven van de geschiedenis van technische hulpmiddelen. Er zijn vele gebruiksvoorwerpen. Er worden verschillende manieren genoemd om die in te delen en te analyseren. Daarop aansluitend kunnen ook indelingen van de ergonomie worden gebaseerd. Het meest zinvol blijkt een driedeling, die gebaseerd is op de reeks: zintuigen/brein/ledematen. Bij deze indeling past ook het onderscheid van fysiek-, sensorisch- en cognitief ondersteunende producten, die elk vooral bij één van die drie biologische functiegroepen passen.

2.1 Historie van technocultuur

De species homo sapiens sapiens (de zeer wijze mens), die minstens sinds zo'n 100.000 jaar bestaat, wordt ook wel eens aangeduid als de 'homo ludens': de spelende mens, of als de 'homo faber': de makende mens (zie figuur 2.1).

Onze soort wordt duidelijk gekenmerkt door inventief knutselen. De voorgangers van onze species blijken ook al meer dan 2 miljoen jaar geleden technici te zijn geweest, door gebruik van gereedschappen en sinds 1 miljoen jaar het vuur. In het overige dierenrijk komt dat niet of nauwelijks voor. Mensapen hanteren wel eens

stokken, zee-otters gebruiken stenen om mosselen te openen, olifanten gebruiken takken als vliegenmepper en nestbouw wordt uitgebreid aangetroffen (bouwkunde is een oud vak!), maar het gebruik van technische hulpmiddelen blijft beperkt en primitief.



Figuur 2.1 Ontwerpen in de steentijd (Strandh, 1979)

Het ontwerpende brein

De brein-werking van de menselijke soort stelt ons niet alleen in staat tot veel waarnemen en onthouden maar ook om die gegevens te ordenen en er regelmaat in te onderscheiden. Hierdoor kunnen, minder of meer bewust, regels over oorzaken

en gevolgen worden ontdekt, zodat bij een voorval dat nu plaats vindt kan worden geanticipeerd op een toekomstig gebeuren. We kunnen dingen uit de omgeving oppakken en voor ons eigen doel toepassen. Die middelen worden ingezet, om het natuurlijke, menselijke functioneren te helpen; ze worden bewaard, bewerkt en proefondervindelijk gevarieerd en geïnnoveerd. De hulpmiddelen ondersteunen, beschermen, vergroten of verbijzonderen onze spieren, zintuigen, of andere orgaansystemen, waaronder ook ons brein. Bovendien is er een taalvermogen, om beter over het handelen te denken en te communiceren en zijn er handen, om op vele uiteenlopende manieren iets te hanteren en te vervaardigen.

De menselijke species, als maker en ontwerper, is tegelijkertijd het biologisch minst gespecialiseerde dier en daardoor het dier met de breedste biotoop (natuurlijke leefomgeving, ofwel habitat). Veel van onze biologische toerusting is van zeer gemiddelde kwaliteit, maar in voortbewegen, krachttutoefenen, zintuig-scherpte kunnen we 'van alles wat' en we leven van woestijn tot bergtop, van regenwoud tot ijsschots. Die veelzijdigheid in leven is alleen te verklaren door het uitzonderlijke improvisatie-talent en door het doelgericht en vooruitziende gedrag. Door de grote hersenmassa, die ook zintuigen en ledematen stuurt, kan de mens 'ding-, doe- en denksystemen' en dus de eigen leefomgevingen en levens-mogelijkheden, ontwerpen ten eigen nutte.

Culturele accumulatie

Die bedachte zaken, materieel en immaterieel, worden steeds verder ontwikkeld en naar volgende generaties doorgegeven. Daardoor is voor deze species de biologische evolutie van minder belang geworden. Deze verloopt ook veel langzamer dan de culturele evolutie. Er vindt weliswaar verlies van cultuur plaats, maar nog veel meer accumulatie. Daardoor stijgen ook de levensverwachting en de aantallen soortgenoten. Onze biotoop wordt naar onze hand gezet. Bijna alles in onze dagelijkse omgeving is bedacht en gemaakt, vol met dingen en systemen van spullen en hulpmiddelen: een technocultuur. Pas recent is er sprake van een eco-bewustwording. Men realiseert zich dat de species te zorgeloos en te uitgebreid de biotopen uitbuit. Dat is geen bedreiging voor het ontwerpen maar vraagt juist om innovatie: nuttiger, duurzamer, minder en veiliger voor ons en de natuur. Wat dat betreft is het ontwerpen pas begonnen!

Drie biologische functie-groepen in serie

De voornoemde biologische toerusting van mens en dier kan functioneel eenvoudig worden ingedeeld in de reeks van drie groepen:

- waarnemen;
- informatie bewerken en onthouden;
- handelen.

Bij een vergelijking tussen mens en dier is het dus de middengroep waarin de mens excelleert. De uitslag van de vergelijking is bij de zintuigen wisselend: er zijn dieren die aanmerkelijk beter horen, die scherper kunnen zien; er komen zintuigen

voor die de mens ontbeert (bijvoorbeeld infra-rood sensor bij sommige slangen); de menselijke waarnemingssnelheid behoort niet tot de vlugste; onze kleurwaarneming krijgt een plusje en onze reuk een dubbele min (indien de codering van de consumentenbond wordt aangehouden). De vergelijking van de handelingsorganen, de bot-spijerstelsels dus, vallen negatiever uit waar het de records betreft: Snel lopen, klimmen, zwemmen, of graven zet de mens in de achterhoede en de spierkracht is eveneens gering. Onze species is van lichaamsomvang gemiddeld, met een vreemde, kale huid en rechtopgaande gang, maar een veelzijdiger functionerend dier is er niet.

Behoeftte en urgentie

Die biologische toerusting kan ook op een andere wijze functioneel worden geanalyseerd. We denken hierbij aan de drijfveren, ofwel de aangeboren behoeften. Die kunnen worden geordend naar prioriteit. Zo is de belangrijkste ingeboren motivatie waarschijnlijk die voor de overleving van individu, erna van de groep en vervolgens van de soort. Dat betekent vooreerst voedsel vinden en - bereiden en fysieke bescherming. Er werden dus hulpmiddelen ontworpen voor zoeken en opgraven van voedsel, voor snijden en verbrijzelen, voor jagen, vervoeren en bewaren. De uitvinding van bewust vuur-gebruik (in de Oudgriekse sage stal Prometheus het vuur van de goden) ongeveer een miljoen jaar geleden, betekende een grote culturele doorbraak, omdat gekookt voedsel ook veel sneller eten betekende en er vele uren per dag voor andere activiteiten vrijkwamen; verder doodt men met vuur bacteriën, kunnen er houten punten mee gehard worden, roofdieren op afstand worden gehouden, geeft het licht en kan men zich eraan warmen. Kleding werd gemaakt als tweede huid en bovendien ter individuele onderscheiding of ter identificatie van een bepaalde sociale groep.

Theorie van hiërarchie van behoeften

Een bredere ordening van behoeften vindt men in de theorie van A. Maslow (1954). Hij stelde een motivatie-hiërarchie op, waarin de eerste typen van behoeften krachtiger zijn dan de latere en ook eerst bevredigd moeten worden, voor de volgende aan bod kunnen komen. De reeks is:

1. Voedsel: honger en dorst bevredigen;
2. Veiligheid: bescherming tegen weer, wind en vijanden;
3. Ergens sociaal bijhoren: familie, stam, dorp, kerk;
4. Liefde, erkenning, zelfontplooiing en kennis: rol, status, onderwijs;
5. Esthetische behoefte: schoonheid, aangename en boeiende ordening, decoratie.

Het bedenken van hulpmiddelen door de homo faber zal ook door deze drijfveren van uiteenlopende urgentie worden gestuurd. Gezien de archeologische vondsten en ook de huidige verdeling van hulpmiddelen, ziet het er echter niet naar uit dat bijvoorbeeld alle hogere behoeften eerst volledig bevredigd worden met hulpmiddelen, voordat men aan bijvoorbeeld de zucht naar kennis of schoonheid

toekomst. Enig geografisch verschil in voorzieningen kan evenmin nog ontkend worden en dus niet iedereen bevindt zich op dezelfde sport op de behoeftenladder (ontwikkelingslanden)! De behoeften hiërarchie geldt dus niet perfect (zie figuur 2.2) en in vele landen zijn de eerste behoeften op de Maslow-ladder nog zeer dominant. De verdeling en ontwikkeling van hulpmiddelen wordt niet alleen gedreven door behoeften maar ook door bijvoorbeeld lokale omstandigheden, politiek, eigenzinnigheid, economie en macht.



Figuur 2.2 Omkering in de behoeften hiërarchie (Sipek, 1991).

Materialen en culturele evolutie

Essentieel bij techniek is het gebruik van materiaal. Stoffen uit de omgeving met bijzondere eigenschappen worden gezocht en verzameld en gevormd. Dat is ook al het geval met voedsel en brandhout. Met flinters van speciale steen zijn die beter te bewerken dan met nagels of tanden. De eerste materialen zullen echter waarschijnlijk vooral dierlijk en plantaardig zijn geweest: hout, vezel, huid, bot en pees. Daarvan valt later niet veel terug te vinden. Minder vergankelijk zijn steen en

metaal en de technoculturele fasen worden daarop ook ingedeeld: eerst was er de oude-steen tijd (paleo-lithicum), die al zo'n twee miljoen jaar geleden bij de Homo Habilis (bekwame mens) begon. Een midden - en late steen tijd kwamen erna als tijdperken, gevolgd door koper-, brons- en ijzertijd. Erna hanteren de archeologen een onderscheid naar keramische culturen (pottenbakkersstijlen, zoals klokbeker, visgraatbeker). Het mijnen van vuursteen treedt al vroeg op en evenzo het begin van serie-fabricage, arbeidsspecialisatie en handel. Erts smelten en metaalbewerken bijvoorbeeld vergen technisch vakmanschap en organisatie en planning. Een groeiend inzicht ontwikkelde zich zo over verschillende generaties.

Groei in beheersing van materie

Die ontwikkelingsgang is nu uitgemond in de hedendaagse techniek en technologie van materiaal- en vervaardigingskunde. Er is nu een zeer brede variatie aan materialen beschikbaar, vanaf massaal gebruik (beton, staal) tot speciale toepassingen (geheugen metaal, arseen voor micro-sensoren).

Tegenwoordig worden niet alleen de natuurlijke eigenschappen gebruikt, zoals ze worden aangetroffen bij winning van de grondstoffen, maar worden de eigenschappen toegespitst (harden, kleuren, flexibiliteit, geleidbaarheid e.d.) of zelfs nieuw ontworpen. Bij dat laatste kan gedacht worden aan engineering plastics, waarbij men zelfs spreekt van 'tailoring molecules to specific purposes'. Deze materiaalkunde wordt gecombineerd met de ook ver ontwikkelde vervaardigingskunde van verspanen, gietvormen, vervormen, verbinden, assembleren, bedekken etc. Dat gebeurt zowel voor de vervaardiging van enkelstuks als van series en massa's. Met behulp van computersturing is het nu zelfs mogelijk om unieke combinaties van onderdelen te maken van een in massa geproduceerd product. Bijvoorbeeld personenauto's met steeds unieke combinaties van cabine inrichting, kleur en motorvermogen.

Psychologische en maatschappelijke eisen aan productie

Die snelle en vervaagende evolutie tot een technologisch gedomineerde cultuur, wekt misschien de indruk dat er een volslagen doordacht en evenwichtig bouwwerk is ontstaan, dat ook als een zelfstandig geheel moet worden gezien en verder ontwikkeld. Het blijft echter een variant op de stenen vuistbijl en een poging tot het helpen van de menselijke functies en drijfveren door middel van hulpmiddelen. De primaire vraag, die de ontwerper of productbeoordelaar dient te blijven stellen, is of die hulp inderdaad adequaat wordt geboden. Door te kijken naar de behoeftenhiërarchie, blijkt dat het beantwoorden van die vraag niet altijd eenvoudig is. Het gaat niet alleen om de strikt ergonomische vraag, of er een aanpassing mogelijk is van het hulpmiddel aan zintuigen, brein en ledematen van de gebruiker. Die eisen zijn weliswaar wezenlijk en al moeilijk genoeg voor de technicus, maar er is meer. Het technisch product vervult ook meestal een 'hogere' behoefte; het kan uitdrukken wat iemand als persoon is of wil zijn, een sociale status. De individuele zelfopvatting sluit ook allerlei gedragsmogelijkheden en bijbehorende technische

hulpmiddelen in of uit. Aanpassing van het product kent dus ook velerlei psychologische en sociale aspecten. Deels geldt dus dat een individu zich voelt en wordt gezien, naar gelang de spullen die hij draagt en om zich heen heeft. “Producten maken de persoon”. Een soortgelijke gedachtengang is ook toepasbaar op het hogere niveau van een maatschappij, die door haar technocultuur (producten) van dat moment wordt gekenmerkt: “een maatschappij wordt getypeerd door haar dominante techniek”.

Er zou een ‘product-antropologie’ als discipline kunnen ontstaan, om het wat en waarom van die verschillende niveaus, van technische functie-ervulling van individu tot maatschappij en ten aanzien van primaire en hogere behoeften, systematischer te onderzoeken en te bestuderen dan tot nu gebeurde.

In ons kader is het van belang te constateren dat de productergonomie vooral gericht is op de primaire behoeften, die door het gebruik van gebruiksgoederen kunnen worden bevredigd en dat die discipline dat vooral doet met als criteria de mogelijkheden en beperkingen van de menselijke functies van ledematen, zintuigen en hersenen.

2.2 Het onderscheiden van producten naar gebruik

Vier typen van goederen

Het woord gebruiken heeft vroeger de betekenis ‘genieten van’ gehad. Nu duidt het vooral op het direct omgaan en hanteren van technische hulpmiddelen om — veelal direct — een bepaald doel te bereiken. Vandaar de term gebruikswaarde. Bij goederen is het onderscheid van belang tussen ge- en verbruiksgoed. De tweede groep wijst op eenmalig gebruiken en vernietigen, zoals voedings- en genotmiddelen en eenmalige verpakking. Voor technische voortbrengselen in het algemeen wordt ook wel gebruikt het viertal:

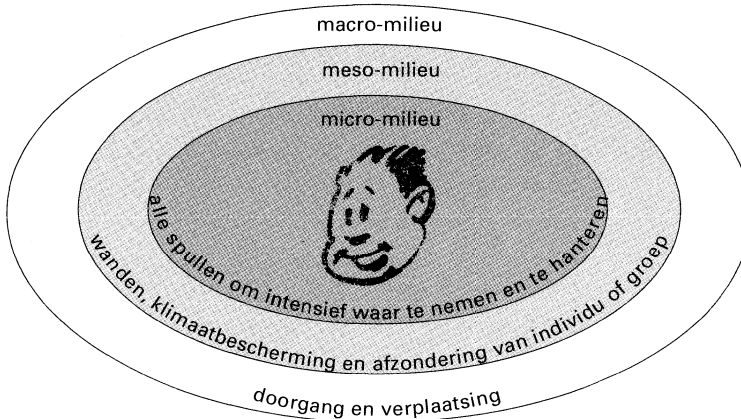
- verbruiksgoed
- gebruiksgoed
- kapitaalgoed
- infra-structuur.

De derde groep is er om beide voorgaande te fabriceren, te huisvesten e.d. en is ook minder verplaatsbaar. De vierde groep is van nog grotere schaal en zorgt voor verbinding, vervoer en behuizing van alle goederen en mensen. Gebruiksgoed is er dus voor meermalig gebruik, is veelal verplaats- of draagbaar, gewoonlijk onder handbereik en bij het hanteren is het ook meestal in direct contact met ledematen en of zintuigen.

Afstand tot gebruikers

De afstand van de verschillende categorieën goederen varieert dus min of meer systematisch. Dat geldt ook voor de beleefde, psychologische afstand. Bij de verbruiks- en gebruiksgoederen kan men met goed recht van ‘symbiose’ (samen-leven) spreken. In de kunstmatige leefomgeving zou men zo ‘concentrische schillen’ om

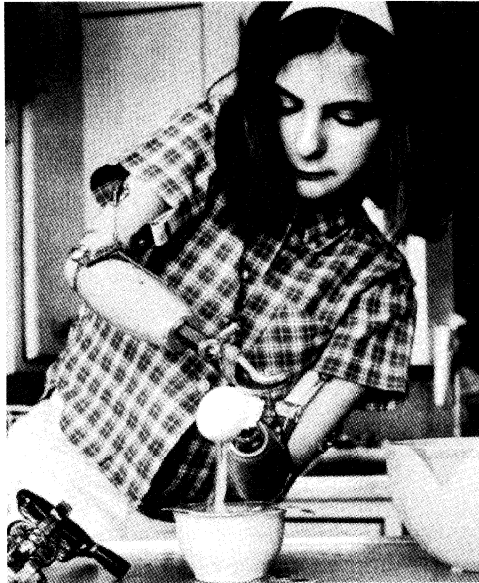
de mens heen kunnen onderscheiden (figuur 2.3). Een micro-milieu onder handbereik, met de spullen om intensief en veelvuldig waar te nemen en te hanteren. Een meso-milieu van wanden, voor klimaat-bescherming en afzondering van individu of groep. Een macro-milieu daarbuiten voor doorgang en verplaatsing. Ons aandachtsveld: gebruiksgoed, is dus vooral in het micro-milieu te situeren. Op soortgelijke wijze spreekt men wel eens van 'ich-nahe' (ik-nabije) en 'ich-ferne' (ik-verre) producten; of van kleding en woning als respectievelijk: tweede en derde huid.



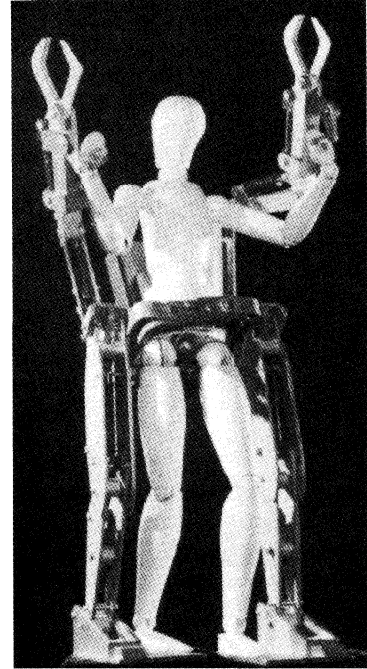
Figuur 2.3 Concentrische schillen rond de gebruiker.

Pro- en orthesen

Gebruiksgoederen kunnen al dan niet in bezit zijn van de gebruiker en zij kunnen hetzij individueel, hetzij collectief worden gebruikt. Gebruiksgoederen verschillen in de tijdsduur waarin zij per keer worden gebruikt en in levensduur (technisch versleten of kapot, ofwel afgedankt omdat men meent aan iets nieuws toe te zijn). Zij variëren in de frequentie en intensiteit, waarmee ze worden gebruikt en eveneens in de urgentie (hoe noodzakelijk en onmisbaar voor de gebruiker). Hierop zal nader worden ingegaan in hoofdstuk 20. Wat al die goederen gemeen hebben is dat men ze kan beschouwen als ondersteuners of vervangers van natuurlijke, biologische en psychologische functies; men kan met behulp ervan iets beter doen, respectievelijk iets nieuws doen wat men zonder dat middel in het geheel niet kon. Bij hulpmiddelen voor gehandicapten spreekt men dan van prothesen (vervangers: kunstbeen, kunsttoeg) (zie figuur 2.4) en orthesen (ondersteuners: beenbeugel, bril). In die zin zijn alle gebruiksmiddelen orthesen of prothesen. Het onderscheid tussen ondersteunen en vervangen is echter niet altijd scherp te trekken (figuur 2.5). Is een fiets een ondersteuner van benen, of door snelheid en bereik wezenlijk nieuw en dus vervanger van ons natuurlijke loop-apparaat?



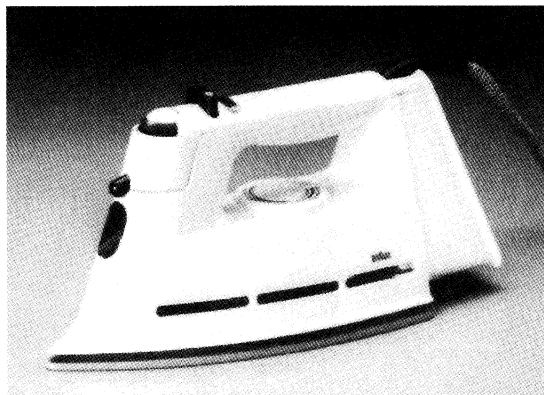
Figuur 2.4 Onderarm vervangers (Lowman, 1969).



Figuur 2.5 De Hardiman loopt mee en tilt 680 kg (McCormick, 1976).

De verlengstuktheorie

Een samenvatting van dit voorgaande vindt men in de ‘verlengstuktheorie’. Daarin wordt gesteld dat alle gebruiksgoederen zijn op te vatten als verbijzonderingen van natuurlijke menselijke functies. Die verbijzondering kan inderdaad een ‘verlengen’ betekenen (aanwijsstok en wijsvinger), maar ook vergroting (koevoet en arm) of verkleining (pincet en vingertoppen), of versnelling (auto en loopapparaat).



Figuur 2.6 Verlengstuk voor gladstrijken, Braun.

Dit waren voorbeelden van ‘verlengstukken’ van de ledematen, ofwel van het spier-skeletstelsel, ook wel genoemd ‘motorisch apparaat’. Eerder noemden we die fysiek ondersteunende producten. Om de zintuigen te helpen en te verbijzonderen zijn er eveneens talloze ‘verlengstukken’: de bril, de telefoon, gehoorapparaat, nachtkijker (sensorisch ondersteunende producten). Vooral breed is de categorie van brein-verlengstukken: afbeeldingen en schrift om te onthouden en te overzien; rekentuig om informatie te bewerken en te besluiten; audio- en videobanden etc. (cognitief ondersteunende producten).

Voor onze benadering is vooral de notie van belang dat het van grote ontwerpwaarde is, een bestaand of gedacht hulpmiddel te analyseren in biologische of psychologische functies. Die functies worden ondersteund of vervangen en dat zal dus op één of andere manier moeten gaan op een ‘natuurlijke’ wijze. Eveneens geldt echter dat er altijd natuurlijke functies overblijven die niet direct ondersteund of vervangen worden, maar die juist het hulpmiddel sturen, waarnemen of opvangen. Gebruiken betekent immers altijd het werken in dienst van en het contact hebben met het menselijke lichaam en brein.

Hulpmiddelen voor de huid, voor intern en voor allerlei

Ofschoon de verlengstuktheorie nuttig en breed toepasbaar is en een kwalitatief inzicht bij ontwerpen kan verschaffen, is het goed erop te attenderen dat het in eerste instantie gaat om gebruiksgoederen voor het doelgerichte en externe gedrag. Beschermingsmiddelen en interne systemen, die het inwendig functioneren ondersteunen, zijn op het eerste gezicht minder makkelijk onder te brengen, maar dat is slechts schijn. Kleding is een verlengstuk ter verbetering van huidfuncties, een zonnebril is een verlengstuk dat betere lichtaanpassing van het oog mogelijk maakt, een stofmasker is een verlengstuk om de filterfunctie van neus- en luchtweghaartjes te verbeteren. Evenzo is een geïmplanteed injectiesysteem voor insuline een verlengstuk dat de functie van de alvleesklier vervangt, en een pace-maker is een verlengstuk om het proces dat de hartslag reguleert te verbeteren.

Het zal inmiddels ook duidelijk zijn dat hulpmiddelen soms voor verschillende natuurlijke functies tegelijkertijd werken: een T.V. is voor horen en zien van verre, en is eventueel ook voor leren, onthouden, beslissen en ontspannen.

Eindeloze mogelijkheid van hulpmiddelen

Een gevolg van onder meer de verlengstuktheorie is dat er evenveel hulpmiddelen, c.q. gebruiksgoederen denkbaar zijn als er (combinaties van) menselijke functies maal intenties van individuele gebruikers zijn. Dat leidt ook tot de conclusie dat er nog eindeloos veel en lange tijd te ontwerpen zal zijn, maar ook waarschijnlijk dat de ‘dekking door hulpmiddelen’ van menselijke functies, individuen, groepen en leefsituaties, onvolledig is en dat die dekking sporen van willekeur te zien zal geven. De technocultuur kent inderdaad modeverschijnselen, dominerende aandachtspunten en vooroordelen. De eerder genoemde Maslow-hiërarchie wordt niet netjes en gelijkmatig verdelend afgewerkt, overheidsregulering en markt-

werking ten spijt.

Onvolledige dekking door gebruiksgoederen

We betreden hier een interessant vraagstuk voor innovatie-beluste productontwerpers. Zo is duidelijk te constateren dat er groepen consumenten zijn, die minder aan bod komen dan anderen. Jongvolwassenen, gezonde, goed-opgeleide, koopkrachtige mannen, worden uitbundiger voorzien met hulpmiddelen, dan vrouwen, kinderen, bejaarden, vreemdelingen of gehandicapten. Dat lijkt niet alleen uit de economische positie te verklaren. De wet van vraag en aanbod voorspelt onvolledig, zolang het aanbod niet is ontworpen en zolang de vraag wordt verzwegen. Opmerkelijk is in dit verband dat de definitie van ‘gehandicapt’ soms van dat aanbod afhangt. In ons land zouden er zonder het bestaan van het voorzetstuk, geheten bril, miljoenen visueel gehandicapten extra zijn! Hoe komt het dat er meer hulpmiddelen zijn voor vermaak dan voor leren en studeren, dat er voor aanvoer van nieuwe goederen meer is dan voor de afvoer van afgedankte, dat handwerktuigen voor vrouwen vaak niet hanteerbaar zijn en vele dagelijkse goederen voor kinderen onveilig? De aanvaardings- en penetratie-mechanismen in onze technocultuur verlopen kennelijk grillig en het ontwerpen van producten volgt die kennelijk (te?) vanzelfsprekend. Naast overmaat en overvloedigheid (hoeveel van alle hulpmiddelen in bijvoorbeeld het huis zijn noodzakelijk of worden veelvuldig gebruikt?) zijn er dus vele mogelijkheden voor nieuwe en nuttige verlengstukken. Ook in die zin is het bewust en product-ergonomisch ontwerpen wellicht pas net begonnen.

2.3 Indeling in ergonomische specialisaties

Consument versus professioneel

In het vorige hoofdstuk, in 1.3 en 1.4, werd al een eerste beschrijving gegeven van de ergonomie in het algemeen en van de productergonomie in het bijzonder. Dat was grotendeels een historische benadering over hoe die vakgebieden ontstonden en groeiden. Dat stukje geschiedenis past goed bij de historie van mens en hulpmiddel in het eerste deel van dit hoofdstuk. Er werd al eerder onderscheid gemaakt tussen de werkplek- en de productergonomie. Voor een goed deel valt dat samen met de tegenstelling professional en consument, ofwel enerzijds de getrainde, ervaren, langdurig gebruikende en door arbeidsorganisatie gemotiveerde vakpersoon, versus de leek, die, veelal incidenteel, een veelheid van hulpmiddelen, gewoonlijk kortdurend en vrijblijvender door elkaar gebruikt en daarvoor geen bijzondere opleiding heeft gehad.

Ook dit onderscheid is niet waterdicht en dat hoeft ook niet. Het betreft een beschrijving, die zowel op producttype, als op soort gebruikssituatie en op type van gebruiker is gebaseerd en in de praktijk is er overlap. Een professional is in zijn werk niet steeds met productie-machines bezig; hij/zij gebruikt daarbij ook vaak algemener hulpmiddelen, die de leek ook hanteert: een telefoon bijvoorbeeld.

Verder treft men in huishoudens tegenwoordig ook apparaten aan, die wel degelijk enige training en ervaring vergen: keukenmachines, audio-video toestellen, personal computers, antwoordapparaten. Veel van die hulpmiddelen zijn gestart in de professionele, vaak militaire, sfeer en zijn daarna, al dan niet na aanpassing, op de consumenten-markten aangeboden. Ook in de openbare ruimten vindt men toestellen, die een halve generatie geleden professioneel waren: kaartautomaten voor parkeren of openbaar vervoer (figuur 2.7). Toch is het onderscheid tussen werkplek en algemeen product zinvol te hanteren.

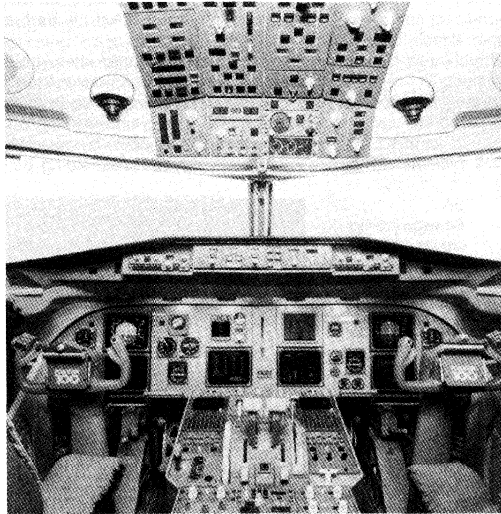


Figuur 2.7 'Professionele' oplossing voor publieke toepassingen (2 ∞).

Specialistische ergonomieën

De in 1.3 besproken opvattingen over mogelijke werkwijzen: ergonomisch team, ergonoom of ergonomisch geschoold technoloog, zijn ook van belang voor het erkennen van ergonomische specialisaties. De derde opvatting, die het meest wordt aangehangen, zou kunnen impliceren dat de ergonomische specialisaties de indeling volgen van de technische wetenschappen of dito toepassingssectoren. Dit blijkt in de praktijk slechts af en toe op te gaan. Ergonomie is gericht op de interactie van werker en machine en van consument en gebruiksgoed. In vele technische sectoren is die interactie slechts een deelfacet, dat weinig aandacht krijgt of dat inderdaad aan het ergonomisch team of de specialist wordt overgelaten. De energietechniek kent in de praktijk het onderdeel ontwerpen van de regelkamer, waar 'operators' bewaken en sturen. De ergonomie van de regelkamer is een min of meer afzonderlijk specialisme geworden. Hetzelfde tekent zich af met

de ergonomie van de vliegtuigcockpit (figuur 2.8), of als voorbeeld uit de medische technologie: de ergonomie van de operatiekamer (zie figuur 1.11).



Figuur 2.8 Pilot-cockpit interactie-vlakken (Lombaers, 1990).

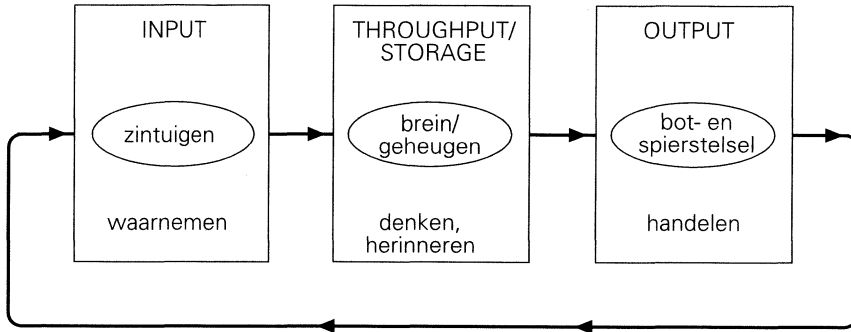
Omdat ondanks de verschillen tussen deze ergonomische toepassingsgebieden er toch veel gemeenschappelijke elementen zijn (het gaat steeds om menselijke functies), is het daarom juister en overzichtelijker de ergonomie in te delen naar menselijke functiegroepen (fysiek, sensorisch en cognitief). Dat geldt zeker voor een introductie in het vakgebied en ook voor opleidingsdoelstellingen. Daarom is die indeling hierna in dit boek gevolgd, zoals bij een korte aanduiding van de opzet in 1.5 al uiteengezet werd.

Drie biologische functie-groepen in serie

De indeling van dit boek volgt een algemeen biologisch functie-model (zie figuur 2.9), dat in het volgende hoofdstuk een verdere verklaring krijgt. Het wordt nu al behandeld, omdat het model tevens past bij een overzicht van mens en hulpmiddel en omdat het die hulpmiddelen en de technisch-functionele aspecten daarvan ook ordent. De kerngedachte ervan is eenvoudig en is hiervoor ook al enkele malen terloops gebruikt:

Uit de omgeving van de mens wordt informatie opgenomen en die wordt verwerkt en opgeslagen en vervolgens kan er door menselijke actie weer invloed op de omgeving worden uitgeoefend. Zoals:

Een automobiliste ziet een bord dat een afslag aanduidt naar een bepaalde bestemming; zij denkt even na of die bestemming naar haar voorgenomen eindbestemming zal leiden; zij beslist van ja en wendt het stuur, om van de momentane weg af te slaan. Of:



Figuur 2.9 Biologisch functiemodel memt fasen in een cyclus of spiraal.

Een geur van aangebrande melk dringt door bij een televisie-kijker, wordt herkend en hij snelt naar de keuken.

Het model is als een lus getekend en dat betekent hier twee zaken:

De handlungsreeks kan ook bij het denken, herinneren of handelen beginnen.

Bijvoorbeeld:

Er valt me plots in dat ik nog een bepaald iets moet doen, of: ik ben aan het schroevendraaien en merk dat ik nog eerst moet voor-boren.

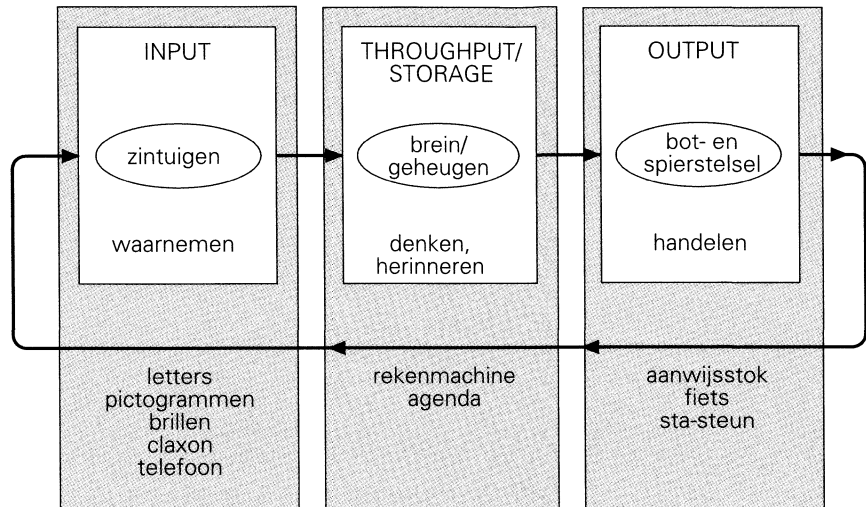
De tweede betekenis is dat er meestal sprake is van een cyclus, zo men wil een spiraal in de tijd, van waarnemen, denken, doen, waarnemen etc. Zoals:

Men ziet een keuze-menu op een computerscherm, maakt een keuze, drukt een bepaalde toets in, een vraag verschijnt, die wordt geïnterpreteerd en dat leidt tot intikken van enkele woorden, enzovoorts.

Specificeren van functies en hulpmiddelen

Het is een volgende stap de functies van waarnemen nader te noemen: zien, horen, voelen, of gedetailleerder: horen van toonhoogte, luidheid, geluidsvolgorde en -patronen enzovoort. Zo doet men dat ook bij de fase van denken, beslissen, kort- en lang geheugen en tevens bij de fase van handelen: bewegen van ledematen, kracht-opvang en -uitoefenen. Vervolgens kunnen voor elke fase diverse soorten van hulpmiddelen of onderdelen ervan worden aangegeven (zie figuur 2.10).

Aan de linkerzijde staan dan allerlei signaalgevers, zoals letters, cijfers, pictogrammen, etiketten, borden, schermen voor de visuele functies, maar ook daarbij de brillen, microscopen, verrekijkers. Voor de auditieve functies is dat bij benadering ook te doen: claxon, misthoorn, omroepinstallatie, telefoon, gehoorapparaat. Dit zijn dus de sensorisch ondersteunende producten. Op overeenkomstige wijze wordt de middenfase ingevuld: rekentuig, agenda (cognitief ondersteunende producten). De rechterfase dient ingevuld te worden met de vele 'verlengstukken' van het motorisch apparaat, dingen om verder te reiken, preciezer te grijpen, te vervoeren, om het lichaam of ledematen te ondersteunen, zoals de aanwijsstok, pincet, kruiwagen, bed of armlegger van een stoel (fysiek ondersteunende producten).



Figuur 2.10 Producten en biologische functiefasen.

Bij deze opsomming, die met de voorgaande voorbeelden uiteraard niet volledig was en dat evenmin hoeft te zijn, is al duidelijk dat elk type van hulpmiddel steeds aspecten heeft van zowel waarnemen, als verwerken en ook van handelen. Veel producten horen echter vooral in één van de drie fasen thuis. Er zijn echter ook vele producten die over de volle breedte passen, omdat ze een combinatie van onderdelen hebben voor verschillende fasen. Indien geen van de drie fasen duidelijk domineert, spreken we dus, zoals eerder (pag. 36) aangeduid, van algemeen ondersteunende producten. Een personal computer heeft een beeldscherm, hulp voor onthouden en besluiten en heeft een toetsenbord voor menselijk handelen. Een auto geeft signalen, heeft regeling en programma's en helpt het lichaam vervoeren en ondersteunen. Er zij op geattendeerd dat in- en out-put bij het technische hulpmiddel en de menselijke gebruiker gespiegeld zijn. De machine-output is er als input voor de gebruiker en de output van de bediener vormt meestal weer een input voor het apparaat.

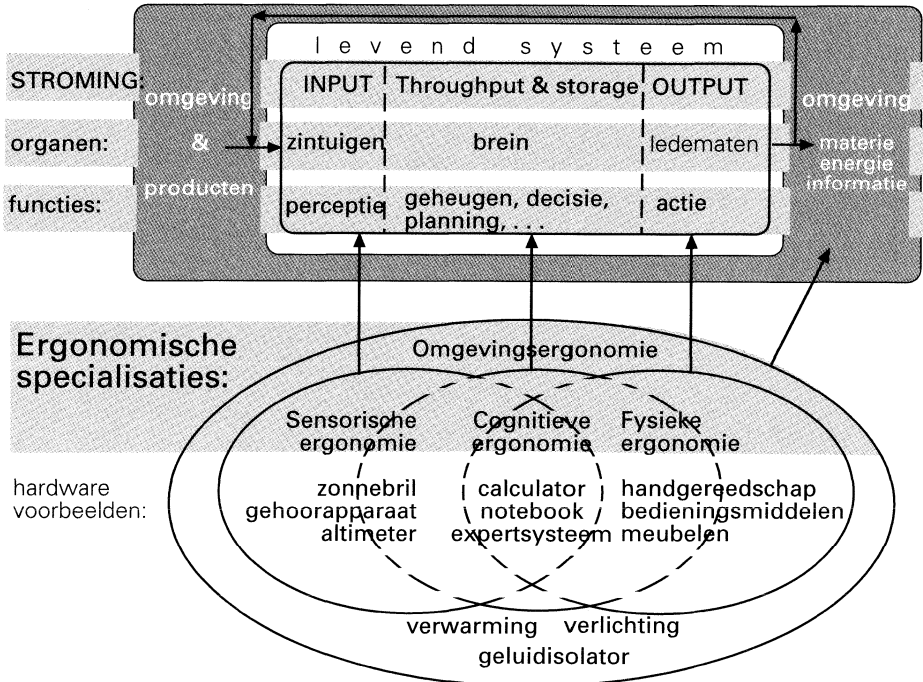
Schema van drie ergonomieën

Deze modellering leidt, tezamen met het toevoegen van de omgeving en enige detaillering, tot het schema van ergonomische specialisaties.

De driedeling resulteert in vier ergonomieën (figuur 2.11) waarvan er drie in dit boek behandeld zullen worden.

De specialisaties, aandachtsgebieden of kennis-fundamenten zijn:

- Sensorische ergonomie: nadruk op de zintuigfuncties, de waarnemingsprocessen en op de technische hulpmiddelen, onderdelen en systemen die daarvoor in het bijzonder ondersteunen (sensorisch ondersteunende producten): tekens, letters, cijfers, ideo- en pictogrammen (figuur 2.12),



Figuur 2.11 Biologisch functiemodel en ergonomische specialisaties.

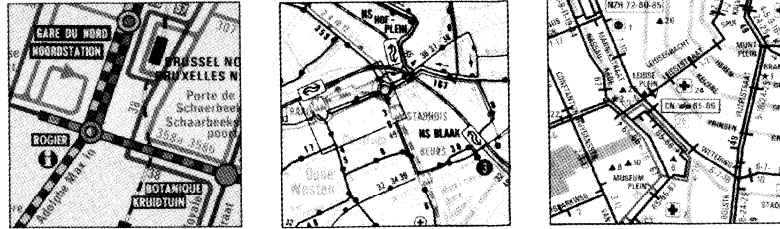
etiketten, borden, schermen, visuele en auditieve orthesen en prothesen, signaalgevers (visuele, auditieve, tactiele ‘displays’).



Figuur 2.12 Ideo- en pictogrammen voor sensorische ondersteuning.

De sensorische ergonomie maakt veel gebruik van kennis uit de (technische) fysica op de gebieden van optica en geluid en uit de zintuigfysiologie en zintuigpsychologie. Wegens de aard van de producten is er veel relatie met grafisch ontwerpen, elektronica van signaal-presentatie, beeldverwerking en communicatiepsychologie.

- Cognitieve ergonomie: nadruk op het bewerken en onthouden van informatie, op bedenken, inschatten, beslissen, waarderen, vooruitzien, plannen en op de technische hulpmiddelen, onderdelen en systemen die daarvoor in het bijzonder ondersteunen. Hierbij kunnen vele van de voorgaande producten mede een rol spelen (cognitief ondersteunende producten): overzichten, schema's, (figuur 2.13) geheugensteunen, regel- en stuurmechanismen en -panelen, elektronische geheugens, agenda's.



Figuur 2.13 Hulp voor overzien en herinneren, cognitieve ondersteuning.

De cognitieve ergonomie bouwt in sterke mate voort op de psychologie van denken, besluiten, onthouden en programmeren, op de meet- en regeltechniek, op de informatica en de systeemleer. Een naam voor een belangrijk deel van het gebied is 'cybernetische ergonomie': de ergonomie van het menselijk sturen en regelen van complexe technische processen.

- Fysieke ergonomie: nadruk op de functies van het bot-spieraapparaat voor het innemen van ruimte en lichaamshoudingen, bewegen van ledematen, op het uitoefenen, opvangen en doorleiden van krachten; en op de technische hulpmiddelen, onderdelen en systemen die daarvoor in het bijzonder ondersteunen (fysiek ondersteunende producten): kleine verblijfsruimten, middelen voor vervoer, voor lichaamsondersteuning, handvatten, persoonlijke beschermingsmiddelen, handwerktuigen (figuur 2.14), bedieningsonderdelen.



Figuur 2.14 Tweehandig werktuig voor fysieke ondersteuning voor het maken van gaten.

De fysieke ergonomie vindt ondergrond in diverse biologische vakken: de anatomie, antropometrie, biomechanica, fysische antropologie en bewegingswetenschap. Door de aard van de producttypen is er ook veel relatie met de 'klassieke' construerende disciplines zoals constructieleer, materiaalkunde en leer der mechanismen.

- Wegens het nauwe verband van de sensorische en cognitieve ergonomie, waarbij ook geldt dat de tweede nog pas korte tijd als specialisme wordt onderscheiden, worden beide nog veelal samengevat onder de term

‘informatieergonomie’. Ook de duidelijkere onderlinge overlap in de typen van technische middelen dan met de fysieke ergonomie het geval is, maakt die combinatie zinvol. In dit studieboek zal echter aan elk van de drie specialismen een afzonderlijk deel worden gewijd.

- Omgevingsergonomie: nadruk op algemene systemen die goede voorwaarden scheppen voor het functioneren van mensen in bepaalde ruimten, bijvoorbeeld verlichting en verwarming (figuur 2.11). Omdat de onderdelen van deze systemen opgevat kunnen worden als producten die in één van de voorgaande groepen passen, zal deze specialisatie geen aparte aandacht krijgen in dit studieboek. Daarmee wordt niet gezegd dat deze specialisatie niet belangrijk is of geen bestaansrecht zou hebben, integendeel.

De overige drie ergonomieën worden uitgebreid behandeld, maar in een andere volgorde dan zoëven gepresenteerd. Vanwege de moeilijkheidsgraad wordt er met de overzichtelijker fysieke ergonomie begonnen. Erna volgt de sensorische ergonomie en dan pas de cognitieve ergonomie. In zekere zin weerspiegelt die reeks ook de historie van de ergonomie en van de historische ontwikkeling van technische hulpmiddelen. In het laatste en vijfde deel zullen tenslotte algemene productkwaliteiten: nut, doelmatigheid, comfort en veiligheid van productgebruik, worden behandeld en zullen de drie specialismen ofwel invalshoeken weer worden geïntegreerd.

Begrippen

Historie van technocultuur:

- k2 species Homo sapiens sapiens
- i1 brein ontdekt oorzaak en gevolgen
- i2 breedste biotoop en minste specialisatie
- i2 ontwerp van levensmogelijkheden
- k1 culturele evolutie
- k2 inter-species vergelijken van zintuigen, brein, motoriek
- k2 hiërarchie in behoeften
- k3 techno-culturele tijdperken
- k2 product-antropologie

Onderscheid van gebruiksgoederen:

- k1 ver- en gebruiksgoed
- k1 kapitaalgoed en infra-structuur
- k2 psychologische afstand en micro-milieu
- k1 prothesen en orthesen
- k1 verlengstuktheorie
- k1 eindeloosheid van en dekking door hulpmiddelen

Indeling in ergonomieën:

- k2 consument versus professioneel

- k2 specialistische ergonomieën
- k1 drie biologische functie-groepen in serie
- k1 spiraal van waarnemen, denken en doen
- k1 de groepen van hulpmiddelen:
fysiek, sensorisch, en cognitief ondersteunende producten
- k2 typerende toeleveringswetenschappen voor de drie ergonomieën.

Vragen en suggesties

- 2.1. Welke redenen zijn er om onze species als biologisch minst gespecialiseerd dier te zien?
- 2.2. Hoe ongeveer zal het eerste productontwerpen door mensen zijn gegaan?
- 2.3. Waarom gaat de culturele evolutie zoveel sneller dan de biologische?
- 2.4. Hoe zou een robot, die een programma afdraait waarmee een pen in een gat wordt gezet, minder storinggevoelig gemaakt kunnen worden?
- 2.5. Schat in hoeverre de biologische en culturele evolutie uit elkaar liggen.
- 2.6. Geef duidelijke voorbeelden van producten, waarbij de Maslow-hiërarchie niet gevolgd wordt.
- 2.7. Waarom behoren verbruiks- en kapitaalgoederen minder tot de groep producten die door het vakgebied Industrieel Ontwerpen wordt aangepakt?
- 2.8. Geef voorbeelden van producten uit het meso-milieu, die toch als product binnen het vakgebied van Industrieel Ontwerpen zouden kunnen worden beschouwd.
- 2.9. Kijk naar de hulpmiddelen in uw momentele omgeving en probeer de indeling in prothesen en orthesen erop toe te passen.
- 2.10. Bedenk snel enige niet bestaande hulpmiddelen voor vrouwen, kinderen, ouderen en gehandicapten en deel die toe aan een van de drie categorieën van ondersteunende producten.
- 2.11. Is een pacemaker een pro- of een orthese (of een endo-these)?
- 2.12. Bedenk wat een nieuw populair product is dat bij uitstek een verlengstuk van de mens is.
- 2.13. Geef voorbeelden van consumentengoederen met een professioneel karakter en van professionele goederen met een consumenten karakter. Verklaar dit.
- 2.14. Waarom begint het schema van de drie functie-groepen met de zintuigen?
- 2.15. Bestaan er producten die voor 100% tot slechts één van de categorieën van ondersteunende producten behoren?
- 2.16. Waarom kunnen sensorisch en cognitief ondersteunende producten vaak samen worden genomen?
- 2.17. In welke productgroep verwacht u de komende eeuw de meeste ontwikkeling en waarom?
- 2.18. Verzin een drietal nieuwe gebruiksgoederen door menselijke functies en gebruiksintenties te combineren.
- 2.19. Welke drie biologische functiegroepen zijn er?
- 2.20. Analyseer een autorit van uw huis naar uw werk met de spiraal van

waarnemen-denken-doen.

- 2.21. Ga na welke hulpmiddelen tijdens die autorit een rol spelen en bedenk in welke groep ze vallen.
- 2.22. Geef voorbeelden van producten die niet ontworpen zijn voor vrouwen, kinderen, bejaarden, vreemdelingen of gehandicapten. Heeft de ontwerp-(st)er bewust gekozen voor het uitsluiten van deze doelgroep?
- 2.23. Deel producten in uw directe leefomgeving in volgens de driedeling der ergonomieën.
- 2.24. Waarom lijkt het alsof beschermingsmiddelen en bijvoorbeeld pace-makers moeilijker in de verlengstuk theorie zijn in te passen?
- 2.25. Bedenk enige mogelijke redenen waarom de technologische en wetenschappelijke aandacht pas recent wordt gericht op het systematisch categoriseren van gebruiksgoederen en van hun interactie met gebruikers.

3

Modellen en systemen

Samenvatting

In beide voorgaande hoofdstukken werden de omgeving en de interne structuur van de product-ergonomie behandeld. Omdat die ergonomie bestaat uit vele en diverse gegevens en theorieën, welke gebruikt kunnen worden bij het bedenken, ontwerpen en beoordelen van producten, is het zinvol overzichten en samenvattingen te kennen en te hanteren. Er wordt daarom eerst kort ingegaan op de aard en het nut van theorieën, modellen en systemen als min of meer abstracte voorstellingen van een stukje werkelijkheid. Het zijn 'denkтуigen', om - in ons geval - overzicht van en greep op de realiteit van gebruikers met hun hulpmiddelen te verkrijgen. Een theorie van levende systemen wordt behandeld, om aan te tonen dat ook dynamische processen in kaart kunnen worden gebracht, zowel bij productgebruikers als bij complexe producten. Enkele nuttige ergonomische modellen worden uitgelegd, onder meer een brein-model. Tenslotte komt het belangrijkste overzichtsmodel aan de orde. Dat is het Mens-Product Interactiemodel, dat als leidraad dient in dit studieboek. De delen ervan worden uitgelegd en het model wordt met enkele productvoorbeelden ingevuld.

3.1 Denkтуigen

Waarom theorie?

In voorgaande hoofdstukken zijn de begrippen theorie, model en systeem meermaals gebruikt. Omdat dit hoofdstuk een model voor mens-product interactie (3.4) zal brengen, dat de kennis over productergonomie poogt te overkoepelen, wordt nu eerst meer aandacht aan die begrippen theorie, model en systeem, besteed.

Eerder werd gesteld dat het doel van een wetenschap is, om een bepaalde sector van verschijnselen te beschrijven, te voorspellen en te beheersen. Dit resulteert dan in een corpus van kennis en methoden. Die formulering wijst erop dat het om meer gaat dan een losse verzameling van proefondervindelijk (empirisch) vastgestelde feiten. Essentieel zijn de ordening en indelingen van die feiten en hun onderlinge verbanden. De samenhang van de data, de regelmatigheden en de regels, om vanuit het één het ander te voorspellen, maken het overzicht en het inzicht pas mogelijk. Een kleiner of groter geheel van die samenhangen wordt geformuleerd als een theorie en zo kan men door de bomen het bos nog onderscheiden.

Wat in een discipline wordt onderzocht en gepubliceerd, is gewoonlijk te veel om op een andere wijze te overzien dan met behulp van zulke kaders met en van begrippen. Zo geeft bijvoorbeeld het periodieke systeem van de chemische

elementen een ordening van de eigenschappen, waaruit regelmaat van die bouwstenen van de materie blijkt.

Beperkte duur en geldigheid

Een theorie is niet van onbeperkte levensduur, omdat de feitenverzamelingen groeien en de inzichten en belangstelling veranderen. Een theorie is vaak slechts deels met empirische (proefondervindelijke) feiten en verbanden ondersteund en heeft gewoonlijk maar een geldigheid voor een beperkt gebied. Die geldigheid (validiteit) kent meestal minder dan volledige zekerheid. Toch is zo'n theorie richtinggevend voor het erna komende onderzoek.

Het is ook een middel voor overzicht van en voor greep op een stukje werkelijkheid: het is een 'denk-tuig'. Een begrip of samenstel van begrippen is er om beter te denken. Ook ergonomie kent zo vele denktuigen.

Aard en nut van modellen

In dit kader past ook het modelbegrip. We vatten een model op als een theorie of systeem, dat wordt voorgesteld met een twee- of drie-dimensioneel schema. Op een overzichtelijke manier worden enkele verschijnselen in kaart gebracht. Het kan gaan om concrete dingen, om eigenschappen of processen. Zij vormen met hun ruimtelijk, of in tijdsvolgorde, weergegeven verbanden een logische afbeelding van een stukje werkelijkheid. Het eerder behandelde vier-pilaren model (figuur 1.15) en het in- en output schema met de ergonomische deelgebieden (figuur 2.11) zijn er voorbeelden van. Zulk een denktuig is steeds abstract en selectief: het is geen foto van de werkelijkheid en er worden alleen elementen en verbanden opgenomen die door de modelmakers van belang worden geacht. Het is een visualisatie voor een totaalbeeld en is ook een geheugensteun (een cognitief ondersteunend product). Het is te beschouwen als een neerslag van een opvatting over de samenhang tussen bepaalde verschijnselen.

Een gebruiksvoorwerp kan ook gemodelleerd worden. Dat kan abstract als een hokjes-en-pijlen schema over eigenschappen van een eerste product-idee. Een gebruiksgoed kan ook concreter worden weergegeven als een 3-D model, dat ook nog niet een geheel volledige, noch gedetailleerde voorstelling geeft van de werkingsprincipes, maar dat slechts een globale vormopbouw weergeeft van het productvoorstel. Ontwerpen is in die zin op te vatten als modelleren. Product-ergonomische modellen kunnen daarbij helpen, om ideeën te genereren, de kritische gebruikaspecten te zien en op te lossen en om hun onderlinge invloeden in te schatten.

Een model kan dus gebruikt worden om een theorie of systeem overzichtelijk in beeld te brengen. Bij een systeem kan dat twee doelen hebben, het aanzetten tot theorievorming over het systeem of slechts het behouden van overzicht over het systeem.

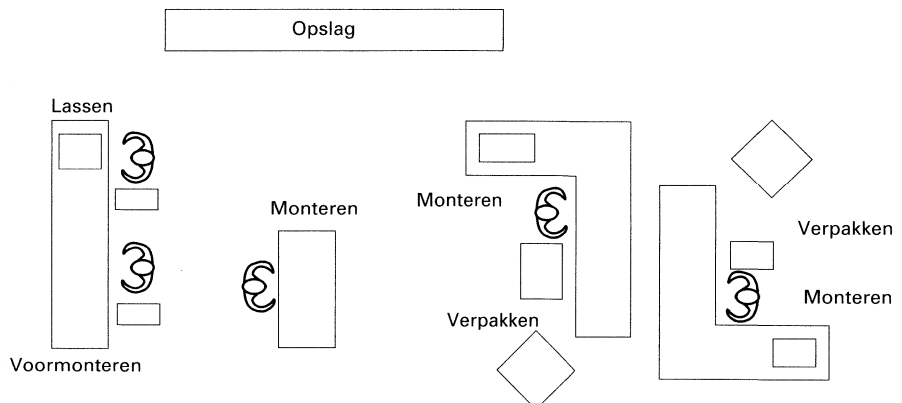
Een model blijft echter zijn specifieke doel en beperkte geldigheid houden. Men wake er dus voor uit het model meer of andere conclusies te trekken dan zijn

abstracte weergave toestaat. Vele weergaven zijn bijvoorbeeld topologisch: er is enige ruimtelijke ordening, maar precieze maten of vormen kan men er niet uit aflezen.

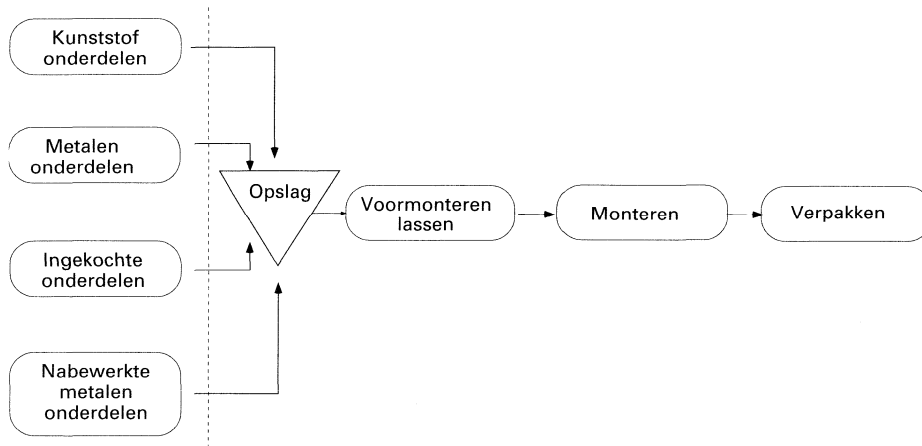
Systeem-beschrijving

Een verwant denkhulpmiddel kan gevonden worden in het begrip systeem. Een systeem is een verzameling en dan speciaal van dingen in onderlinge samenwerking. Het hangt er dus maar van af welke dingen men bijeen wil denken en welke aspecten van relatie men interessant vindt. Het is een denktuig en wel om een geheel en zijn onderdelen voor te stellen. Gewoonlijk gaat het om een samenhangend geheel, waaraan één bepaalde doelstelling expliciet kan worden toegekend en waartoe de onderdelen (sub-systemen) gezamenlijk bijdragen. Ofschoon statische, ofwel 'structurele' elementen vaak in een systeem worden opgenomen, gaat het vaker vooral om dynamica: de onderlinge samenwerking van de subsystemen en de wijzen van opvang van input en de processen van output van dat geheel en van zijn subsystemen.

Zoals hiervoor werd aangegeven, worden systeembeschrijvingen vaak in de vorm van een model, een visualisatie gegoten. Een chemische fabriek, als voorbeeld, heeft een stroom van grondstof en hulpstof en kent een reeks van massaverplaatsingen en bewerkingen tot een eindproduct. Een talige beschrijving daarvan zal al gauw te omvangrijk worden. Een plattegrond met bijschriften kan wat verhelderen over de statische elementen van die fabriek (figuur 3.1). Een abstracter schema van blokken en verbindingen: een 'flow sheet' (figuur 3.2), van de bewerkingsmodulen, met kenmerken (in massa, tijd, chemische en fysische eigenschappen) van die transformaties, kan echter meer inzicht over het totale proces en de deelprocessen geven. Soms wordt zo'n model zelfs gebruikt als metafoer, als een schematisch figuur voor indeling en overzicht, op een bedieningspaneel. Ook zou men, als geheel ander voorbeeld, als systeem kunnen beschrijven hoe een product en zijn onderdelen in hun werking variëren; of hoe een groep ontwerpers samenwerkt om een bepaald probleem op te lossen.



Figuur 3.1 Plattegrond van een fabrieksafdeling (Mossink, 1992).



Figuur 3.2 Flow-sheet van een fabrieksafdeling (Mossink, 1992).

Een systeem kan dus in een model worden gevisualiseerd. Het is wel zaak net als bij theorieën van te voren goed vast te leggen waar men de systeemgrenzen trekt: welke elementen, aspecten en invloeden men systematisch wil beschouwen en welke juist niet. Bij de analyse van een ergonomisch- of ontwerpprobleem moet men er alert voor zijn het systeem niet zo breed op te vatten dat het bedoelde in- en overzicht juist verloren gaan. Bij het vooraf bepalen van doel en proces worden bepaalde aspecten (misschien voorlopig) niet tot het systeem toegelaten, omdat hun invloed en bijdrage waarschijnlijk gering is. Bij een analyse van het systeem van gokautomaat en gebruiker laten we bijvoorbeeld voorlopig de kleur van de kast, de kleding van de speler etc. weg en concentreren we ons op de kern van de interactiefuncties, zoals de kansen op bepaalde combinaties en de presentaties daarvan in samenspel met bedieningshandelingen en tactieken van de speler. Het trekken van de systeemgrens bepaalt wat men aan sub-systemen en interne processen beziet en wat men, buiten het gedefinieerde geheel, als ‘omgeving’ definieert. Ook dient er dan uiteraard te worden geselecteerd tot welke omgevingsinvloeden en tot welke input- en output-aspecten men zich bij die beschrijving en analyse wil beperken. Een eenvoudig voorbeeld:

Voorbeeld van een eenvoudig systeem

Om nader begrip te krijgen over hoe een arm een gewicht tilt, trekken we de systeemgrens aan het ene eind bij de hand met erin een loden kogel en aan de andere zijde bij het schoudergewricht (figuur 3.3). Als elementen stellen we de onder- en bovenarm als twee, oneindig stijve, lijntjes voor onder een hoek en daarbij nog een lijn voor de spierwerking. De lengten, massa's en massamiddelpunten worden ingevoerd, te zamen met de hefkracht van de spieren en richting van de zwaartekracht. We hebben zo een systeem en subsystemen, abstraherend in een model gebracht en kunnen nu hoek, kogelmassa en spierkracht berekenend variëren. Voor de begripsvorming is de vorm en vormverandering van arm en spier

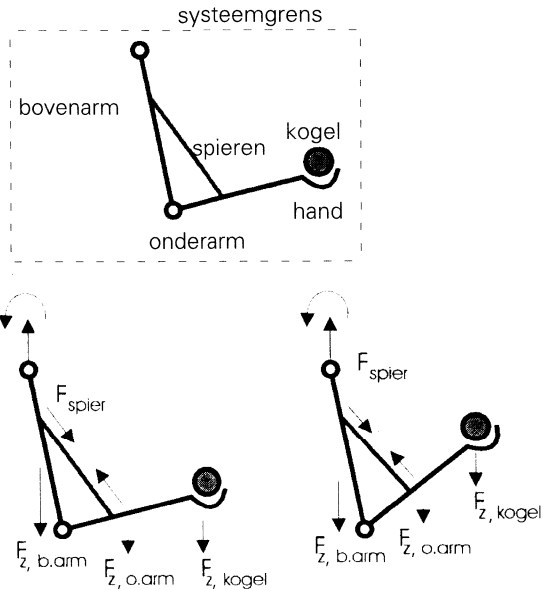
niet van belang en daarom zijn die ook weggelaten. Misschien gaan we later meer omgevingscondities (zoals externe schokken op het systeem) of meer elementen (zoals spieren of enige detaillering van de hand) toevoegen.

3.2 Theorie van levende systemen

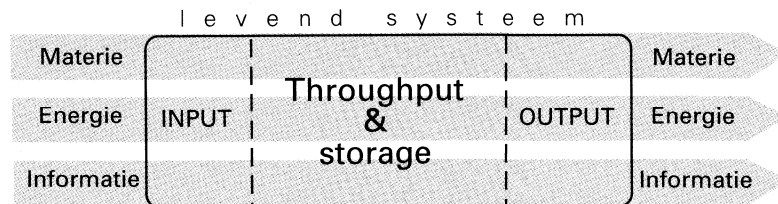
Het volgende is een voorbeeld waarin de sterke relatie tussen theorievorming en beschrijving met behulp van modellen en systemen zal blijken. Er zal aandacht besteed worden aan ‘het systeem mens’, omdat het in de product-ergonomie om mens en hulpmiddel gaat en de eerste daarbij het uitgangspunt en doel vormt.

In de jaren 1950 ontstond een General Systems Theory, waarin L. von Bertalanffy voortrekker was en eind jaren 70 is dat

ondermeer door J.G. Miller (1978) verdiept tot een ‘theory of living systems’. Volgens de theorie van levende systemen zijn alle levende wezens te beschouwen als ‘open systemen’, die gekenmerkt worden, ondanks hun veelvormigheid, door gemeenschappelijke kenmerken van structuur en functies. Het systeem kent een grens, die de binnenkant scheidt van de omgeving (ook wel te noemen het leefmilieu of biotoop). Die grens is echter permeabel, want materie, energie en informatie (respectievelijk m, e, i) worden onafgebroken uit de omgeving opgenomen, verwerkt, deels bewaard en weer uitgescheiden. In figuur 2.9 en in 2.10 werd al een aanzet tot die gedachte gegeven. Nu in model:



Figuur 3.3 Een voorstelling van een eenvoudig systeem.



Figuur 3.4 De m-e-i stromen door een levend systeem.

Omgeving, in verschillende vormen van materie, energie en informatie, stroomt constant door het systeem, maar dat gebeurt selectief. Er zijn sub-systemen voor de selectie van de aard en hoeveelheid per tijdseenheid van de materie-, energie- en

informatiestromen. Voor de verdere verwerking, omvorming en opslag zijn er weer andere subsystemen en zo ook voor de uitscheiding. Natuurkundig gezien bestaat informatie alleen als zij gedragen wordt door materie of energie, maar in dit verband is het een aparte categorie waard. Bijvoorbeeld de situatie dat een fietser een brug nadert: een bel (informatie, energie) wordt gehoord (input); wordt in het brein geïnterpreteerd (informatie-throughput) en uit het geheugen (informatie-storage) herkend als voorsignaal dat de brug straks opengaat en dat leidt als output tot een commando (informatie), om harder te trappen (energie-output) op de fiets. Of: Lucht (materie, energie) wordt ingeademd door het ademhalings-systeem (input), zuurstof wordt eruit afgescheiden en via het bloed naar spieren gebracht (serie van materie-energie throughputs), om samen met reeds verzamelde glucose (energie-storage) tot verbranding, spierwerking en extern uitgeoefende kracht (output) te leiden.

Systeem, entropie en reproductie

Dit 'open zijn' van een levend systeem voor de omgevingsdoorstroom heeft als baten een veelzijdig en dynamisch functioneren: leven. Als kosten geldt echter niet alleen de inspanning, maar ook de entropie: aan leven gaat het systeem op den duur dood. De materie-energie-informatie-stromen laten in toenemende mate sporen na en het systeem verliest na verloop van tijd structuur, samenhang en keert terug naar chaos.

Reproductie is echter ook een levenskenmerk en in de eiwitstructuren van de cellen is een blauwdruk (DNA) vastgelegd, die niet alleen de structuren en levensprocessen van het individu fundeert, maar die door, al dan niet geslachtelijke, voortplanting ook aan een volgende generatie kunnen worden doorgegeven. Kleine variaties bij dat repliceren, mutaties geheten, maar ook de omgevingsselectie, zorgen in een evolutie voor de grote verscheidenheid (diversificatie) van de mens, maar ook van dier en plant. De bijzonder grote informatie-opslag bij mensen maakt, naast de biologische evolutie, ook het doorgeven van cultuur mogelijk en dit veroorzaakt nog grotere verschillen tussen individuen.

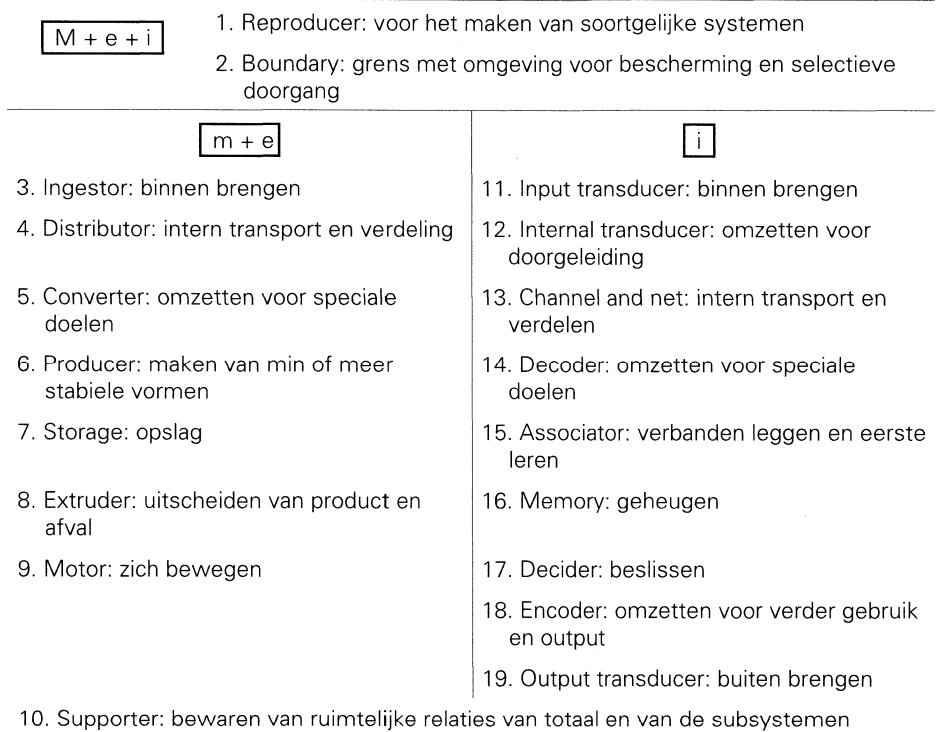
Zeven niveaus van systemen met 19 subsystemen

In de theorie van de levende systemen van juist genoemde Miller worden 19 subsystemen onderscheiden die elk bepaalde procesfuncties hebben ten aanzien van materie en energie, of van informatie, of van een combinatie van die stromen. Wat nu die theorie zo samenvattend en boeiend maakt is, dat die subsysteemfuncties niet alleen gelden op het niveau van het individu, maar ook eronder en erboven.

Een hiërarchie van zeven niveaus, van klein naar groot levend systeem, kan worden onderscheiden:

- cel
- orgaan

- organisme (individu)
- groep
- organisatie
- maatschappij
- internationaal systeem



Figuur 3.5 De 19 subsystemen voor materie (m), energie (e) en informatie (i) van een levend systeem volgens Miller.

De lagere niveaus van systemen zijn bouwstenen (subsystemen) van de hogere. Wat ons in dit kader vooral interesseert, is het niveau van het organisme (individu) en enigszins dat van orgaan, groep en organisatie.

De 19 subsystemen kunnen worden benoemd en geordend en in een specifiek geval van een bepaald levend systeem zouden van elk subsysteem de structuur, het proces en de plaats kunnen worden omschreven.

In het schema (van J.G. Miller, 1978), dat eigenlijk een twee-dimensioneel model van levende (sub)systemen is (figuur 3.5), dient de doorstroming gelezen te worden van boven naar onder. De nummers 1 en 2 en in zekere zin ook 10, verzorgen algemene functies; aan de linkerzijde zijn 3 t/m 9 voor doorvoer en omzetting van materie en energie (ook wel 'metabolisme' genoemd); aan de rechterzijde staan de subsystemen 11 t/m 19 voor het informatie-metabolisme.

De subsystemen, die links en rechts op gelijke hoogte staan, hebben overeenkomstige functies. Die functies worden kort aangeduid in het schema.

De namen van de subsystemen zijn in het engels gehouden.

De gedachte is dus dat dit de subsystemen en hun functies zijn die in levende systemen voorkomen. Deze 19 subsystemen kenmerken het leven en worden bijna alle op elk van de zeven levensniveaus gevonden, van cel tot en met internationaal systeem.

Voorbeelden op drie niveaus

In het schema in figuur 3.6 worden voorbeelden van de 19 subsystemen gegeven op drie verschillende niveaus. Op het orgaan-niveau staan voorbeelden uit diverse organen. Bij de mens kunnen we ze bijna alle 19 invullen en bij het niveau van de menselijke organisatie is gedacht aan een productiebedrijf. Het gaat hier vooreerst om voorbeelden van losse functies en nog niet om de beschrijving van één volledig, specifiek systeem.

m + e + i	orgaan	individu	organisatie
1. reproducer	chromosomen in celkernen	geslachtsapparaat	bedrijfsorganisatieplan
2. boundary	slijmvlies van mond	opperhuid	hek, bewaking
m + e			
3. ingestor	slagader	mond, neus, huid	portier, inkoop
4. distributor	navelstreng	bloedvaten	buizenpost
5. converter	parenchymcellen	tanden, lever	voorbewerking van grondstof
6. producer	parenchymcellen	epifyse, -botaanmaak	bouw- en onderhoudsdienst
7. storage	vloeistof tussen cellen	vetopslag, blaas	magazijn/kluis
8. extruder	klier	anus, zweetklier	expeditie, verkoop
9. motor	dwars gestreepte spieren	bot, spier, pees	machine- en wagenpark
i			
11. input transducer	ooglens	zintuigen	telefoniste
12. internal transducer	hartritme cellen	oogzenuw	postkamer
13. channel + net	zenuwbanen	autonoom zenuwstelsel	buizenpost
14. decoder	zenuwcel die op hormoon reageert	gebied hersenschors	boekhouding
15. associator	DNA	evenwichtsorgaan	lager management
16. memory	-	kort en lang geheugen	archieff, plan
17. decider	speciale zenuwcellen	kleine hersenen	hoger management
18. encoder	cellen die hormoon maken	gebied hersenschors	secretariaat
19. output transducer	zenuwbaan van binnenoer naar brein	spraakorgaan	verzendingafdeling
10. supporter	verbindingsvlieszen	skelet	gebouwen

Figuur 3.6 Voorbeelden van de 19 subsystemen op drie niveaus.

Een complex technisch systeem met levende functies

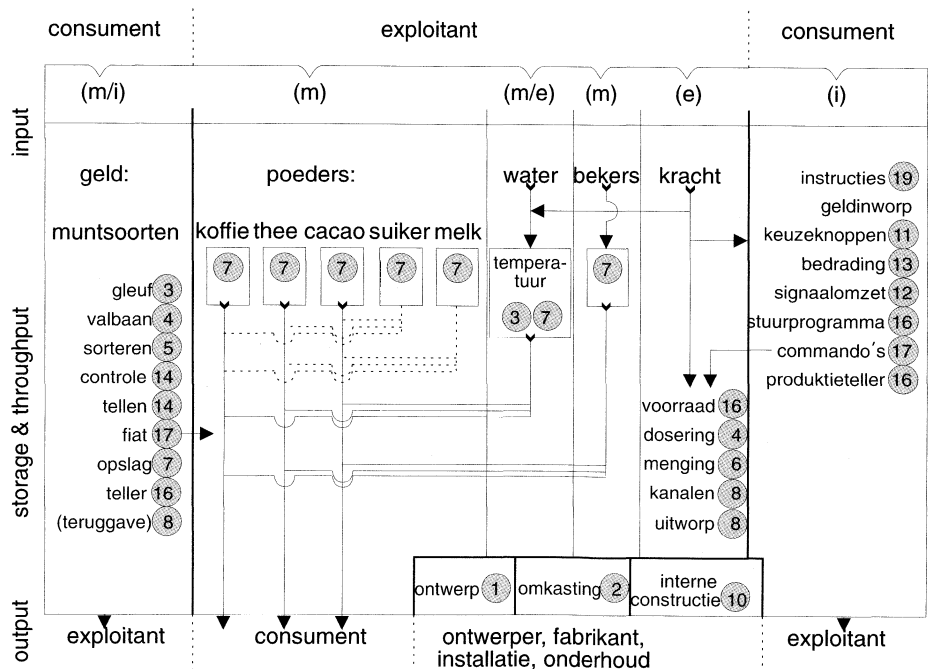
Bij het productie-bedrijf is al te zien dat er zowel mensen als technische hulpmiddelen, of combinaties worden opgenomen. Het idee ligt dan voor de hand dat complexe technische apparatuur soms ook beschreven kan worden met behulp van die 19 subsystemen en dat dit zelfs zonder menselijke subsystemen kan worden weergegeven.

Het apparaat als verlengstuk van de mens is deels ook ontworpen naar zijn evenbeeld, maar heeft er in ieder geval overeenkomsten mee wegens het dynamisch functioneren in een omgeving. Een wat ingewikkelder technisch systeem leent zich soms voor zulk een modellering, als ware het ook een levend systeem. Als voorbeeld een volgend schema.

Het betreft een automaat voor warme dranken. De materie-energie-informatie subsystemen en functies staan er globaal in weergegeven in kolommen, overeenkomstig de inputs en de outputs.

Representeren van mensen en hulpmiddelen

In de omgeving, rechts en onder, van dit systeem (figuur 3.7) staan verschillende mensen. Bijvoorbeeld de consument, die met geld en keuzeknop voor input zorgt in het systeem en die er een, naar wens gevuld, bekertje als output uithaalt.



Figuur 3.7 Schema van warme-dranken automaat als systeem (voor nummers zie figuur 3.5).

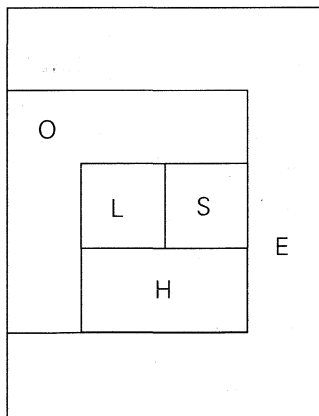
De exploitant of beheerder staat erin, die de grondstofvoorraden aanvult, de elektriciteit aansluit en die als output de geldelijke opbrengst int. De 19 subsystemen en

functies zijn er genummerd in weergegeven. Omdat het geen echt levend systeem is en de automaat, zelfs niet met een ernaast staand exemplaar, zichzelf reproduceren kan, is onder (1) de menselijke bedenker en maker opgevoerd. In feite is de ontwerper of fabrikant dus een nevensysteem (para-systeem) of bovengeordend systeem (supra-systeem). Bij een veel eenvoudiger technisch systeem zijn niet alle 19 subsystemen aanwezig. Een veel ingewikkelder systeem zou als voorbeeld hier te veel tijd en uitleg vergen. Van belang hier, is te weten dat mens en hulpmiddel als systemen kunnen worden voorgesteld, om hun doelen, subsystemen en de deel- en totaal-processen te overzien en te analyseren. Dat leidt tot de gevolgtrekking dat mens en hulpmiddel ook tezamen als een systeem kunnen worden gemodelleerd. Het zal blijken dat zoiets nuttig is, als men een algemeen overzicht en inzicht wil houden of krijgen van mens-product interactie.

3.3 Enkele ergonomische modellen

Het SHOLE-model

Een eenvoudige ordening geeft het SHOLE-model. Die letters vormen een acroniem, als geheugensteuntje voor de elementen: Software, Hardware, Orgware, Liveware, Environment (figuur 3.8).



Figuur 3.8 Het SHOLE model.

Er is een product-systeem. Daarvoor bestaat externe programmatuur: Software, om de machine te sturen. Er is een machine met omkasting, in- en uitvoer onderdelen, interne regel-programma's en mechanismen: Hardware. Er is een menselijke bediener: Liveware, om te bewaken, aan en uit te zetten, software in te zetten. Er is een (arbeids)organisatie, waarvan de drie voornoemde elementen een onderdeel vormen: Orgware. Tenslotte is er een omgeving: Environment, met ruimte en een klimaat, die invloeden uitoefent op alle vier voorgaande. Er zijn interacties tussen alle elementen S, H, O, L en E. De elementen ondersteunen elkaar en er zijn ook mogelijkheden van onderlinge taakverschuiving: de interne programma's van Hardware (ook wel eens 'hard-wired program' genoemd) kunnen immers van Software en Liveware taken overnemen; dat geldt ook andersom. Ook kunnen Liveware en Software in meervoud worden gedacht bij één Hardware: verschillende personen en verschillende software-programma's voor één machine. Dit model kan dus ook gebruikt worden om de taken en functies van een mens-product systeem te verdelen tussen de mens en het technische hulpmiddel.

Model van de drie informatie-bronnen van de mens

Omdat de informatie-stromen, gaande door de SHOLE (sub-)systemen, zo

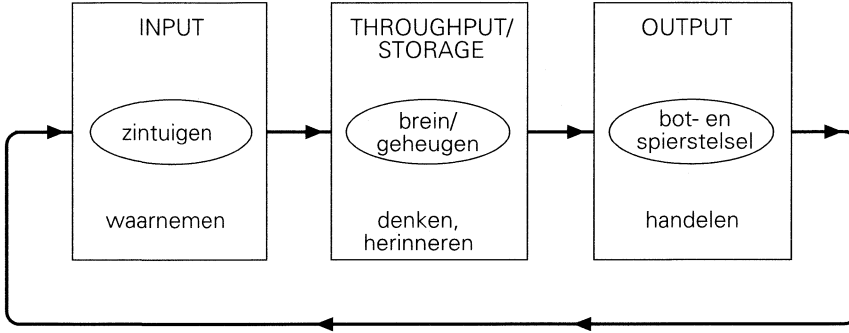
belangrijk zijn en de informatie-verwerking voor ons mensensoort zo uitgebreid en bijzonder is, is het van belang ook hierop enige modellering los te laten.

Om te beginnen is het goed de drie bronnen van informatie-stroom door de mens te onderscheiden: omgeving, geheugens, eigen lichaam.

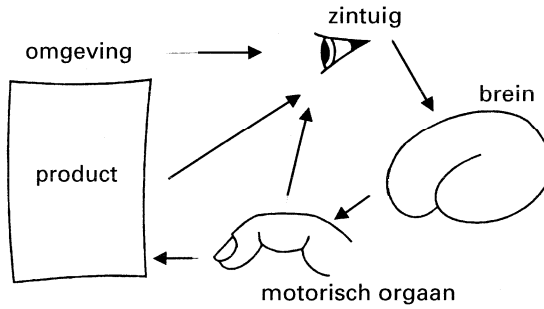
- 1: Uit de omgeving komt steeds informatie binnen en dat is van velerlei aard. Het komt van veraf of dichtbij, varieert in belangrijkheid en kan duidelijk of onduidelijk zijn. Men denke bijvoorbeeld aan productvormen die visueel of tactiel worden waargenomen en iets vertellen over de esthetiek maar ook over de gebruiksmogelijkheden. Het geluid dat een koffiezetapparaat maakt als de koffie klaar is, de sirene van een ambulance in aantocht.
- 2: De geheugencapaciteit van de mens is gigantisch. Het ziet er naar uit dat alle waarnemingen tijdens het leven worden opgeslagen, ofschoon de 'retrieval', (het eruit halen, zich herinneren) maar een zeer kleine fractie is. Hoe de data worden opgeslagen, op fysisch-chemische wijze, en op welke plaatsen, is nog vrij onbekend. De processen van oproepen, zoeken, niet-vinden (vergeten genoemd), herkennen en verkeerd herinneren zijn nog steeds weinig helder, ondanks ruim een eeuw van onderzoek. Wel is duidelijk dat er geheugens zijn voor de korte termijn (short-term memory) en die voor de lange termijn (long-term memory). Ook ziet het er naar uit dat er niet alleen sprake is van passief opslaan (alleen bewaren in een vergaarbak) maar dat er ook actieve processen zijn van indelen, samenvoegen en veranderen. De herkenning van producten en onderdelen en het nog weten van bedieningswijzen, zijn als een ruime data-bank ergens opgeslagen. In 4.4, maar meer nog in deel V van dit studieboek zal daarop verder worden ingegaan.
- 3: De derde informatie-bron is het eigen lichaam. Daarmee worden niet de geheugens bedoeld, maar de signalen die het lichaam over zichzelf genereert. Men denke aan het waarnemen van pijn, het voelen van stand en beweging van ledematen, van druk, spanning en temperatuur in de huid. Deze verschijnselen, ofwel prikkels, vormen continue en grote stromen van informatie, die gelukkig meestal weinig bewuste aandacht vragen. Hierbij kunnen er vele relaties met producten zijn, omdat bij het vastpakken, tillen of bewegen ervan invloeden op het lichaam worden uitgeoefend. Die worden dan waargenomen, niet zozeer via zien of horen, maar via het lichaam.

De lus en spiraal van waarnemen en handelen

Een eenvoudig, maar belangrijk, model is dat van de waarneming-handeling lus. Dat werd al aangeduid in figuur 2.9 en wordt hier nogmaals gegeven in figuur 3.9. De zintuigen nemen waar, het brein verwerkt en commandeert en het bot-spier apparaat gaat tot actie over. Die (re)actie kan weer worden waargenomen, zodat bijsturen of andere actie kan volgen enzovoorts. In een simpel model kan dat worden voorgesteld (zie figuur 3.10). Een oog en een vinger vertegenwoordigen er respectievelijk de input en output. Loodrecht op het vlak kan men de tijd-as denken



Figuur 3.9 De waarneming-handeling lus/spiraal.



Figuur 3.10 Input-output van mens en product.

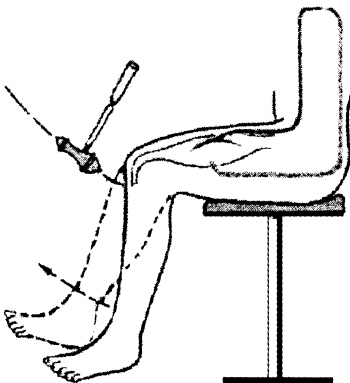
en kan men de elementen herhalen en veranderen, om er de spiraal van waarnemen, verwerken en handelen doorheen te trekken.

Meer of minder bewuste informatie-verwerking

De gedachte, dat er slechts één baan, of kanaal is voor die informatie-stromen, moet worden verworpen. Niet alleen zijn er vele, parallelle zintuigen en output-

organen, ook blijkt dat de lussen bewuster en onbewuster kunnen verlopen en daarmee ‘hoger’ of ‘lager’ in het centraal zenuwstelsel kunnen worden afgehandeld. Er zijn reflexen, die op het niveau van het ruggenmerg verlopen (hamertikje op kniepees bij gebogen knie, zie figuur 3.11).

De meeste lussen verlopen weinig bewust en daarmee ‘lager’ in het brein. Er is maar een minderheid waarbij ‘hoog in het brein’ wordt gewikt en gewogen. Het bewustzijn is zeer selectief en aandacht heeft een kleine, veelal kortdurende scope. Het meeste van ons handelen verloopt automatisch of routine-matig,

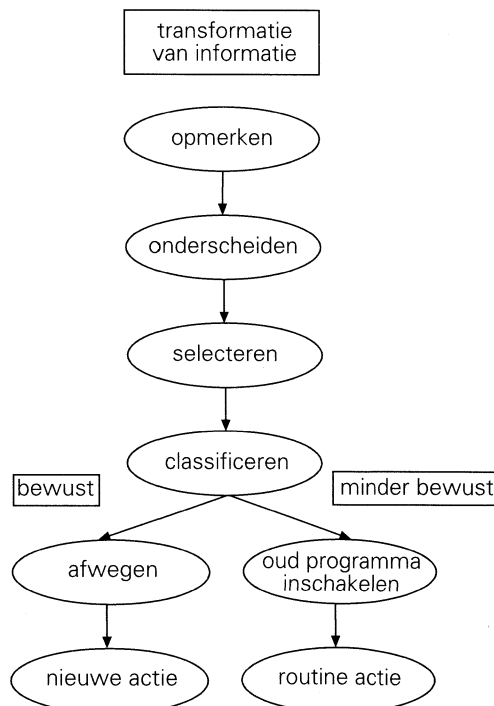


Figuur 3.11 Kniepeesreflex.

volgens ooit geleerde programma's. Dat is ook van toepassing op het bedienen van producten.

Een meer bewuste reeks van transformaties van informatie zou men als volgt kunnen typeren: opmerken-onderscheiden-selecteren-classificeren-afwegen-actie.

Een minder bewuste reeks vervangt beide laatste door: oud program inschakelen - routine actie (figuur 3.12). Het classificeren wordt bij beide genoemd in de betekenis dat de centraal doorgedrongen informatie naar soort en betekenis moet worden ingedeeld. Als men eenmaal fietsen kan, gaan het pedalen rondtrappen en evenwicht houden als routine en heeft men breinruimte over om bewust over iets anders te denken, bijvoorbeeld over het doel van de rit, de voortgang, het gesprek van straks. Leven, en ook leven met producten, zou onmogelijk zijn, als alles bewust zou worden waargenomen, doordacht en gestuurd. Dat we het meeste niet in bewuste herinnering kunnen terugroepen, is een zegen. De Homo sapiens functioneert dus grotendeels als een 'vergetende automaat'! Daardoor zijn we in staat met aandacht iets nieuws en boeiends te doen.

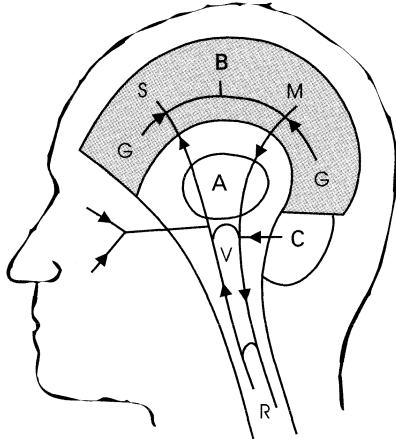


Figuur 3.12 Reeks van informatieverwerking: bewust en minder bewust.

Een brein-model

We kunnen nu overstappen op een 'brein-model' (figuur 3.13), een uiterst vereenvoudigde voorstelling van het meest ingewikkelde en complete mechanisme dat er bestaat. Het is weliswaar genetisch 'hardwired' (door erfelijkheid voor een belangrijk deel functioneel vastgelegd), maar het is nog meer door leren en

ervaring gevuld en dat is bij elk individu en op elk leefmoment anders (Cordon, 1992). Het betreft hier meer een functionele dan een anatomische afbeelding. De bovenste vier functies zijn inderdaad te situeren in de, evolutionair gezien, nieuwe hersenen en daarvan vooral de cortex cerebri (hersenschors). Er zijn lagere en hogere lussen getekend van binnenkomst en vertrek van informatie-stromen.



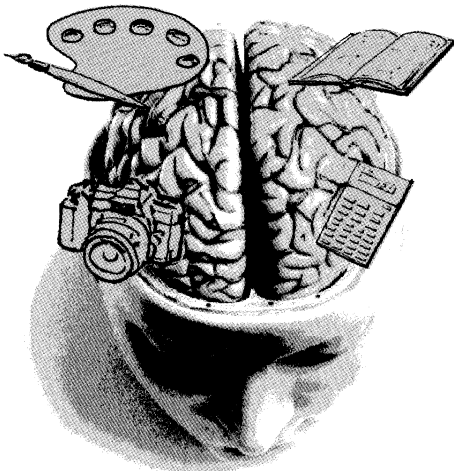
- S = sensorische verwerking;
- B = bewustzijn: afwegen en besluiten
- M = motorische programmering en sturing
- G = geheugens
- A = activatie-regeling (van slaap tot alertheid)
- C = cerebellum, voor motorische fijnregeling
- V = vegetatieve sturing van vitale lichaamsprocessen (spijsvertering, warmteregulatie e.d.)
- R = ruggemerg: de i - kabel van en naar de rest van het lichaam

Figuur 3.13 Een brein-model.

Linker en rechter hersenhelft

Wat in voorgaand zij-aanzicht niet kan worden aangegeven, is dat er een linker en een rechter hersenhelft is. Die zijn weliswaar verbonden met elkaar en in menig opzicht elkaars spiegelbeeld, maar hebben bij de mens deels verschillende functies. De linker 'hemisfeer' verzorgt vooral de rechter lichaamshelft en rechter hemisfeer

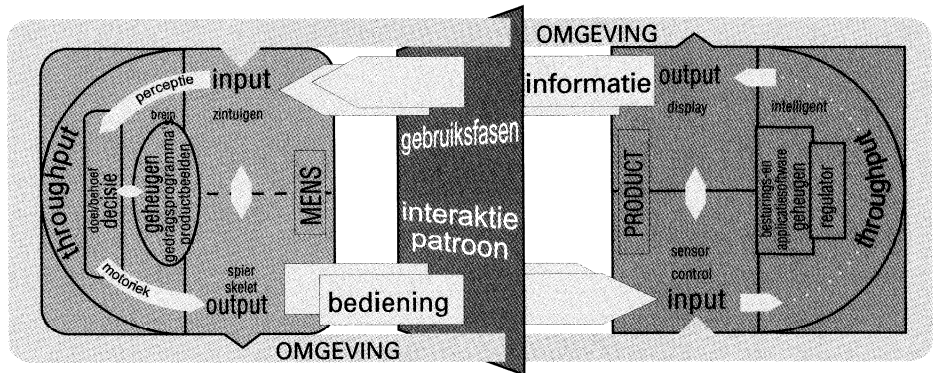
de linker lichaamshelft; er is dus sprake van kruising. De rechter hersenhelft heeft een belangrijker functie voor creatief en synthetisch denken en voor het ruimtelijk inzicht. De linker hemisfeer daarentegen verzorgt vooral het analytische denken, de tijdzin en taal (figuur 3.14). Dankzij deze biologische en psychologische uitrusting, kunnen we ook technisch uitpluizen en scheppen: productonderdelen, producten en -systemen, analyseren, ontwerpen, vervaardigen en ermee omgaan; en ze dus ook product-ergonomisch aanpassen en optimaliseren.



Figuur 3.14 Functionele verschillen tussen hersenhelften.

3.4 Het Mens-Product Interactiemodel

Voor het overzicht van en als geheugensteun voor de belangrijkste sub-systemen en processen is een model ontwikkeld voor mens-product interactie (figuur 3.15). Veel van wat tot nu is behandeld kan in dat overzicht worden gedacht, herkend of samengevat. Het model zal onder andere gebruikt worden om de volgende delen in dit boek te plaatsen in onderlinge relatie.



Figuur 3.15 Het Mens-Product Interactiemodel.

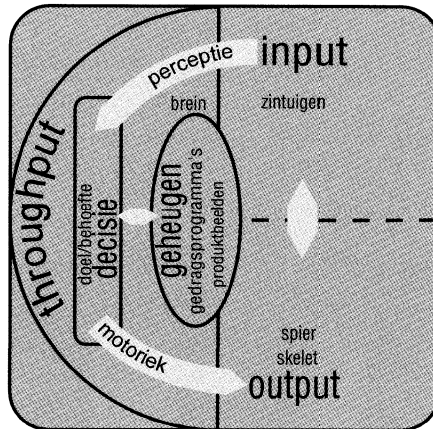
Het model is opgebouwd uit drie delen, zoals de benaming al suggereert. De mens, de interactie en het product; ofwel respectievelijk de gebruiker, het gebruiken en het technische hulpmiddel. De omgeving wordt ook benoemd maar is om het overzicht in het model te behouden, minder uitgewerkt.

Het sub-model Mens

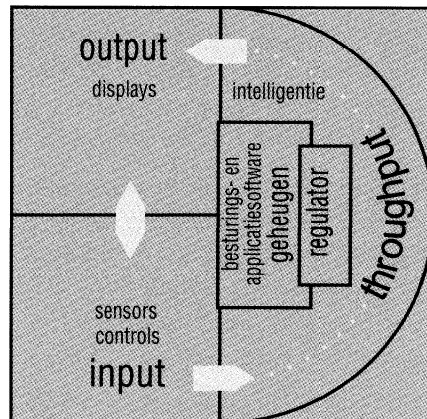
De mens staat ter linkerzijde weergegeven. De input via de zintuigen, de throughput and storage door middel van het brein en de output door het spier-skelet-systeem staan aangegeven. De doorstroming via het decisie-element (bewustzijn) en de samenwerking met het geheugen zijn erin te herkennen. Er zijn mogelijkheden van een directer doorstroming (reflex, routine) van zintuigen naar spier-skelet en daarbij kan ook de waarneming van eigen lichaam en handelen worden inbegrepen (figuur 3.16).

Het sub-model Product

Het product staat ter rechterzijde, maar kan - in tegenstelling tot de mens - op verschillende manieren worden ingevuld. Dit is afhankelijk van het soort product of de productgroep die onderwerp van de modelvorming is. In geval van een product met eigen programmering, geheugens en regeling, spreekt men van een 'intelligent product'. In zulk een geval van een complex product (men denke bijvoorbeeld aan de warme-dranken automaat van figuur 3.7 of aan een personal computer), is het product meer een spiegelbeeld van de mens (figuur 3.17).



Figuur 3.16 M-deel van het Mens-Product Interactiemodel.



Figuur 3.17 P-deel van het Mens-Product Interactiemodel.

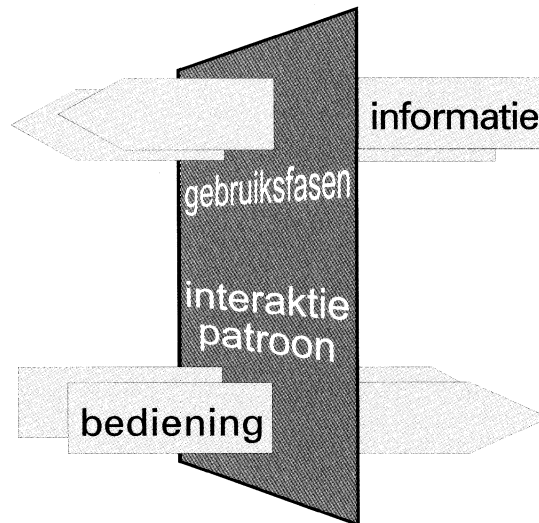
De informatiestroom loopt via de bedieningsonderdelen (controls), waardoor commando's van de gebruiker binnenkomen en soms ook via sensoren, de kunstmatige zintuigen, of 'voelers' (bijvoorbeeld de infrarood detector van het voordeurlicht) van het product. Bij intelligente producten gaat vervolgens de stroom van informatie naar de intelligente onderdelen, die een besluit kunnen nemen, die sturen en die vaak ook een of meer programma's (in een wasmachine bijvoorbeeld) kunnen afwerken. Het output-subsysteem wordt dan gevormd door een of meer signaalgevers (displays), waarmee de machine aan de gebruiker iets meldt (een zoemer, een waarschuwingslampje, een wijzerplaat, een beeldscherm). Onder displays worden niet alleen visuele displays verstaan, maar ook bijvoorbeeld auditieve displays. Dit kan bijvoorbeeld het geluid van een elektromotor zijn dat aangeeft dat een machine in werking is, of een koffiezetapparaat dat hard begint te pruttelen als de koffie bijna klaar is. Bij producten zonder intelligentie is de lus korter en is er een directer relatie tussen controls en displays. In zeer eenvoudige gevallen zijn die twee functies zelfs niet als afzonderlijke onderdelen aanwezig:

men richt de aanwijfsstok en ziet de nieuwe oriëntatie; de omvatte onderzijde dient als control en de rest, of wellicht een opvallende punt op het eind, vervult dan de display-functie.

Er wordt nadrukkelijk op geattendeerd dat het uiteraard een eenzijdig en abstract model is van een technisch product. Eventuele kracht, grondstof en bewerking zijn weggelaten. Het is niet de bedoeling om bij toepassingen, bijvoorbeeld op het model van een DVD-speler, erin aan te geven waar de disk erin moet. De modellering is er immers vooral voor de interactie en die kan men het beste op het informatie-niveau beschrijven.

De modellering van Interactie

De interactie staat als kern in het midden. Er stroomt informatie van het product naar links naar de gebruiker en er gaan bedieningsinvloeden naar rechts (zie figuur 3.18). Om de tijd-as en de spiraal van waarnemen en handelen in herinnering te roepen, zijn de pijlen dubbel uitgevoerd en gaan deze pijlen door een tussenliggend, anders georiënteerd vlak. Op dat vlak staan twee zaken aangegeven.



Figuur 3.18 I-deel van het Mens-Product Interactiemodel.

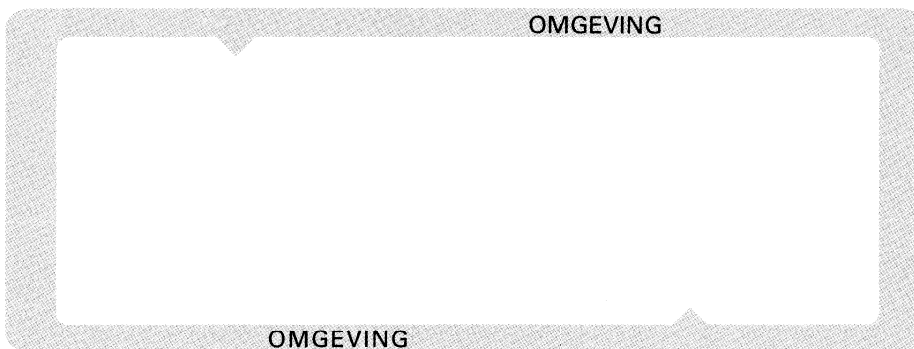
Ten eerste zijn dat de 'gebruiksfasen'. Bijvoorbeeld naar het product toegaan, het gereed maken voor het gebruik, het starten, het eigenlijk gebruiken, het stoppen, het reinigen, het opbergen (zie ook figuur 20.3). In iedere fase komen specifieke bedieningshandelingen en informatie stromen voor. De serie kan, naar gelang het type van product, op verschillende wijzen en in uiteenlopende mate van detaillering worden ingevuld.

De tweede aanduiding op het middenvlak 'Interactie-patroon' verwijst naar de systematisch weerkerende, invariante, elementen van waarnemen en hanteren die in een bepaalde vaste volgorde optreden en zo een gebruikspatroon vormen. Daarmee kan een bepaalde interactie worden beschreven en getypeerd. In zekere

zin wordt zo'n interactie door de productontwerper ook mee-ontworpen. Bij eenvoudige of kortdurend gebruikte producten of producten die veel vrijheidsgraden in het hanteren kennen (bal, potlood), is het niet erg zinvol of zelfs onmogelijk om van een interactiepatroon te spreken. Ook daar zijn er soms patronen, die een individu (basketballer) meestal of enkele malen bij interacteren vertoont, maar is er te weinig overeenstemming tussen de patronen van de verschillende gebruikers.

Het submodel Omgeving

De omgeving is in het model niet uitgewerkt tot in detail van elk mogelijke relatie tussen mens en omgeving of product en omgeving. Om dit enigszins te ondervangen, is de omgeving aangegeven als een alles omvattende band (zie figuur 3.19). De temperatuur waaronder de interactie plaats vindt, de vochtigheid, verlichting, eventueel lawaai of mechanische trillingen, zijn zeker onderwerpen van ergonomische aandacht en vormen zelfs hoofdonderwerpen bij de werkplek-ergonomie (onder meer door de wet op de arbeidsomstandigheden, ARBO). Aan die aspecten zal verderop wel enige aandacht worden besteed. De juist genoemde aspecten vormen de omgeving in fysisch-chemische zin, maar er vallen ook andere omgevingen te onderscheiden. Ter linkerzijde kan de gebruiker zijn ingebed in een sociaal-organisatorische omgeving: samenwerken met een ander, opvolgen van opdrachten. Ook kan het zinvol zijn de technische omgeving in beschouwingen te betrekken, bijvoorbeeld omdat andere producten tegelijkertijd de interactie beïnvloeden, of dat het product gekoppeld is aan een groter technisch systeem, bijvoorbeeld energie- of grondstoftoevoer en -afvoer. De omgeving kan ook informatie over de interactie geven. Bijvoorbeeld de winddruk op het lichaam van een motorrijder vertelt haar veel over de snelheid.



Figuur 3.19 O-deel van het Mens-Product Interactiemodel (grijs).

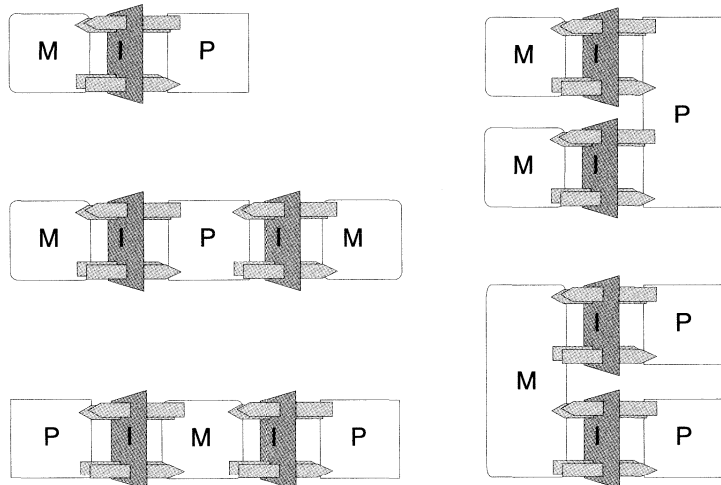
Verschillende Mensen of Producten tegelijkertijd

De modellering van één gebruiker met één technisch hulpmiddel, kan worden uitgebreid, zie figuur 3.20. M-P-M: twee personen communiceren via een product (praatpaal). Of een geval van P-M-P: een bediener vormt de functionele

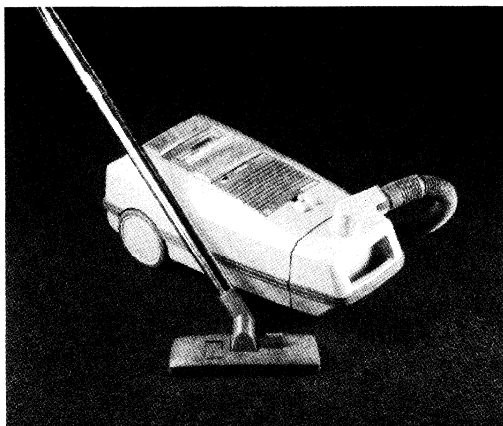
verbindingsschakel tussen twee producten; $M > P$: twee personen die tegelijkertijd, al dan niet in samenwerking of met hetzelfde doel, één en hetzelfde product hanteren; $M < P$: de al eerder aangeduide situatie van het terzelfdertijd hanteren van twee of meer producten door één mens.

Voorbeelden van invulling van het Mens-Product Interactie-model

Product: fauteuil. De zittende persoon wordt ondersteund. Zijn lichaam, in een bepaalde houding, drukt (M-output) op de steunvlakken van zit- en rugvlak en armleggers (P-input) en dat geeft reactie-krachten, vering, vervorming (P-output) in die stoel, welke door de persoon worden waargenomen in huid en ledematen (M-input) en dat wordt als (on)aangenaam ervaren (brein); af en toe gaat de persoon verzitten (interactie-reeks).



Figuur 3.20 Meervoudige Mens, Product en Interactie combinaties.



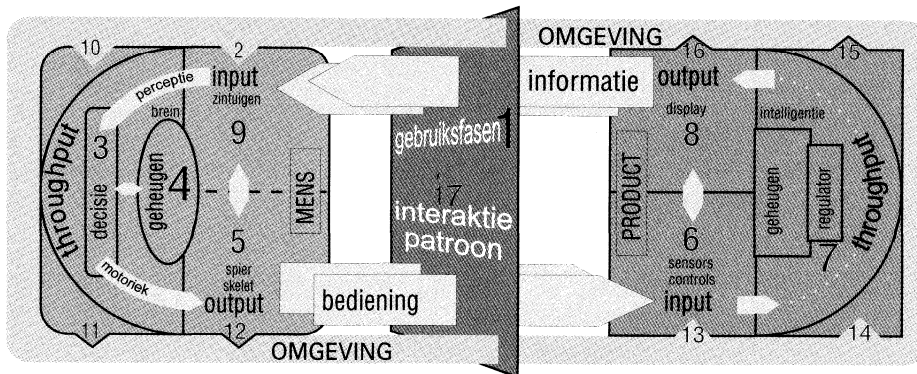
Figuur 3.21 Welke M en I bij deze P?

Product: Stofzuiger. In de fase van het eigenlijk gebruik wordt door de gebruiker de slang in een positie gehouden en bewogen en de zuigmond verschoven en af en toe wordt het blok van motor en stofopvang verreden. Dat vormt M-output van een arm, misschien van romp en benen om te staan en te lopen. Bij het aanzetten via de voetknop (control) is er een start-commando als P-input gegeven, evenals misschien de zuigkracht werd ingesteld. Wat de machine

‘display-t’, zijn het motor- en luchtgeraas, het speciale geluid van contact met het

te zuigen vlak, de zichtbare voortgang van de zuigmond en wellicht een speciale aanduiding van de zuigkracht of van de vullingsgraad van het stof-reservoir. Die P-output wordt gehoord, gezien of gevoeld en wordt dus M-input. Er wordt een schoonmaak-tactiek gevolgd van eerst de open ruimten, dan pas onder de meubels en bij moeilijker hoekjes of stofjes wordt even nagedacht en improviserend besloten en bijgestuurd. Omdat deze huisman of -vrouw dit al jaren om de dag doet, is het interactie patroon nogal omljnd en voorspelbaar.

Product: Personenauto (een algemeen ondersteunend product) en bestuurder. We hebben hier van doen met een complex en deels intelligent product, dat ondanks de miljoenen aantallen een hoogstandje van techniek blijft en dat ook een duidelijk leerproces van gebruikers vooronderstelt. Als verlengstuk van het menselijk bewegingsapparaat is de hoofdfunctie het zich verplaatsen door een omgeving en die omgeving zal dus bij deze invulling van het Mens-Product Interactie-model niet kunnen worden verwaarloosd (figuur 3.22).



Figuur 3.22 Invulling nummers van het Mens-Product Interactiemodel voor personenauto en bestuurder.

In de interactie tussen chauffeur en auto zijn vele fasen (1) te onderscheiden; Instappen, rijden, parkeren, repareren, tanken, wassen. Laten wij het rijden eens nader bekijken. Ter afbakening van de fase gaan we er vanuit dat de chauffeur alleen rechtuit gaat en al met een bepaalde snelheid over een weg rijdt. Op basis van input uit de omgeving (2) (windgeruis, verkeerssituatie) besluit (3) de chauffeur, op basis van eerdere ervaringen (4), op het naderende kruispunt dat het verstandig is de snelheid te verminderen. Rechtervoet krijgt de opdracht het gaspedaal los te laten (5) en linkervoet moet het koppelpedaal intrappen (5) terwijl rechterhand de versnellingspook moet bedienen (5) zodat er naar een lagere versnelling geschakeld wordt. De veranderende stand van de versnellingspook (6) is aanleiding voor de transmissie (7) om op een andere verhouding over te schakelen. De weerstand en de stand in de ruimte van de versnellingspook (8) die de chauffeur voelt (9) doen hem, in dit routinematig handelingsproces dat in het geheugen ligt opgeslagen (4), besluiten (3) dat het koppelpedaal weer langzaam los gelaten kan worden (5). Hoe langzaam dit moet, ligt deels opgeslagen in

de routine in het geheugen, maar wordt bijgestuurd (3) via het veranderen van het geluid dat de motor maakt (8).

In het voorbeeld is een aantal interacties niet aan de orde gekomen.

Omgevings-input voor de mens (10) kan bijvoorbeeld bestaan uit voedsel en warmte. Dat kan relevant zijn als de chauffeur zich onprettig voelt door een te koude omgeving of dat de chauffeur zich zelf afleidt door tijdens het rijden iets te nuttigen.

Output van de mens naar de omgeving (11) kan van belang zijn als door zweterige handen de grip op het stuur vermindert.

Bedienings-output van de mens op de omgeving (12) komt voor bij het verkrijgen van toegang tot een parkeergarage waarbij er door een open raampje op een knop gedrukt en een kaartje uitgenomen moet worden.

Omgevings-input voor het product (13) speelt een rol bij de activering van een airbag door een acceleratie sensor.

Omgevings-input in het product (14) komt aan de orde in de gebruiksfase (1) 'onderhoud' als de olie bijgevuld moet worden.

Product-output naar de omgeving (15) is bijvoorbeeld de uitstoot van uitlaatgassen.

Product-output van displays naar de omgeving (16) is bijvoorbeeld de claxon.

Beschrijven van interacties is niet het einddoel. Het voorgaande is slechts de eerste stap in een grondige analyse. Het gaat er in de ergonomie om dat de interactie efficiënt, comfortabel en veilig verloopt. Er moet dus bekeken worden waar het fout kan gaan of wat er voor verbetering vatbaar is. Is een versnellingspook met een voetbediende koppeling wel zo gunstig? Er zijn alternatieven, maar een automatische transmissie is minder geschikt om de verschillende gebruikspatronen (17) die optreden bij één chauffeur en binnen de totale populatie van chauffeurs (agressief rijden, zuinig rijden, beginnende chauffeur) mogelijk te maken. De tussenvorm die in de 'formule 1' racerij gebruikt wordt, handschakelen met automatische koppeling, is gewoon te duur om in middenklassers in te bouwen, maar is ergonomisch gezien misschien wel een geschikt compromis.

Met deze modellering is niet alles in kaart gebracht. Het is wel een denktuig, om een Mens-Product Interactie-situatie een eerste ordening te geven en om bij verder analyseren en ontwerpen belangrijke subsystemen, aan beide zijden, niet te vergeten. Het kan bij het begin van een ontwerpproject ook het stramien vormen voor een ergonomische functie-analyse en een aanzet tot een belangrijk deel van een programma van eisen.

Begrippen

Denktuigen:

- k2 feiten, verbanden en invarianten
- k2 theorie, model en systeem als kader
- k3 beperkte duur en geldigheid
- k3 model als selectief, ruimtelijk schema
- k2 systeem als samenhang van functies en onderdelen

- k3 dynamica en statica van systeem-elementen
- k2 systeemgrens

Theorie van levende systemen:

- i2 selectief doorstromen van materie, energie en informatie
- i3 entropie, reproductie en cultuur
- k3 hiërarchie van zeven niveaus van levende systemen
- k3 de algemene sub-systemen met metabolische functies voor materie-energie of voor informatie
- k3 complex product met de algemene subsystemen

Ergonomische modellen:

- k2 SHOLE-model
- k1 model van de drie informatie-bronnen van de mens
- k1 de lus en spiraal van waarnemen en handelen
- k2 meer of minder bewuste informatie-bewerking
- k3 de mens als ‘vergetende automaat’
- k3 een breinmodel met acht elementen, onder meer cortex cerebri (hersenschors) en cerebellum (kleine hersenen)
- k3 functies van linker en rechter hersenhelft

Het Mens-Product Interactie-model:

- k1 elementen en processen van:
de Mens, het Product, de Interactie en de invloeden van de Omgeving
- k1 meervoudige Mens-Product combinaties
- t2 invulling van Mens-Product Interactie-model met specifiek productgebruik
- t2 Mens-Product Interactie-model als stramien voor ergonomische functie-analyse en programma van eisen bij ontwerpen.

Vragen en suggesties

- 3.1. Hoe zou het komen dat een ruimtelijk schema meer overzicht pleegt te geven dan een omschrijving in alleen woorden?
- 3.2. Welke overeenkomsten en verschillen zijn er tussen de denktuigen: systeem en model?
- 3.3. Bedenk een eenvoudig stroomschema van producten en acties bij uw ontbijten.
- 3.4. De zeven niveaus en 19 subsystemen van Miller behoeft men niet uit het hoofd te kennen, maar beredeneer de waarde van zijn theorie.
- 3.5. Welke drie bronnen van informatiestroom door de mens zijn er te onderscheiden?
- 3.6. Analyseer de lus van waarnemen en handelen terwijl u deze tekst leest.
- 3.7. Leg uit, in eigen woorden, waarom de productontwerper als een supra-systeem gezien kan worden binnen de theorie van Miller.

- 3.8. In welke opzichten wijkt de systeembeschrijving van de warme-dranken automaat af van een technische tekening?
- 3.9. Bepaal MPI delen van een gebruiker van een telefooncel.
- 3.10. Wat zijn meervoudige MP combinaties? Kunt u er een aantal bedenken uit uw dagelijks leven?
- 3.11. Vul het SHOLE-model in met een concrete situatie uit uw omgeving.
- 3.12. In hoeverre gaat het beeld op van de productgebruiker als ‘vergetende automaat’.
- 3.13. Let op de verschillende niveaus van input-output lussen in het brein-model en hoe verschillende corticale (hersenschors) functies weer verband houden met de categorieën van fysiek, sensorisch en cognitief ondersteunende producten.
- 3.14. Ga na welke vereenvoudigingen zijn toegepast op de mens om dit levende systeem in het Mens-Product Interactie-model weer te geven.
- 3.15. Bedenk een voorbeeld waarin verschillende gebruiksfasen van een zelfde product een aanmerkelijk andere invulling van het Mens-Product Interactie-model vergen.
- 3.16. Tot welke productcategorie zou u de gegeven voorbeelden, fauteuil en stofzuiger, rekenen?
- 3.17. Helpt het Mens-Product Interactie-model alleen het overzicht of ook het inzicht?
- 3.18. Vul het voorbeeld aan van een auto en chauffeur door het MPI-model toe te passen op gebruik van een elektronisch navigatiehulpmiddel met visuele display in het dashboard.

4

De ontwerpuitdaging door de menselijke verscheidenheid

Samenvatting

In de voorgaande hoofdstukken werd vooral in algemene zin over de menselijke productgebruiker gesproken. Het technisch productontwikkelen en het industrieel ontwerpen in het bijzonder houden echter per definitie in dat er een bepaald product is voor een bepaalde groep van gebruikers. Gebruikers verschillen echter onderling aanmerkelijk. Goed ontwerpen voor die verscheidenheid is een kernprobleem voor de productergonomie en voor het ontwerpen van gebruiksgoederen. In die verscheidenheid blijkt desalniettemin enige regelmaat.

De frequentieverdeling van een gebruikerskenmerk is gewoonlijk normaal verdeeld. Eenvoudige statistische parameters en berekeningen geven een goede greep op de verschillen binnen een gebruikerspopulatie. Voor de keuze van en uit die populaties worden zeven ontwerptypen verduidelijkt. De belangrijkste bronnen voor productergonomische data worden aangegeven. Erna wordt het ontwerpen van de herkenbaarheid en van het gebruik behandeld met het beeld van ‘drie woordenboeken’, die een deelnemer aan een bepaalde techno-cultuur ongeveer kent. Tenslotte wordt nagegaan waar de kennis uit de productergonomie meer en minder ontwerprelevant is.

4.1 De normaal-verdeling

De gemiddelde mens bestaat niet

In de voorgaande hoofdstukken zijn er voornamelijk totaalbeelden van mens en hulpmiddel opgebouwd. Een beeld van de gemiddelde mens is voor productontwerpen en ergonomie van belang als basis om verder te nuanceren. Mensen hebben weliswaar veel gemeenschappelijke kenmerken, maar de ‘gemiddelde mens’ is een denktuig, die in de werkelijkheid niet voorkomt. Dat geldt min of meer ook voor ‘het’ hulpmiddel. Bij de behandeling van het breinmodel werd al gesteld dat er geen twee individuen gelijk zijn en dat een individu, ondanks identiteit, persoonlijkheid en levenssituatie, steeds in ontwikkeling is en dus continu verandert. Er is vanaf de bevruchting een proces aan de gang van toenemende individualisatie, dat pas bij de dood ophoudt.

Natuur en cultuur doen individualiseren

Voor het brein is dat te verklaren door de voortdurende opslag in het geheugen van doorleefde omgevingen, situaties, en eigen gedragingen. Ook de biologische basis varieert, doordat de genetisch bepaalde hersen‘bedrading’ (genetic wiring) per

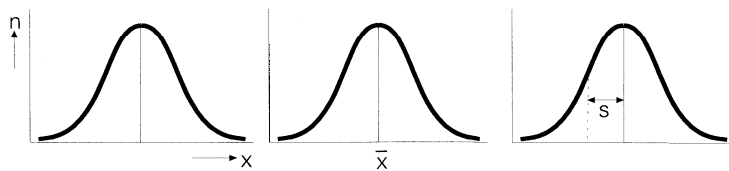
individu bij de geboorte al uniek is en voortdurend mee-individualiseert. Menselijkerwijs gezegd: de natuur streeft naar diversificatie, via geslachtelijke menging, via mutatie en selectie, zodat er bij wijziging van omstandigheden toch levensvormen overblijven. Verscheidenheid van mensen draagt ook bij tot het voortbestaan van de soort en waarschijnlijk geldt ook dat door de verscheidenheid van culturen en zelfs van technische voortbrengselen het overleven gediend wordt.

Ook fysieke individualisatie

Het is dan ook niet verwonderlijk dat die grote variatie niet alleen in de dynamica van menselijk waarnemen, denken, onthouden en handelen valt te constateren, maar ook in de lichamelijke kenmerken. Die variatie is veel breder dan we denken, maar ons vooroordeel van uniformiteit moet bijgesteld worden, om een ontwerp-probleem te kunnen oplossen met een goed product. Ook in fysieke zin is er geen gemiddeld mens en is grote variatie troef. Het voorgaande wordt natuurlijk ook bepaald door de resolutie: hoe gedetailleerd wil men beschouwen. Onder een sterk vergrootglas immers zijn zelfs haren verschillend. We hebben het hier echter over menselijke kenmerken op veel grover niveau die van direct belang zijn voor de interactie met producten, bijvoorbeeld handbreedte, buikomvang, gezichtsscherpte en kort geheugen. Wel kan worden verwacht en het is ook wel bewezen dat de variatie toeneemt, gaande van de fysieke ergonomie, via de sensorische naar de cognitieve ergonomie.

De Gauss-curve, \bar{x} en s

Er is een theorie, die stelt dat een individu gekenmerkt wordt door een genetisch bepaald stelsel van structuren en processen, die door te leven in diverse richtingen kunnen uitgroeien. Ook een groep mensen kent een gemeenschappelijke kern, die door de toevallige, remmende en bevorderende omgevingsinvloeden, in de loop der tijd een spreiding in verschijningsvormen te zien geeft. Deze spreiding blijkt meestal voldoende overeen te stemmen met de statistische kansverdeling van Gauss. Deze kansverdeling is een frequentie-verdeling in de vorm van een normaal-verdeling. Bij een frequentie-verdeling wordt op de y -as uitgezet hoeveel individuen (n) er binnen de meetwaarden vallen die op de x -as zijn uitgezet. Een normaal-verdeling is ééntoppig, tweezijdig symmetrisch en met asymptoten aan beide uiteinden:



Figuur 4.1 De normaalverdeling, n , x , \bar{x} en s

Hierbij is n het (gemeten) aantal individuen en x is het variabele kenmerk, met gelijke stappen in oplopende intensiteit geordend. De \bar{x} staat voor het rekenkundig

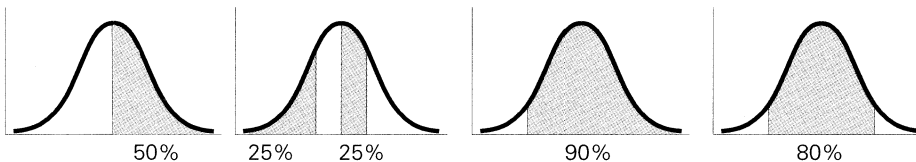
gemiddelde, de s staat voor standaardafwijking. Laatste is de spreidingsmaat en die kan worden opgevat als de gemiddelde, absolute afwijking van de x_i -waarden ten opzichte van de \bar{x} :

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Die s is de horizontale afstand tussen de symmetrie-as en het buigpunt van de curve. De s kan ook overal op de X -as als eenheid van een bepaalde breedte worden gebruikt. Zo kan een waarde x_i ook ten opzichte van de symmetrie-as worden uitgedrukt in een aantal malen s . Een bepaalde x_i ligt bijvoorbeeld op een afstand van $2,3s$ rechts van \bar{x} . Beide parameters, \bar{x} en s , leggen de normaal-verdeling vast. Met kennis van die twee kan worden volstaan om een groep individuen te typeren; liefst alle individuen die in aanmerking komen voor het meten van dat kenmerk en die als groep dan populatie wordt genoemd. Zo geldt bijvoorbeeld voor de populatie van elfjarige Nederlandse jongens een voetslengte van $\bar{x} = 234$ mm bij $s = 14$ mm; bij even oude meisjes: $\bar{x} = 229$, $s = 12$ mm (Steenbekkers, 1993). De populatie van 20-60 jarige Nederlanders kent als normaal verdeeld lichaamsgewicht $\bar{x} = 71$ kg, $s = 11$ kg (Dined, Molenbroek en Dirken, 1986).

Percentielen en z-waarden

Bij ergonomische vraagstukken die zich voordoen tijdens het ontwerpen, is het van groot belang te weten hoeveel procent van een populatie niet groter is dan een bepaalde X -waarde, of kleiner is dan een bepaalde X_i , of welk populatie-percentage zich tussen twee uiteenliggende, bepaalde X -waarden bevindt.

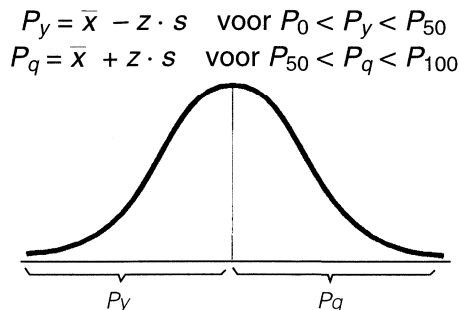


Figuur 4.2 Percentages van de populatie.

De gemerkte oppervlakken in de voorbeelden van figuur 4.2 geven het aangeduide percentage van de populatie aan, dat onder een bepaald deel van de curve ligt en varieert tussen twee specifieke X_i -waarden. Die percentage-vragen worden beantwoord in 'percentielen'. Wat is een percentiel? Indien door verticale lijnen het oppervlak onder de curve in honderd gelijke oppervlakken (in het middengebied hoog en smal; naar de asymptoten toe lager en breder) wordt verdeeld, zijn er honderd percentielen met elk een kenmerkende X_i . De X -waarde voor bijvoorbeeld P_{33} geeft aan dat 33% van de populatie deze of een kleinere waarde hebben op die variabele en 67% een grotere waarde hebben.

De bepaling van een percentiel P_j gaat via de excentriciteitsmaat z , die vermenigvuldigd wordt met de standaardafwijking s , als: $P_j = \bar{x} \pm z_j \cdot s$ en dus te berekenen vanaf de symmetrie as (\bar{x}).

% eenzijdig oppervlak	z-waarde
25	0,67
30	0,84
35	1,04
40	1,28
45	1,65
47,5	1,96
49	2,33
49,9	3,09
34,1	1
47,7	2
49,86	3
49,997	4



Figuur 4.3 Enkele z-waarden.

Het vijftigste percentiel is bij een normaalverdeling dus gelijk aan het rekenkundig gemiddelde. Ofwel $P_{50} = \bar{x}$ in formulevorm. Een $P_{75} = \bar{x} + 0,67s$; een $P_{10} = \bar{x} - 1,28s$ en een $P_{90} = \bar{x} + 1,28s$.

Door gebruik te maken van \bar{x} , s en een z-waarden tabel kan elk percentiel of zelfs promille, worden berekend. Enkele veel gebruikte z-waarden staan in figuur 4.3. Omdat het om excentriciteit gaat, wordt er steeds vanaf de symmetrie-as (\bar{x}) gerekend, hetzij positief, hetzij negatief. Een 80 % van een populatie, gelijkelijk aan weerszijden van \bar{x} , is derhalve $(\bar{x} + 40\%) + (\bar{x} - 40\%)$ en ligt dus tussen $(\bar{x} - 1,28s)$ en $(\bar{x} + 1,28s)$.

Een $\bar{x} \pm 3s$ omvat dus een populatie-percentage van $2 \cdot 49,86 = 99,72\%$. Tussen de p -waarden P_{44} en P_{87} ligt 43 % van de populatie; bij die voornoemde elfjarige voetjes van meisjes zijn dat respectievelijk de waarden $229 - 0,15 \cdot 12 = 227,2$ mm en $229 + 1,13 \cdot 12 = 242,6$ mm. Een 97 % van die populatie (vanaf P_3) heeft langere voeten dan $229 - 1,88 \cdot 12 = 206,4$ mm. De laatste drie z-waarden werden in de volledige tabel (zie bijlage z-tabel) opgezocht, waarbij erop geattendeerd wordt dat in die bijlage de grootheid z als T staat en dat de procentagewaarden niet het oppervlak aanduiden tot de symmetrie-as, maar het totale oppervlak links van de x -waarde.

Uiterste waarden

Het asymptotische karakter aan beide uiteinden van de frequentieverdeling suggereert oneindige waarden en dat is uiteraard niet juist. Uit werkelijke steekproefgegevens kunnen de uiterste waarden worden opgezocht. Bijvoorbeeld in een landelijke grote steekproef bleken die voor de voetlengte van 11-jarige meisjes

124 en 273 mm (Steenbekkers, 1993). Bij het ontwerpen voor groepen zijn die paar extreme individuen echter van minder belang. Het kan wel de nieuwsgierigheid bevredigen om waarden op te zoeken in het 'Guinness Book of Records'. Uit betrouwbare metingen blijkt dan dat de langste mens een man van 2,72 m was (R.P. Wadlow geheten, U.S.A., 1940, toen 22 jaar, 200 kg, schoenlengte 47 cm); de kortste volwassen mens (vrouw) was 59 cm (P. Musters, Nederland, 1895, toen 19 jaar, 4 kg). Of men leest in dat Record Book dat één op de 2,1 miljard personen een leeftijd van 115 jaar kan bereiken. Ook empirisch blijken dus de asymptoten bij zeer grote populaties ver door te schieten.

Inter-individuele s^2 en intra-individuele s^2

De verscheidenheid kan op twee manieren worden bepaald: inter-individueel en intra-individueel. Inter-individuele spreiding is de spreiding van waarden tussen verschillende individuen. Intra-individuele spreiding is de spreiding van waarden, die bij één individu over een bepaalde tijdsperiode zijn gemeten en die dus ontwikkeling (groei of achteruitgang) vastleggen; daarover is meestal weinig bekend en de intra s^2 is ook niet zo vaak ontwerprelevant. Die spreidingen worden volgens statistisch gebruik meestal variantie (niet variatie!) genoemd en uitgedrukt in s^2 , de gekwadrateerde standaardafwijking. Om nog even bij de voeten te blijven van eerdere voorbeelden: de inter-individuele $s^2 \text{ ♀ } 11j = 12^2 = 144$ mm en de inter-individuele $s^2 \text{ ♂ } 11j = 14^2 = 196$ mm. De intra-individuele s^2 van deze vele individuen over langere tijdsperioden is niet bekend. De biologische tekens ♀ en ♂, korthedshalve veel gebruikt, staan voor respectievelijk vrouwen en mannen. Aanvankelijk waren dit tekens uit de middeleeuwse alchemie en astrologie, ♀ = koper en de planeet Venus; ♂ = ijzer en de planeet Mars.

Variatie-coëfficiënt

De s^2 heeft echter altijd betrekking op een specifieke variabele X , en heeft dus een bepaalde dimensie. Dit maakt onderlinge vergelijking van de spreiding van verschillende kenmerken moeilijker. Daarom is er een dimensieloze maat bedacht, die de variatie-coëfficiënt V heet (figuur 4.4).

$$V = \frac{s}{x} \cdot 100$$

Figuur 4.4 De variatiecoëfficiënt.

De variatie-coëfficiënt is de standaardafwijking gedeeld door het gemiddelde, maal 100 %. Let op, hier spreken we dus juist van 'variatie' en niet van 'variantie'! Zo zijn bijvoorbeeld bij Nederlandse volwassenen (♂ = mannen + vrouwen) enkele V -waarden: van lichaamslengte 5,6; van lengte wijsvinger 8,1; van borstomvang 6,2; heeft de trekkracht van 4-jarigen in Nederland $V = 41,3$ en gold dus voor de, nog eens te noemen, elfjarige meisjes voetlengte $V = 5,2$. Dit betekent dat de variatie van de gemeten waarden, relatief ten opzichte van het gemiddelde, groter is voor

trekkracht van 4-jarigen dan voor voetlengte van 11-jarige meisjes. In de volgende paragraaf wordt geïllustreerd hoe we met die verscheidenheid van menselijke kenmerken, en vooral met de inter-individuele variantie, kunnen omgaan bij ergonomie en ontwerpen.

4.2 De zeven ergonomische ontwerptypen

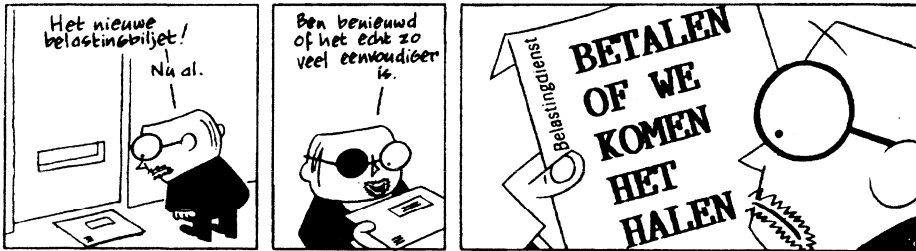
Geen 'tailoring' voor unica, maar ontwerpen voor spreiding

De productergonomie is vooral een sub-discipline van het industrieel ontwerpen ('Human Factors of Industrial Design Engineering'), ofschoon ook toeleverend aan andere ingenieursprofessies. Industrieel ontwerpen houdt zich bezig met de vervaardiging van industrieel, in serie of massa, geproduceerde gebruiksgoederen. Daarbij zijn die producten altijd bedoeld voor een bepaalde groep gebruikers. Die groep, of populatie of dat markt-segment, heeft een aantal kenmerken die voor het gebruik van een bepaald product van belang zijn, en die kenmerken hebben elk een bepaalde variantie. Het belang bestaat daaruit dat het gebruik, ofwel de interactie tussen mens en product, nuttig, doelmatig, comfortabel en veilig is. Die ergonomische kwaliteiten dienen dus te worden nagestreefd en gerealiseerd, ondanks de onderlinge verschillen binnen de gebruikersgroep. Het gaat bij dit ontwerpen niet, of zelden, om het ontwerpen van unica (enkelstuks producten), waarbij men het product precies kan aanpassen aan het kenmerken-profiel van die ene gebruiker. Een kleermaker past het pak aan bij de lengten, omvangen en gebruiksgewoonten van de specifieke klant. Dat ontwerp-type wordt dan ook wel 'tailoring' genoemd en het ontwerpresultaat 'tailor-made'. Voor het ontwerpen van het ruimte-pak van één astronaut is, naast ergonomische kennis in het algemeen, vooral kennis over die éne persoon van belang. Voor de industrieel ontwerper echter is de inter-individuele s^2 van de variabelen bij de interacties van groepen gebruikers met een bepaald product een wezenlijk probleem. Om te verduidelijken hoe die uitdaging kan worden opgenomen, volgen hierna zeven ergonomische ontwerptypen. De eerste twee — men zij reeds gewaarschuwd — vormen verwerpelijke ontwerptypen, ofschoon ze in de ontwerppraktijk nog wel eens worden aangetroffen.

1. Prokrustes-type

In de oudgriekse sagen komt een monster voor, Prokrustes geheten, die zijn logerende gasten op een bepaald bed placht te leggen. Daarna maakte hij hen 'tailor-made'. Dat deed hij door bij hen, die langer dan het bed waren, de voeten of onderbenen af te zagen en hen, die korter waren, tot de juiste lengte uit te rekken. Door de held Theseus werd die gastheer echter op gelijke wijze gedood. Dat verhaal heeft parallellen met die gevallen, waar een product wordt gelanceerd, waarbij door de ontwerper/maker in het geheel niet is nagedacht over de aanpassing van het product aan de gebruiker. Het gevolg is dat de gebruikers zich aan het product moeten aanpassen, zodat de meerderheid van de gebruikers ongemak

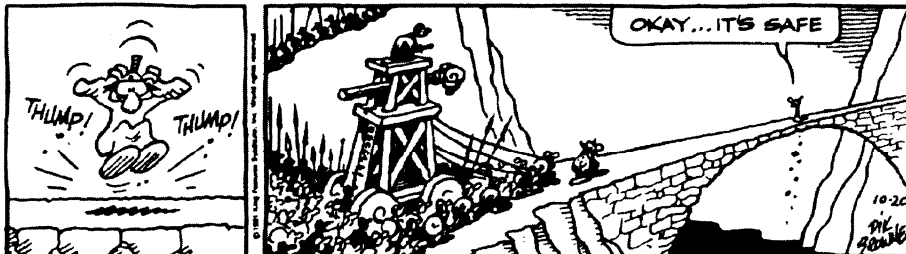
ondergaat of zelfs enkelen van hen een ongeval overkomt. Een commercieel succesvol product door aanschaf of her-aanschaf zal zo'n ontwerptype niet opleveren, tenzij een onnadenkende overheid zulk een ontwerp in massa installeert voor publiek gebruik. Voorbeelden: een nog onschuldig voorbeeld is de uitspraak van Henry Ford bij het lanceren van zijn T-Ford: "you can have any color, as long as it's black". Het is minder onschuldig als verstrekkings-organisaties slechts één, en dan ook nog een ongemakkelijke, prothese voor gehandicapten voorschrijven. De belastingdienst heeft vroeger wel eens belasting-formulieren verspreid met Prokrustes-kenmerken (figuur 4.5).



Figuur 4.5 Belastingformulieren niet meer volgens prokrustes-type?

2. Ego-type

We spreken van het ontwerpen op basis van een 'ego-type', indien een ontwerper zichzelf als enige maatstaf neemt bij het bepalen van maten die bij het gebruik van het product van belang zijn, bijvoorbeeld voor krachten, zichtbaarheid, begrijpelijkheid en lichaamsafmetingen. Dat deze werkwijze niet overeenstemt met de professionele verantwoordelijkheid van een erkend vak, moge duidelijk zijn. Uit nonchalance of haast, wordt nog te vaak door ontwerpers het model of de tekening her en der bepaald door het even aan te passen aan zichzelf. Het zich slechts afvragen: kan ik erbij, kan ik die veer indrukken, het etiket lezen?, geeft antwoorden die tot 'tailor-made design' voor die ontwerper leiden, en niet tot 'design for users'.



Figuur 4.6 Testen volgens het ego-type.

Ontwerpers redeneren ook wel eens dat, als zij het product makkelijk kunnen bedienen (er makkelijk bijkunnen, enzovoort), dat iedereen het dan wel moet kunnen met acceptabele inspanning. Zij denken op deze wijze zorgvuldig te

handelen en een goed product te maken, maar in feite is dit nog steeds ontwerpen volgens het ego-type. Wanneer men alleen zichzelf als referentie gebruikt, is het onmogelijk te weten hoe het product voldoet bij anderen.

Het loslaten van één toevallige gast op het ontwerpmodel is ook nog onder het ego-type te rekenen (figuur 4.6). Deze werkwijze is er misschien de verklaring voor, dat tot nu toe vele ontwerpen vooral geschikt zijn voor gebruik door de 'jongvolwassen man, recht van lijf en leden, met technisch inzicht en handigheid', kortom voor het evenbeeld van de modale ontwerper. Dit type gebruiker vormt echter slechts een kleine minderheid in de gebruikerspopulatie!

Voorbeelden: De zeer lange installateur die het keukenkastje komt ophangen, of die in een openbare gelegenheid het urinoir aan de wand op hoogte bevestigt. De ontwerper-krachtsporter, die even de veerkracht van een deurdranger in zijn ontwerp bepaalt voor eigen kracht.

3. \bar{x} -type

Dit is het eerste type van ontwerpen voor een gevarieerde gebruikersmarkt, dat ergonomisch en economisch verantwoord kan zijn. Het geval komt echter betrekkelijk weinig voor. Het ontwerpen volgens het \bar{x} -type is het besluiten tot een compromis, na kennis te hebben genomen van de variantie in het gebruiksrelevante kenmerk.

Er zijn ontwerpen waarbij er alleen één vaste oplossing is en waarbij men door keuze van de middelmaat (\bar{x}) het ongemak voor de totale gebruikerspopulatie minimaliseert.

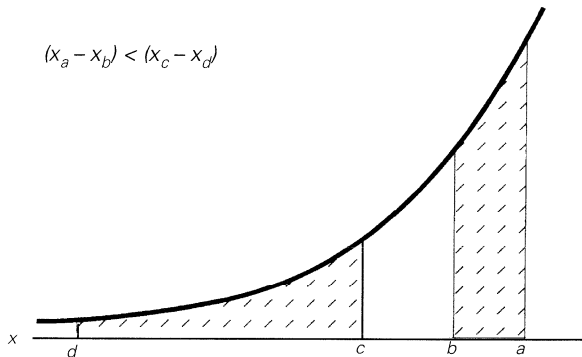
Een lichtsckelaar wordt op een gemiddelde hoogte gemonteerd, zodanig dat zowel de langere als de kortere mensen er redelijk met arm en hand bij kunnen. De optrede en aantrede van een trap worden zo genormeerd, dat het heffen en voorwaarts plaatsen van voet en de corresponderende kniebuigingen zowel door de langbenigen als de kortbenigen gemakkelijk kunnen worden opgebracht.

4. Lager-percentiel type

Bij veel ontwerpen kan de beoogde gebruikerspopulatie beter bediend worden door als maatstaf de kleinere, of zwakkere, de minder handige, de tragere enzovoort te nemen. Het criterium wordt bepaald door ergens aan de linkerkant van de normaalverdeling van het gebruikerskenmerk een grens te trekken. Indien bijvoorbeeld moet worden bepaald met hoeveel torsië (Nm) een deurhendel moet worden verdraaid, is het geraden af te gaan op de handkracht die kan worden opgebracht door de zwakkere volwassenen, bejaarden of kinderen. Welk lager percentiel men kiest, $P_{0,1}$, P_1 , P_3 , P_5 , P_{10} of hoger, hangt van diverse factoren af. Zo zou men bijvoorbeeld willen, dat het opendraaien van een deksel op een pot met erin een bijtend schoonmaakmiddel wel door zwakkere huislieden, maar niet door kinderen kan geschieden; de data \bar{x} en s van die populaties zullen daarop moeten worden geanalyseerd. Het kiezen van een zodanig lage waarde dat een groot deel van de populatie ongemak ondervindt, dient uiteraard ook te worden vermeden.

Verminderende meeropbrengst

We komen hier op een technische afweging, die ook van belang is voor de resterende ontwerptypen en die wel iets weg heeft van de ‘wet van de verminderende meeropbrengst’. Indien naar het extreme deel van de normaalverdeling wordt gekeken en daar twee stukken van gelijk oppervlak worden afgepast, zal direct blijken dat bij extremere, meer excentrische percentielen een grotere afstand op de X -as nodig is (figuur 4.7).



Figuur 4.7 Verminderende meeropbrengst (beide gespikkelde oppervlakken zijn gelijk).

Voor een steeds kleinere toevoeging van de gebruikerspopulatie is zo dus een veel sterker toenemende verandering van de maat nodig. Indien bijvoorbeeld het gewicht van een keukentrapje van aluminiumbuis met kunststof treden en topvlak, het hefvermogen te boven gaat van de P_{10} van volwassen Nederlandse vrouwen, kan men overwegen een lichtere oplossing te ontwerpen. Als vervolgens blijkt dat een gewicht voor de P_1 alleen met koolvezelversterkte kunststof kan worden gerealiseerd, wordt het product veel te duur voor de bedoelde kopersmarkt. Als blijkt dat een duwknop voor toiletspoeling de duwkracht van de P_{80} vergt van de populatie boven 60 jaar, is echt een ander ontwerp geboden! Indien de diameter van een duwstang van een boodschappenkar wordt afgestemd op de $P_{0,5}$ greepomvang van volwassen handen, is het resultaat wellicht een ongewone buismaat, die verder voor het gros van de populatie te iel en te weinig comfortabel is, en die hopelijk niet door de sterksten wordt gebroken. Een ontwerper kan in vele situaties dus niet te genereus zijn.

5. Hoger-percentiel type

De redenering bij het ontwerptype 4 voor lage percentielen kan in menig opzicht gespiegeld worden voor hoge percentielen. Indien slechts één ontwerpoplossing mogelijk is en een ruime populatie wordt vereist, dient in vele gevallen — en hier dus aan de bovenzijde — toch een grens te worden getrokken. Alle deurhoogten kunnen niet op de langste Nederlander (222 cm + 4 cm hak) worden ingesteld, zie figuur 4.8. Als men voor een doorgang voor lief neemt dat slechts één op de

duizend volwassenen moet bukken, kieze men voor een $P_{99,9}$ (bij $\bar{x} = 1723$, $s = 96$ en $z = 3,09$; dus $1723 + 3,09 \cdot 96 + 4 \text{ cm hak} = 2060 \text{ mm}$).

Hoe breed moet men een busstoel maken? Een genereuze oplossing van $P_{99,9}$ (heupbreedte zittend: $\bar{x} = 385$, $s = 30 \text{ mm}$) wordt 478 mm plus enige toeslag voor kleding en het is de vraag of met vier stoelen van die breedte er voldoende gangpad overblijft.

6. In- en verstelbaarheid type

Het ontwerpen voor een gespreid kenmerk in de populatie kan vaak worden gerealiseerd door desbetreffende dimensie in het ontwerp zelf variabel te maken. Het begrip 'instelbaar' verwijst naar de oplossing dat op betrekkelijk eenvoudige wijze verschillende standen kunnen worden ingesteld voorafgaand aan het gebruik (figuur 4.9). Bij een montagetafel, die wegens nauwkeurige visuele inspectie op 20 cm onder ooghoogte moet staan, wordt voor ieders vaste werkplek de werkbladhoogte eenmaal afgesteld. Dat gebeurt in dit geval bijvoorbeeld door een pen-gat verbinding in de centrale poot, waarvan in de onderste binnenbuis om de 2 cm

gaten zitten en wel 16 over een traject, dat de bladhoogte van 125 tot 155 cm variabel maakt ($\frac{155-125}{2} + 1$). Dat instellen kost enige tijd en gebeurt niet vaak.

'Verstelbaarheid' daarentegen betekent: te kunnen veranderen tijdens het gebruik, gemakkelijk en desgewenst vaak. Men kan een lamp voor een flexo-werkplek, bijvoorbeeld met een veerscharniersysteem of via contra-gewicht, over een bepaald hoogte-traject instellen. Een TV-toestel kan bijvoorbeeld op een slee direct aan de gewenste kijkafstand worden aangepast. Het helderheidscontrast of luidheid van een TV is dus verstelbaar, niet zozeer instelbaar te noemen.

Dat bij deze in- en verstelbaarheid meestal toch onder- en bovengrenzen zitten, merkt men duidelijker bij het voorbeeld van een werkstoel, waarvan het zitvlak middels een verticale gasveer in hoogte verstelbaar is (figuur 4.10).

In figuur 4.11 staat de zitvlakhoogte uit langs de y-as en staan de percentielen

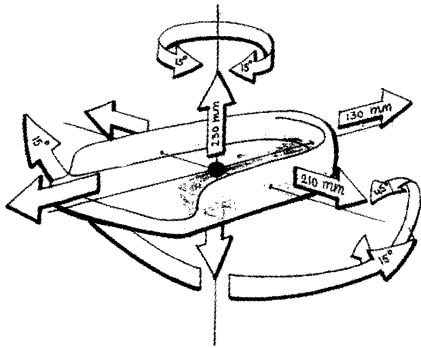


Figuur 4.8 Deurhoogte en hoge percentielwaarde.

van de bediende populatie-percentages horizontaal langs de x -as. Indien een gasveer met een slag van 50 mm voorradig is, kan men met het verstel traject van 405 tot 455 mm een 50% van de populatie bedienen. Dat traject is dan dus gekozen met \bar{x} als middelpunt, omdat daar de curve in de figuur de laagste helling heeft. Indien dat traject van 50 mm bijvoorbeeld zou lopen van 466 tot 516 mm, zou het een aanmerkelijk kleiner deel van de populatie goed steunen, zoals valt af te lezen. Voor een 98% oplossing, dat is $P_1 - P_{99}$, zou men een gasveer met een slag van 172 mm moeten hebben. Die is er misschien niet, en indien wel, dan zal die veel duurder zijn, een zwaardere constructie vergen en wellicht ook moeilijker op het gevoel op de juiste hoogte kunnen worden gebracht. Als we bijvoorbeeld een gasveer met slag 80 mm kunnen gebruiken, is de populatie-dekking daarvan als volgt te berekenen:

430 ± 40 mm; $40/s = 40/37 = 1,08 = z \rightarrow$ van P_{14} tot $P_{86} = 72\%$.

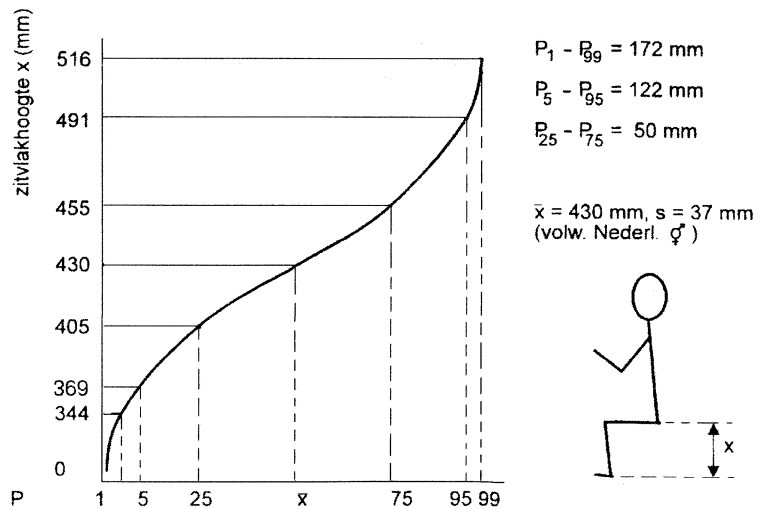
(Zie de uitgebreide z -tabel in de bijlage).



Figuur 4.9 Instelbaarheid in een sta-hulp voor gehandicapte kinderen.



Figuur 4.10 Verstelbare zithoogte.



Figuur 4.11 Cumulatieve frequentiegrafiek van het versteltraject en de bediende populatie-percentages.

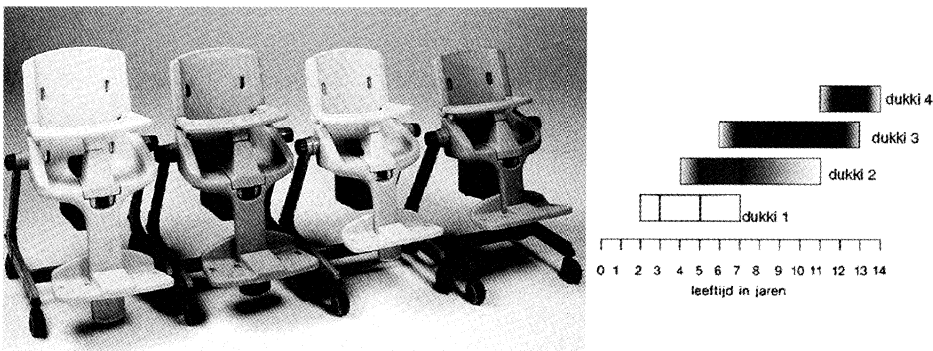
Beargumenteren van uitsluiting van gebruik

Het uitsluiten van extreme groepen uit de gebruikerspopulatie is in veel gevallen onontkoombaar. Het kiezen van te verre waarden kan vaak het gevolg hebben dat iedere gebruiker last heeft. Dat uitsluiten dient echter weloverwogen te geschieden. Zo treft men nogal eens aan bij ontwerpers, dat men klakkeloos de P_5 - en P_{95} -waarden uit de ergonomische tabellen haalt, zonder zich af te vragen, waarom een 90%-oplossing juist is en wat de argumenten zijn om 10% van de gebruikers uit te sluiten van gebruik of van comfortabel gebruik.

Die nonchalance wordt weleens het ‘ $P_5 - P_{95}$ syndroom’ genoemd. Een tien procent volwassenen in Nederland uitsluiten houdt al gauw een miljoen personen in! Een goede ontwerper beargumenteert dus expliciet waarom een bepaald percentage van de gebruikerspopulatie, hetzij aan de onderzijde, bovenzijde of aan beide kanten, moet worden uitgesloten.

7. Product-varianten type

De ontwerpuitdaging van een kenmerkspreiding kan soms ook worden opgelost door verschillende maatvarianten te maken van het product (zie figuur 4.12). Bij kleding en schoeisel gebeurt dat, en ook bij schoolbanken. Dat is niet alleen een zaak van productergonomische, maar ook van constructieve en economische afwegingen, terwijl de vormgeving ook van invloed kan zijn. Indien dus verstelbaarheid of instelbaarheid geboden zijn, maar onpraktisch zijn of niet te verwerklijken, kan men ‘ter populatie-dekking’ enkele varianten naast elkaar ontwerpen die verschillende afmetingen hebben. Terugkerend naar het voorbeeld van die verstelbare zitvlakhoogte, komen we zelfs tot het geval van maatvarianten met opeenvolgende versteltrajecten. Stel dat we inderdaad verder moeten met de gasveerslag van 80 mm en dat we de zoëven berekende gebruikerspopulatie van 72 % onvoldoende vinden, omdat er geen valide argumenten zijn om de grotere 14% plus de kleinere 14% uit te sluiten. Wat we zouden kunnen doen, is drie varianten maken met de gasveer steeds in een ander traject. Naast de oorspronkelijke van 390 tot 470 mm, kiezen we dan erboven een traject van 470 tot 550 en een variant eronder van 310 tot 390 mm. De uiterste standen hebben zo elk een afstand van



Figuur 4.12 Maatvarianten.

120 mm ten opzichte van de $\bar{x} = 430$. Via $120/s = 120/37$ resulteert een $z = 3,24$ en die laatste geeft een $P_{0,06}$ en $P_{99,94}$ en zo wordt dus met drie varianten van gasveermontage een 99,9 % van de populatie bestreken.

Is er een eenvoudiger, en toch te verantwoorden, oplossing te maken met slechts twee varianten? We leggen dan de twee trajecten als $430 - 80$ en $430 + 80$ mm; de uiterste waarden 350 en 510 mm geven $80/37 = 2,16 = z$ en daaruit komen $P_{1,5}$ en $P_{98,5}$. Die 97%-oplossing lijkt alleszins aanvaardbaar, omdat er maar weinigen zijn, die daarbij een kussentje op het zitvlak of een voetensteuntje nodig hebben. Met die extra's bij de twee productvarianten komen zij nog redelijk aan hun trekken. Het daarentegen kiezen voor 14% kussens en voor 14% voetensteunen, en dus voor slechts één product, zou geen gelukkige ontwerpbeslissing zijn geweest.

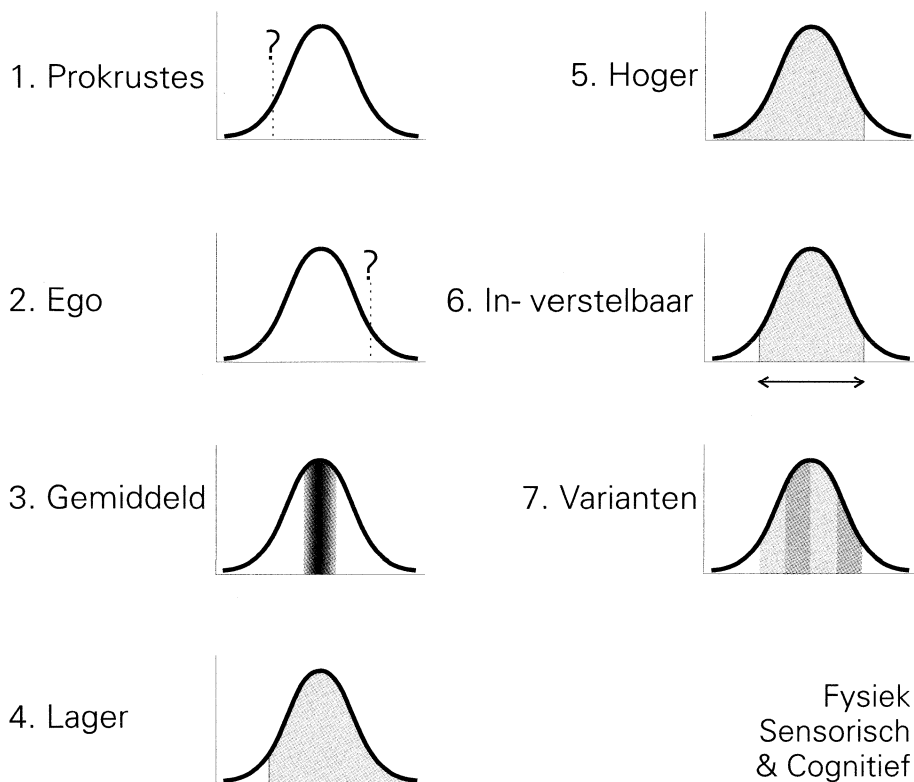
Combineren van populatie-dekkingen tot uiteindelijke geschiktheidspopulatie

Vijf van de voorgaande zeven ontwerptypen geven aan hoe ergonomische data geïntegreerd worden met andere ontwerpoverwegingen. Dat is een zaak van opzoeken van tabellen of zelf enig onderzoek doen, om vervolgens te berekenen. Die aanpakwijze geldt overigens op gelijke wijze voor de technische, economische en andere invalshoeken. Erna komt men toch altijd tot kwalitatieve afwegingen voor elke invalshoek en na een integratie van afwegingen tot één (misschien voorlopige) ontwerpbeslissing. Voor die ergonomische invalshoek dient nog een punt te worden toegevoegd. Individuele gebruikers zijn, zoals gezegd, allen verschillend. Een bepaalde positie op de ene kenmerkvariabele voorspelt daarom nog niet de positie op een andere kenmerkvariabele. Het gevolg is dat een berekende 'populatie-dekking' op het ene kenmerk niet geheel samenvalt met de gebruikersgroep, berekend op een ander kenmerk. Om daar rekening mee te kunnen houden, moet men gebruik maken van combinatie-statistiek over diverse variabelen, die in dit inleidende boek nog niet wordt behandeld. Omdat men bij een ontwerp gewoonlijk over verschillende kritische interactie-variabelen berekeningen maakt (bijvoorbeeld bij de werkstoel niet alleen de zitvlakhoogte, maar ook de zitvlakdiepte en relatie met werkbladhoogte), zal de uiteindelijke geschiktheidspopulatie minder zijn dan elk van de afzonderlijk berekende populatie-dekkingen aangaf. Als vuistregel kan men bij elke volgende variabele de uiteindelijke geschiktheidspopulatie met een 4% verminderen. Bij het voorbeeld van de werkstoel zou, bij een 98%-oplossing voor elke van de drie juist genoemde variabelen, dus $98 - 4 - 4 = 90\%$ overblijven van de populatie, aan welke het ontwerp in die drie opzichten tegelijkertijd is aangepast.

Ontwerptype en normaalverdeling

In de normaal-verdeling kan worden aangegeven welk gedeelte van de populatie een product goed kan gebruiken. Dit is in figuur 4.13 aangegeven voor alle zeven ontwerptypen afzonderlijk. Hieruit is op te maken dat het Prokrustes-, het ego- en het \bar{x} -type wat effect betreft bijna hetzelfde zijn. In alle gevallen moet de

gebruiker zich aanpassen aan één product zonder in- of verstelmogelijkheden. Bij het Prokrustes-type is de maat van het product min of meer willekeurig; bij het ego-type is de ontwerper zelf het ijkpunt geweest. Bij het \bar{x} -type kan de maat een goed compromis zijn, het resultaat van een weloverwogen redenering zodat er een optimaal product ontstaat.



Figuur 4.13 Normaalverdeling en ontwerptypen (zie omslag van dit boek).

4.3 De vraag naar bronnen en data

Tekorten in toeleverende disciplines

Dat er ergonomische ontwerpmethoden en denkwijzen zijn, wil echter nog niet zeggen dat de ergonomische data voor elk denkbaar ontwerp ook ter beschikking staan. Het is eigen aan een jonge discipline, zoals ergonomie en industrieel ontwerpen (zie 1.2 en 1.3), dat het 'corpus van kennis en methoden' nog verre van volledig en samenhangend is. Men moet zich realiseren dat de toeleverende disciplines vaak tekortschieten in het toeleveren van de geschikte data aan de productergonomie. Dat is niet verwonderlijk omdat elke discipline zich concentreert op een andere sector van verschijnselen. Er wordt hier met enkele lijnen en voorbeelden geschetst in welk opzicht de verwante disciplines tekortschieten.

Biologie en psychologie

De menskundige disciplines zoals humane anatomie en fysiologie zijn vooral gericht op de algemene structuren en processen, dus op een dieper inzicht in de invarianten en dus in de gemiddelde mens. Daartegenover staat de belangstelling van productergonomie, die juist gericht is op de varianties, vooral de inter-individuele s^2 . Eerdergenoemde wetenschappen zijn ook meer intern gericht in vergelijking met de productergonomie. Laatste wordt vooral gericht op de contactvlakken van mens en hulpmiddel: bijvoorbeeld ogen of huid tegenover buitenkanten van producten. De selectie tot elementen, aspecten en processen, die van belang zijn voor het omgaan met producten, worden daarom in die toeleveringsvakken onderbelicht. In de fysieke ergonomie worden bijvoorbeeld vragen gesteld over de effecten van drukverdeling op huid en onderliggende weefsels (ontwerpen bijvoorbeeld van handvatten en zadels), maar de weefselleer en de fysiologie van de huid hebben daar nog weinig over te melden. De antropometrie meet mensen en is weliswaar uit op inter-individuele s^2 (populatie-spreiding) en intra-individuele s^2 (groei, veroudering), maar verschaft nauwelijks data over de frequentie-verdelingen van allerlei maten betreffende lichaamssegmenten (onderbenen, voeten, hoofd enzovoort) en die maten nog liefst van diverse gebruikerspopulaties afzonderlijk (kinderen, bejaarden, motorisch gehandicapten; en dat per land). Soortgelijke voorbeelden zijn te geven voor de sensorische ergonomie (deel III) versus de algemene zintuigleer en voor de cognitieve ergonomie (deel IV) versus de psychologische functieleer.

Populatie-gegevens, literatuur en ontwerponderzoek

Het is daarom dat langzamerhand onderzoek op gang is gekomen om die lacunes te vullen. Productergonomie en industrieel ontwerpen hebben bijvoorbeeld behoefte aan data-banken op het gebied van zintuiglijke capaciteiten: \bar{x} en s^2 bij vele (sub)populaties. Evenzo is er behoefte aan populatiegegevens over externe lichaamsmaten, mogelijkheden tot krachttuioefening, leerprocessen bij productgebruik, de variantie in, technisch inzicht, algemeen en specifiek, en dergelijke. Er zijn verschillende aanzetten, ook internationaal (bijvoorbeeld voor normalisatie door de Europese CEN of de wereldwijde ISO) om op diverse van de genoemde gebieden meet- en ontwerprichtlijnen en data-banken te maken. Het ontwerpen behoeft daarop echter geenszins te wachten. Er zijn meestal wel enige algemene data of gegevens over een soortgelijk product en analoge mens-product interactie. Bovendien zijn er handboeken en tijdschriften. Tenslotte is er de mogelijkheid om — al dan niet kleinschalig — productergonomisch onderzoek te doen als onderdeel in een bepaald ontwerpproces. Op z'n minst lijkt er een mini-onderzoek geboden in elk ontwerp-project, om de professionele verantwoordelijkheid jegens de beoogde gebruikerspopulatie enigermate waar te maken. Zulk een minimum kan bestaan uit een ergonomische functie-analyse (hoofdstuk 3), enig literatuur-onderzoek (waarover straks) en meer toetsing van modellen aan representanten van gebruikers dan beschreven werd bij ontwerptype 2, het ego-type.

Handboeken en tijdschriften

De productergonomie kent maar weinig algemene leer- en handboeken en nauwelijks tijdschriften. Meer daarvan zijn er wel op het gebied van de algemene ergonomie en over specifiekere typen van werkplekken, producten, of technische systemen. Het ‘corpus van kennis en methoden’ begint toch al aardig vorm te krijgen en groeit snel. Hier kan worden volstaan met het noemen van enige bekende, algemene handboeken, die met hun overzichten en specifieke gegevens over productonderdelen (displays and controls) van grote waarde zijn (figuur 4.14). Voor de belangrijkste tijdschriften zie figuur 4.15. De inhoud van deze tijdschriften bestaat voornamelijk uit resultaten van ergonomisch onderzoek.

Hieronder volgen korte karakterisering van ieder tijdschrift.

‘*Ergonomics*’ is het officiële tijdschrift van de Britse Ergonomics Society en van de International Ergonomics Association. Het is een “international multidisciplinary reviewed journal, concerned with research into all aspects of people at work.” Er staan artikelen in over alle aspecten van de ergonomie. Het verschijnt 12 × per jaar.

‘*Applied Ergonomics*’ is een blad dat ook verbonden is aan de Ergonomics Society. Er staan artikelen in over de meer toegepaste kant van de ergonomie. Dit zijn vaak interessante artikelen voor ontwerpers. Verschijnt 6 × per jaar.

‘*Human Factors*’ is de Amerikaanse tegenhanger van *Ergonomics*, uitgegeven door de Human Factors and Ergonomics Society. Ook hier staan artikelen in over onderzoek naar alle aspecten van de ergonomie, maar dit blad is ‘quarterly’ en verschijnt dus slechts 4 × per jaar.

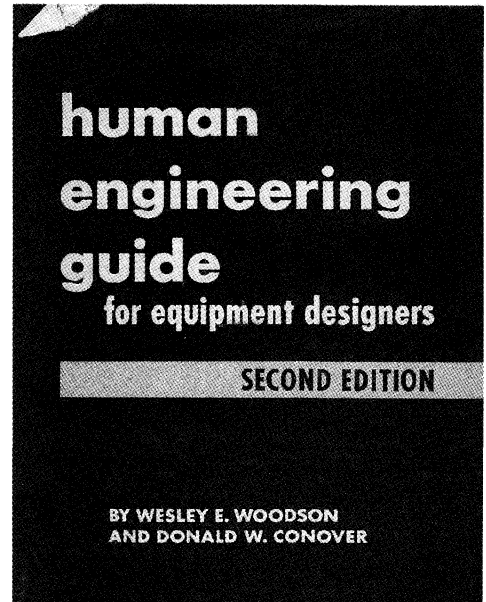
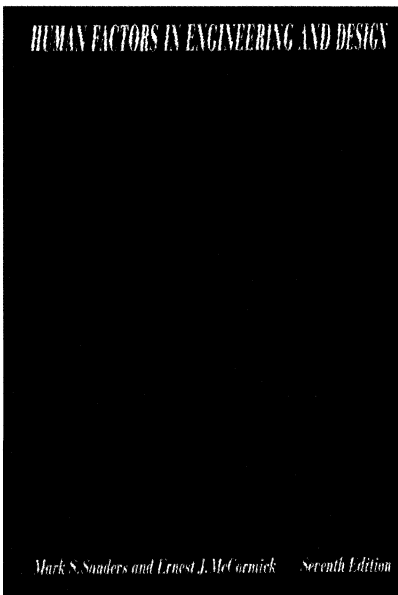
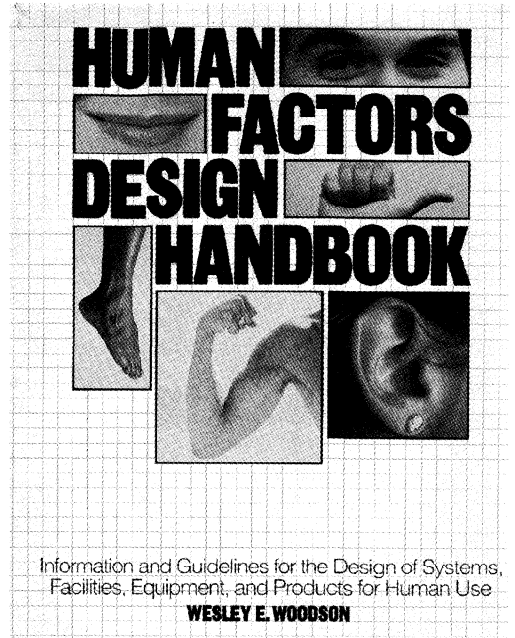
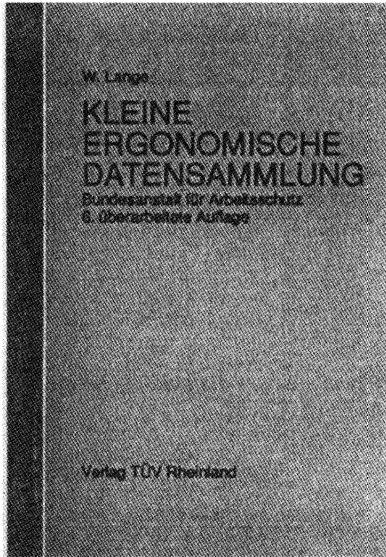
‘*Ergonomics in Design*’ is “the magazine of human factors applications”, eveneens uitgegeven door de Human Factors and Ergonomics Society. Het bevat minder onderzoeksresultaten en meer beschouwende artikelen en verhalen uit de praktijk. De inhoud is, net zoals bij ‘*Applied Ergonomics*’, gericht op ontwerpen. Verschijnt 4 × per jaar.

Het ‘*Tijdschrift voor Ergonomie*’ is het officiële tijdschrift van de Nederlandse Vereniging voor Ergonomie. Ook dit blad bestrijkt de hele ergonomie, hoewel er relatief veel artikelen over arbeids-ergonomie in verschijnen. Het verschijnt 6 × per jaar.

‘*Ergonomics Abstracts*’ bevat titels en abstracts (van enige regels) van recente artikelen uit alle ergonomiebladen en van tijdschriften over gerelateerde onderwerpen. De titels zijn een selectie van de literatuurcollectie van het Ergonomics Information Analysis Centre in Birmingham. Verschijnt 6 × per jaar.

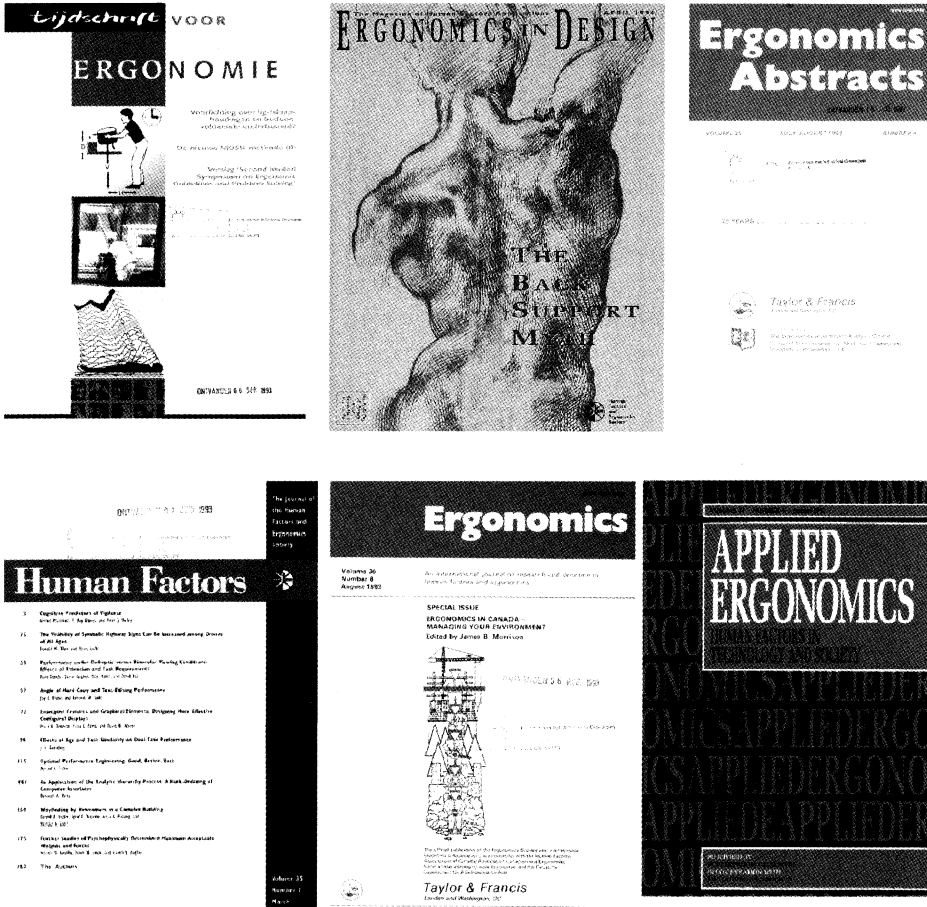
Checklists

In dit kader kan ook geattendeerd worden op het bestaan van vele ‘checklists’. Dat zijn controle-lijsten, soms zelfs in boekvorm, waarin ergonomische aandachtspunten systematisch zijn geordend. Deze kan men bij een ontwerp nalopen, om de goede volgorde van handelingen, of de volledigheid van de te analyseren aspecten, te bevorderen. Uit andere toepassingssectoren kan men ook voorbeelden putten: de



Figuur 4.14 Veel gebruikte ergonomieboeken.

checklist voor een vliegtuig-cockpit voor het nagaan van de stand van de vele controls en displays, alvorens te starten; de checklist voor de anaesthesist betreffende patiënt en apparatuur, voorafgaande aan een operatie of als er tijdens een operatie iets mis dreigt te gaan. Zo zijn er ook ergonomische controlelijsten voor de beeldscherm-werkplek, voor centrale regelkamers van fabrieken of



Figuur 4.15 Veel gebruikte ergonomische tijdschriften.

energie-centrales. In zekere zin is een ergonomische functie-analyse, zoals de eerder aangeduide invulling van het mens- product interactie model in de figuren 3.7 en 3.22, al een checklist voor een specifiek ontwerpproces. Dat geldt ook voor het programma van eisen, dat ergens in het ontwerpproces wordt opgesteld en waarin vele eisen en wensen over de beoogde mens-product interactie evenmin mogen ontbreken naast technische en andere specificaties.

4.4 Ontwerpen voor herkenbaarheid en gebruik

Productkwaliteiten en verantwoordelijkheid

In het vijfde en laatste deel van dit studieboek zal verder worden ingegaan op de algemene, ergonomische productkwaliteiten: nut, doelmatigheid, comfort en veiligheid. In dit hoofdstuk, over de ontwerpprocedure door de menselijke verscheidenheid, wordt nu alvast ingegaan op twee andere, algemene kwaliteiten: herkenbaarheid en gebruik. De algemene gedachtenlijn is steeds dat productergonomisch

inzicht bijdraagt tot het krijgen van ideeën over nieuwe of verbeterde technische hulpmiddelen. Verderop in het ontwerpproces is dat inzicht tevens van waarde bij de detaillering en toetsing van het ontwerp: hoe het productidee te vertalen en te concretiseren tot functie, werking, vorm, materiaal en industriële, seriële vervaardigingswijze. De materiële functieervuller wordt dan hopelijk een geslaagd elementje in de techno-cultuur. De hiervoor behandelde verscheidenheid van gebruikers, voor wie ontworpen wordt, is echter niet volledig in kaart gebracht door een goed 'profiel' op te stellen van de gebruikerscapaciteiten, die bij mens-product interactie waarschijnlijk kritisch zijn. Men is evenmin volledig door, volgens een adequaat ontwerptype (van 3 t/m 7), een verantwoorde populatiekeuze te hebben gedaan. De in de product-ergonomie gebruikelijke gebruikerskenmerken, c.q. interactie-variabelen (zie hierover later de delen II, III en IV) zijn fundamenteel, doch bepalen zelden de gehele interactie of de interactie bij elke van de vele gebruikers. Uiteraard dient de product-ontwerper-ergonoom zich niet met alle gedrag te bemoeien en heeft de gebruiker ook eigen verantwoordelijkheid, maar er blijven algemene productkwaliteiten over, waarbij toch van gedeelde verantwoordelijkheid kan worden gesproken.

Herkenbaarheid van productgebruik

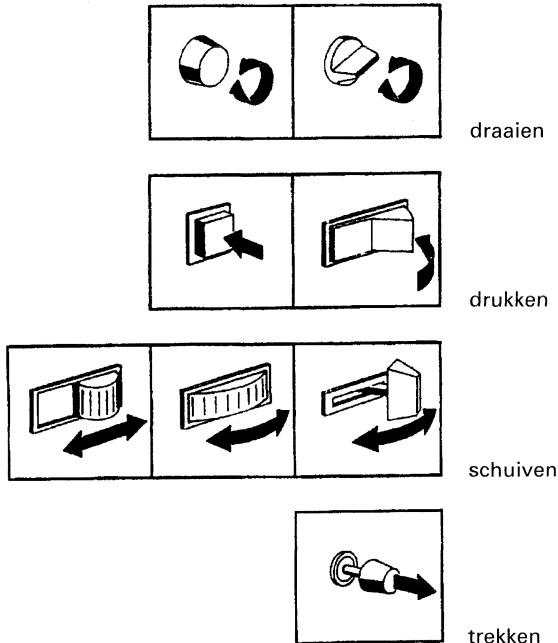
De herkenbaarheid van het product is zulk een kwaliteit. Naarmate de intensiteit en frequentie van het gebruik van een hulpmiddel toenemen en de afhankelijkheid ervan in het dagelijkse leven stijgt, is het belangrijker dat het product ook eenvoudig door de gebruikers kan worden geclassificeerd of geïdentificeerd. Het gaat dan om vragen, zoals naar het primaire doel; in welke toepassings situatie; eventueel met welke kracht, grondstof of andere hulpmiddelen; hoe te vervoeren, bedienen en op te bergen; met welke voorkennis, vaardigheid en moeite. Deze vraagstellingen omtrent productherkenning zijn weliswaar centraal in de subdiscipline Vormgeving, maar hebben ook overlap met en implicaties voor de productergonomie.

Het beeld van 'Drie woordenboeken'

Een deelnemer aan de techno-cultuur dient te beschikken in zijn enorme geheugenopslag over een uitgebreide productkennis. Als men, in gedachten, een persoon uit het diepe oerwoud van Nieuw-Guinea of Brazilië, plots in een van onze keukens, stations, winkelgalerijen, postkantoren of verkeersknooppunten zou zetten, kan men verwachten dat hij of zij onbekend is met de situatie, daardoor uitermate onthand is en allerlei risico's loopt. Een deelhebber aan onze technocultuur daarentegen beschikt over een 'woordenboek' van kenmerken van de product-onderdelen, producten en productsystemen hier. Die lijsten van kenmerken zijn onbewust geclassificeerd volgens algemene en specifieke kenmerken, en zijn er om producten hier te herkennen. Er zal tevens een 'woordenboek' zijn met een vertaling van die vorige lijst naar de waarschijnlijke doelen en nuttigheden van die kenmerken. Tenslotte zal er ook een woordenboek zijn met enige, al dan niet vage,

vertalingen tot gebruikshandelingen, zijnde een repertoire van typen waarnemingen en bedieningsmotoriek (figuur 4.16). Omwille van het duidelijke beeld stellen we het geheugen voor producten dus voor als in drie boekbanden: 'Herkennen wat, Herkennen waarvoor, Herkennen hoe'.

Die hier geteet 'woordenboeken' — neurologisch is niet goed bekend waar en hoe dat in het brein zit — zijn natuurlijk onvolledig en bij elk individu weer enigszins anders. Een techno-cultuur wordt echter wel bepaald door het gemeenschappelijke in de 'woordenboek-sets' van de deelhebbers.



Figuur 4.16. Uit de woordenboeken: "Herkennen van wat en hoe".

Aanknopingspunten bij nieuwe producten

Als men bijvoorbeeld onervarenen voor een nieuw toestel zet, kan men observeren dat er veelal toch onderdelen worden herkend wat betreft functie en bedieningswijze. Er zijn vage verwachtingen over de plaats van een aan-uit knop, dat een bepaalde draaiknop of schuif intensiteit regelt, enzovoort. De opbouw en kleurstelling kunnen ook de doelstelling van apparaat of component suggereren. Er zijn dus gewoonlijk verschillende aanknopingspunten, om op basis daarvan er een repertoire van gebruikshandelingen, geselecteerd en proberenderwijs, op los te laten. Dit kan dan het begin zijn van een geslaagd proces van herkennen en gebruiken.

Ontwerpen vanuit de 'woordenboeken'?

Het is duidelijk dat onze gast uit de oerwouden over een ander stel woordenboeken

beschikt; ze zullen minder met technische hulpmiddelen en meer met natuur zijn gevuld. Daarmee is zij/hij goed geëquipeerd voor de leefwijzen daar. Men zou dus kunnen zeggen dat ontwerpers kennis dienen te hebben van de voornoemde ‘woordenboeken’, die nu in bepaalde leefsectoren en toepassingsituaties door de beoogde gebruikersgroepen worden gehanteerd. Met behulp van deze kennis kan zodanig ontworpen worden, dat het nieuwe product door gebruikers zonder problemen, en zonder extra handleiding of instructie, kan worden begrepen. In afwachting op nader onderzoek naar deze woordenboeken — wederom een onderwerp van een ‘product-antropologie’ zoals genoemd in 2.2 — is het een zaak van observeren, mini-onderzoek en aanvullen. Voor de productergonomische invalshoek betekent dat ook, zo mogelijk rekening te houden met de geldende regels en kansen betreffende herkenbaarheid van producten, onderdelen en systemen. Die aspecten van productherkenbaarheid spelen mede een rol in het, al ontwerpende, selecteren en richten van kenmerken die voor een interactie tussen mens en product van belang zijn.

De (on)voorspelbaarheid van gebruikswijzen

Het ontwerp van een gebruikswijze is eveneens een onderwerp dat door de verscheidenheid van gebruikers wordt beïnvloed. Gesteund door analogie met soortgelijke, bestaande hulpmiddelen en door ergonomisch inzicht over hoe het het beste zou kunnen, maakt de ontwerper zich een beeld over de interactie. Zonder zo’n beeld/visie valt er niet te ontwerpen. Het is echter een interessante vraag of alle gebruikers altijd aan dat beeld zullen beantwoorden. Productonderdelen en producten verschillen in de vrijheid die aan gebruikers wordt gelaten. Een drukknop kent gewoonlijk maar twee standen en vergt slechts een translatie van één of enkele millimeters. Of dat met de wijsvingertop of duim zal worden verricht, is niet zo ontwerpinteressant. Als er meer vrijheidsgraden zijn, worden die al gauw benut door enkele individuen uit een populatie: zij gebruiken dan bijvoorbeeld andere volgorden, tijds-momenten, bewegingsrichtingen en wijzen van krachtoefening. Bij een fijne resolutie is vanzelfsprekend in kleine details elke bedieningswijze van één bepaald product net weer anders; er is zowel variatie tussen personen (inter-individuele spreiding) als variatie binnen een persoon (intra-individuele spreiding). Producten die vrij in de hand kunnen worden genomen, zoals handwerktuigen, geven veel vrijheidsgraden en zijn qua gebruik niet in hoge mate voorspelbaar. Betere voorspelbaarheid geven vaststaande, grotere apparaten met bedieningsonderdelen die elk weinig standen kennen. Omdat ‘de blijde en vrije gebruiker’ een ideaal is, behoeft geringe voorspelbaarheid van waarnemen, besluiten en handelen in de diverse bedieningsfasen, geen probleem te zijn, zolang maar tegemoet wordt gekomen aan de gebruikskwaliteiten van nut, doelmatigheid, comfort en veiligheid. Als vele gebruikers echter het product voor een ander doel gebruiken, of op onpraktische wijze, of met teveel inspanning, of op een riskante manier die verwonding meer kans geeft (zie over dit laatste ook hoofdstuk 21), is de vraag toch gerechtvaardigd of een ander ontwerp dit had kunnen voorkómen.

Het gebruiksonderzoek aan producten en productmodellen, waarop we nog zullen terugkomen in 18.5, staat echter nog in de kinderschoenen. Er is nog te weinig van het ‘derde woordenboek’ bekend, om altijd missers te voorkomen voor delen van de gebruikerspopulatie of voor bepaalde gebruikssituaties. Het werken met de eerdergenoemde ergonomische functie-analyses, ontwerptypen en mini-onderzoeken, vormt evenwel nog de beste garantie voor een goed resultaat in de meerderheid der gevallen.

4.5 Waar productergonomie minder ontwerprelevant is

Zonder productergonomie geen productontwikkeling?

“Zonder ergonomie geen productontwikkeling”, zo zou het voorafgaande verhaal geïnterpreteerd kunnen worden. Bij de afsluiting van dit inleidende deel gebiedt de eerlijkheid echter om tot nuancering van deze stelling te komen. Ergonomie is een jong vak en daarentegen is productontwikkeling zo oud als de mens. De primitieve homo faber zal er ongetwijfeld soms wel rekening mee gehouden hebben of de bijl goed in de hand lag. Voorafgaande aan de industriële serie-productie zal de ambachtsman ook wel eens de wensen en capaciteiten van de besteller van een product hebben laten meewegen. De verlengstuk-theorie heeft dus altijd wel tot op zekere hoogte gegolden. Op die manier kan men van ‘ergonomen avant la lettre’ spreken. Hier echter gaat het om de vraag of de discipline ergonomie bij elk technisch ontwerp onmisbaar zou zijn, of op z’n minst een belangrijke bijdrage had kunnen leveren. Die vraag moet categorisch ontkennend worden beantwoord.

Interactie-loze producten en onderdelen voor eind-gebruikers

Er zijn vele technische voortbrengselen, waar de mens-product interactie niet tot nauwelijks een rol speelt. Weliswaar is elk technisch voortbrengsel er uiteindelijk voor mensen, maar met vele onderdelen en machines is er geen ander contact dan tijdens de technische vervaardiging, transport, installatie, onderhoud en afdanking. Aan die fasen van de levenscyclus zitten ergonomische aspecten die wel aandacht vragen wegens de contacten met bijvoorbeeld fabriekswerkers en vervoerders. Als het echter gaat om de eindgebruiker, die geen contact heeft met deze onderdelen of producten, is er geen interactie tussen mens en product, en bijgevolg wordt productergonomie in die gebruiksfase overbodig.

Impliciete ergonomie

Er zijn vele hulpmiddelen, die in een historische opeenvolging van varianten steeds verbeterd zijn, onder meer wegens de selectie door de marktaanvaarding. Pertinent onhandige, gevaarlijke, moeizame en onnutte spullen plegen niet lang te overleven. Wat wel overleeft, beschikt vaak over een ‘impliciete’ ergonomische kwaliteit, die in de loop van die product-evolutie is aangebracht. Die wetmatigheid is echter niet absoluut. De bijlsteel (figuur 4.17), toch immers een der oudste menselijke hulpmiddelen, werd pas eind vorige eeuw door biomechanische analyse optimaler

ontworpen: ovale greep om beter te richten, conische verbreding van het einde tegen het uit de hand schieten, greep onder lichte hoek voor betere polshouding, steellengte verbeterd met als doel stootdemping. Nonchalance, of preoccupatie met andere zorgen, kunnen dus soms zeer lang de ergonomische optimalisatie tegenhouden. Impliciete ergonomie verdient het dus af en toe ook kritisch te worden gezien.



Figuur 4.17 De ergonomisch doordachte bijsteel.

Re-design, voor wie?

Er zijn vele ontwerpen, die bijna een kloon zijn van een vroeger ontwerp. Als het geïmiteerde product een positieve ergonomische evaluatie heeft gekregen, is verdere productergonomische inbreng bij het re-design niet nodig. Hierbij dient echter wel een voorbehoud te worden gemaakt. Indien het herontworpen product in een andere situatie wordt gedistribueerd, dan kan de interactie tussen mens en product dusdanig veranderen dat ergonomische inbreng opnieuw gewenst is. Dat geldt in drie gevallen, zoals ook al in 1.4 ‘Vier-pilaren model’ werd betoogd: als het product bij een andere gebruikerspopulatie of in een andere gebruikssituatie terecht komt, of indien hetzelfde product voor een andere functie gebruikt gaat worden. Indien een DVD-speler naar de seniorenmarkt wordt overgeheveld, zouden — ook voor gezonde oudere gebruikers — wel eens ergonomische aanpassingen geboden zijn. Zoiets is ook denkbaar als een gebruikelijk type wasautomaat van de thuissituatie wordt overgehaald naar de wasserette, waar personen zouden kunnen worden gevonden met meer haast en met minder zorgvuldigheid dan jegens eigen bezit.

Technische innovatie zonder innovatie van interactie

Er zijn vele gebruiksgoederen die aanmerkelijk technisch worden verbeterd of veranderd, zonder dat de bedieningswijze en het uiterlijk aanmerkelijk veranderen. Een andere materiaalkeuze of ander principe van werking van interne componenten kunnen een belangrijke technische innovatie voor het product betekenen, maar er vindt dan geen innovatie in de mens-product interactie plaats. Men zij echter alert op die intelligente producten, waarvan uiterlijk en innerlijk hetzelfde blijven, maar waarbij wél een programmeer-chip wordt vervangen, zodat het apparaat zich aanmerkelijk anders gaat gedragen. Daardoor zal de interactie dus wel degelijk veranderen.

Productergonomie bij innovatie van interactie

Samenvattend kan worden gesteld dat een productergonomische inbreng noodzakelijker is bij productontwikkeling, naarmate de interactie meer wordt geïnnoveerd. Die noodzaak wordt uiteraard groter, naarmate het gebruiksgoed belangrijker is voor het menselijk functioneren en naarmate het vaker, intensiever of langduriger wordt gebruikt, of de gebruikerspopulatie groter is of afhankelijker van dat product is. Nieuwe gebruiksfuncties, nieuwe gebruikers en nieuwe gebruikssituaties vergen relatief méér inbreng van productergonomische kennis en méér afwegingen tijdens de productontwikkeling.

Begrippen

Normaalverdeling:

- i1 de gemiddelde mens
- i1 proces van individualisatie
- k3 genetic wiring
- i3 nut van verscheidenheid
- i2 variatie in fysieke, zintuiglijke en brein-aspecten
- k2 remmende en bevorderende invloeden op spreiding
- k1 Gauss-curve, één-toppig, symmetrisch, asymptotisch
- k1 rekenkundig gemiddelde: \bar{x}
- k1 standaardafwijking s en variantie s^2
- k1 excentriciteitsmaat z (of T) en percentielen; ♀ en ♂ en ♀
- k1 nut van uiterste waarden
- k1 inter-individuele en intra-individuele variantie
- k1 variatie coëfficiënt V

Zeven ontwerptypen:

- k1 'tailoring' voor unica
- k1 Prokrustes-, Ego-, \bar{x} -, lager percentiel-, hoger percentiel-, in- en verstelbaarheid-, productvarianten type
- k1 instelbaar versus verstelbaar
- i1 verminderende meeropbrengst bij asymptoten
- t1 het kiezen van versteltrajecten
- i1 argumenten voor uitsluiting van gebruik
- k1 populatiedekking en geschiktheidspercentage

Bronnen en data:

- k2 tekorten in toeleverende disciplines
- k2 populatie-gegevens, literatuur en ontwerp-onderzoek
- k2 (checklists) controle-lijsten

Herkenbaarheid en gebruik:

- i1 profiel van gebruikers-capaciteiten

- i2 verantwoorde populatiekeuze
- k2 drie 'woordenboeken' over producten: identiteit, doelen en gebruiksreper-toires (wat, waarvoor en hoe)
- k3 technocultuur en de drie 'woordenboeken'
- i1 de (on)voorspelbaarheid van gebruikswijzen

Ontwerprelevantie:

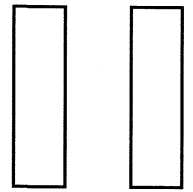
- i2 interactie-loze producten en productonderdelen
- i2 impliciete ergonomie
- i3 imitatie- en her-ontwerp (re-design)
- i2 technische innovatie zonder innovatie van interactie

Vragen en suggesties

- 4.1. Hoe komt het dat inter-individuele variantie in ons naïeve oordeel zo vaak wordt onderschat?
- 4.2. Ga met uw buurman of partner na in hoeverre uw afmetingen verschillend dan wel gelijk zijn.
- 4.3. Noem minstens 20 verschillen tussen u en uw partner/buurman.
- 4.4. Schets een Gauss-curve.
- 4.5. Bereken de gemiddelde lengte van 20 rechterschoenen. Wat is de standaard-afwijking en wat de variantie?
- 4.6. Bedenk ontwerpvoorbeelden waarin met intra-individuele variantie reke-ning moet worden gehouden.
- 4.7. Let op de aanduidingen: variantie, variatie (-coëfficiënt) en spreiding.
- 4.8. Bereken de P_1 en P_{99} -waarden van het lichaamsgewicht bij volwassen Nederlanders. Heeft in die verdeling het record van laag lichaamsgewicht (uit 1895) een kleinere kans dan één op tien miljoen?
- 4.9. Bedenk ontwerpvoorbeelden van het Prokrustes-type.
- 4.10. Hoever zou u gaan om zovelen als mogelijk van de populatie tevreden te stellen voor het gebruik van een product?
- 4.11. Een feit is dat men gedurende de dag korter wordt. Is dit inter- of intra-individuele variantie?
- 4.12. Wat betekent een variatiecoëfficiënt kleiner dan 1; wat komt het meeste voor bij lichaamsafmetingen?
- 4.13. Schat in of de 'modale ontwerper' vaker door een $P > 75$ dan door een P_{50} wordt gekenmerkt.
- 4.14. Klopt het aantal van 16 gaten in het voorbeeld van de instelbare werkblad-hoogte (par. 4.2, pag. 91) eigenlijk wel?
- 4.15. Bereken en beoordeel hoeveel productvarianten met zithoogte-verstel-baarheid (figuur 4.11) verantwoord zouden zijn met een gasveerslag van 60 mm.
- 4.16. Tien antropometrische maten blijken van belang voor het ontwerp van een bepaalde cockpit-inrichting. Voor elke maat wordt de 99%-oplossing

- gekozen. Hoe groot schat u dat het uiteindelijke geschiktheidspercentage van de populatie is?
- 4.17. Welke overeenkomsten en verschillen zijn er tussen ergonomische controlelijsten en de begrippenlijsten aan het eind van ieder hoofdstuk in dit studieboek?
 - 4.18. Wat zijn zwakke kanten van het beeld van de drie product-woordenboeken?
 - 4.19. Geef voorbeelden van producten met goed voorspelbaar gebruik en van producten met nauwelijks voorspelbaar gebruik. Welke factoren verklaren die verschillen?
 - 4.20. Bedenk producttypen die waarschijnlijk veel impliciete ergonomische gebruikskwaliteit bezitten. Of zijn die er nauwelijks?
 - 4.21. In welk soort product is tailoring nog steeds gebruikelijk?
 - 4.22. Noem de verschillende ontwerptypen.
 - 4.23. Wat is gewoonlijk aan een kantoorstoel instelbaar en wat verstelbaar?
 - 4.24. In welk product spelen de kosten die de verminderde meeropbrengst met zich meebrengt geen rol?
 - 4.25. Wat is een geschiktheidspopulatie?
 - 4.26. Geef een voorbeeld van een technische product-innovatie zonder innovatie van interactie.
 - 4.27. In een openbaar toilet moeten spiegels komen. Bereken (met figuur 6.8) de hoogte waarop de spiegel moet hangen, en hoe groot de spiegel moet zijn, zodat de P_2 tot en met de P_{98} van volwassen mannen hun eigen gezicht in de spiegel kunnen zien.
 - 4.28. Wat denkt u dat er bedoeld wordt met de term ‘ P_5 - P_{95} syndroom’?
 - 4.29. Heeft het zin om metingen te verrichten naar de intra s^2 van maten van 11-jarige jongens?
 - 4.30. Als er alleen ontworpen wordt volgens geldende en bekende regels van herkenbaar productgebruik, wat betekent dat voor de techno-cultuur?

Deel



Fysieke ergonomie

5

Inleiding tot de fysieke ergonomie

Samenvatting

Om producten zó te kunnen ontwerpen dat een optimale fysieke koppeling tussen mens en product zal plaatsvinden, moet de ontwerper kennis vergaren over de fysieke kant van de mens. Dat is kennis over lichaamsafmetingen, bewegingsmogelijkheden en krachtoefening. Deze kennis komt grotendeels uit de biologie en haar specialismen, zoals de antropometrie, de arbeidsfysiologie, de bewegingswetenschap en de biomechanica.

Om de categorie fysiek ondersteunende producten inzichtelijk te maken, worden ze onderverdeeld in zes groepen: kleine verblijfsruimten (cabins), lichaamsondersteuningsmiddelen (supports), persoonlijke uitrustingen (outfits), handvatten met lasten (grips and loads), handwerktuigen (tools) en bedieningsonderdelen (controls).

De fysieke aspecten worden onderverdeeld in zes groepen: statische antropometrie, dynamische antropometrie, passieve krachtopvang, actieve krachtoefening, fysieke inspanning en motorisch leren.

Sommige producttypen hebben meer te maken met bepaalde fysieke aspecten dan andere. In een matrix wordt getoond waar de duidelijkste verbanden liggen. Aan ieder fysiek aspect en aan enkele bijbehorende producttypen wordt in dit deel een hoofdstuk besteed.

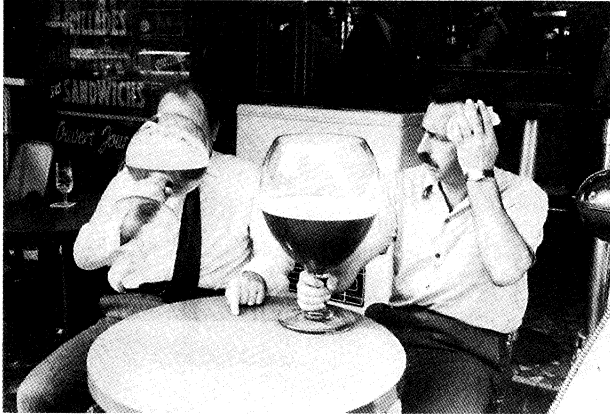
5.1 Relatie met het eerste deel

Fysieke ergonomie

Fysieke ergonomie bestudeert de fysieke factoren en aspecten van de mens-product interactie. Fysiek wil zeggen lichamelijk, en in dit verband: al datgene wat er, vooral aan de buitenkant van het lichaam te meten valt: vormen, afmetingen, bewegingen en krachten. Als bij het productontwerpen deze interactie-soort vergeten wordt, kan dat ernstige gevolgen hebben die variëren van irritatie over niet passen (figuur 5.1) tot ernstige verwonding. Hoe verhoudt zich dat fysieke tot andere aspecten en factoren van mens-product interactie?

Het indelen van biologische functies en productgroepen

Om greep te krijgen op de verscheidenheid van het menselijk functioneren met gebruiksgoederen, kan de mens als biologisch systeem opgedeeld worden in een sensorisch, een cognitief en een fysiek deel. Dit werd reeds behandeld in 2.3 'Indeling in ergonomische specialisaties'. Dit onderscheid is mede gebaseerd op de doorstroom van informatie: waarnemen, denken, handelen. Deze drie groepen van



Figuur 5.1 Het product past fysiek niet bij de mens.

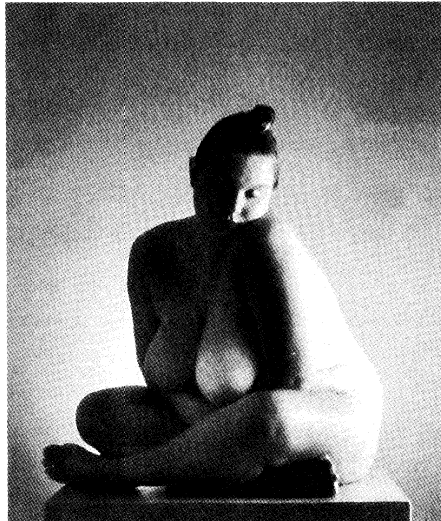
functies zijn allermint onderling onafhankelijk en ze zijn, althans in de subjectieve beleving, niet volkomen gelijkwaardig. Het fysieke deel is overigens ruimtelijk veelomvattender dan beide andere. Het omvat niet alleen de handelende delen, zoals de handen, maar ook de overal beschermende huid, het skelet en de spieren. Fysieke ergonomie betreft het fysieke (\neq fysisch = natuurkundig), dat vaak gesteld wordt tegenover het psychische. De zintuigen en het zenuwstelsel kennen uiteraard ook vele fysieke kenmerken, van anatomische en fysiologische aard, maar hun doel en functie betreft meer de informatie-verwerking en dus ook meer de 'informatie-interactie' met gebruiksvoorwerpen. Het omgaan met producten vergt gewoonlijk menselijke inzet van functies uit elk van de drie groepen, zij het met wisselende nadruk en belang.

Vandaar dat er ook een overeenkomstige indeling van gebruiksvoorwerpen kon worden gemaakt, teneinde vat te krijgen op de grote variëteit aan producten. Indien een gebruiksartikel voornamelijk hulp biedt aan één van de drie functie-groepen, kunnen we dat artikel met enig recht indelen bij de groep van fysiek (of cognitief, of sensorisch) ondersteunende producten. Ieder technisch hulpmiddel heeft onvermijdelijk zowel fysieke als informatiele elementen en functies. Sommige producten behoren ongeveer in gelijke mate tot de drie functie-groepen, bijvoorbeeld gemotoriseerde voertuigen. Dit kan men 'algemeen ondersteunende producten' noemen. Andere producten hebben eerder de functie om de omgeving voor de mens te verbeteren. Zonvervangers zoals een lamp of een kachel kunnen daarom even goed of zelfs beter een 'omgevings ondersteunend product' worden genoemd dan een respectievelijk sensorische of fysieke ondersteuning. In dit boek beperken we ons tot de eenvoudiger driedeling. Zodoende scheidt de ergonomische indeling van producten enige nuttige orde voor ontwerpen en in het onderscheid in functionaliteit.

De fysieke aspecten

De fysiek ondersteunende gebruiksgoederen betreffen vooral de materiële functie-

vervullers, die helpen en aansluiten bij het menselijk lichaam als ruimte-innemend object (zie figuur 5.2). Het gaat daarbij om het lijf als een systeem. Het lichaam is ruimtelijk bepaald door de externe lichaamsvormen van romp, ledematen en hoofd. Het vangt externe krachten op en leidt ze intern door, en genereert zelf ook krachten die extern en intern worden gebruikt. Anatomisch en fysiologisch gezien gaat het om de huid, spieren en botten, en minder om de zintuigen, het brein en overig zenuwstelsel.



Figuur 5.2 Het menselijk lichaam als ruimte-innemend object.

Aan die fysieke elementen en variabelen zijn vele constante, structurele aspecten te onderscheiden, zoals lengten, omvangen, oppervlakken en massamiddelpunten. Naast deze onveranderlijke factoren die vorm en opbouw bepalen, zijn dynamische aspecten van minstens even groot belang. Dat zijn bijvoorbeeld de verandering van de stand van de ledematen, van de druk op de huid, de spanning of lengte van de spieren, de wisseling van de positie van het massamiddelpunt van het totale lichaam bij veranderende houding, etcetera. Bij die dynamica speelt, omwille van terugkoppeling, beheersing en sturing, ook de informatieverwerking omtrent de eigen fysieke processen een belangrijke rol: het waarnemen van de lichaamsstand, van de eigen kracht, van het eigen bewegingstraject en degelijke. Er zijn dus vele verschillende fysieke factoren en processen die op een directe of minder directe wijze in ogenschouw worden genomen bij het ontwerpen van fysiek ondersteunende producten. Bijvoorbeeld, waar is er contact tussen huid en product? En welke krachten kunnen er worden uitgeoefend? Maar ook: hoe kan het bereik van de vingers functioneel verlengd worden; bijvoorbeeld met een aanwijsstok? Of hoe kan de gebruiker een precieser of krachtiger greep krijgen; bijvoorbeeld respectievelijk met een pincet of waterpomptang?

De fysieke variantie

In hoofdstuk 4 'De ontwerpuitdaging door de menselijke verscheidenheid' is de variantie van gebruikers-kenmerken aan de orde gekomen. De gebruikers-kenmerken die van belang zijn bij het ontwerpen en gebruiken van duurzame artefacten, zijn niet alleen groot in aantal en onderling verschillend van aard, maar de waarden van ieder kenmerk laten ook een grote spreiding zien. Die grote variantie maakte een vijftal (van de 7) ontwerptypen noodzakelijk, zoals beschreven in 4.2 'De zeven ontwerptypen'. In het algemeen geldt dat de variantie van menselijke kenmerken toeneemt van fysieke variabelen naar sensorische, en vervolgens nog meer naar de cognitieve variabelen. Toch is de variantie binnen de kenmerken van lichaamsvormen, huid, botten en spieren nog zeer groot, zoals bijvoorbeeld te zien is in figuur 5.3.



Figuur 5.3 Fysieke variantie van de hand.

Verschillen tussen individuen (inter-individuele variantie) zijn er altijd, en voor bepaalde variabelen is de variantie zodanig dat die individuen in groepen gedeeld kunnen worden, zoals mannen versus vrouwen, kinderen versus jongvolwassenen en ouderen, gezonden versus fysiek gehandicapten. De waarden van de fysieke kenmerken van deze groepen overlappen elkaar vaak gedeeltelijk. Hoewel de toppen van de normaalverdelingen meestal niet gelijk zijn, kunnen de rest van de verdelingen dus grote overlap vertonen. Lange vrouwen zijn groter dan de gemiddelde man (zie figuur 6.16).

Vele fysieke kenmerken dienen bij productontwerpen ook gezien te worden op verschil in kenmerk van hetzelfde individu over de tijd (intra-individuele variantie). Het menselijk lichaam groeit, verandert, ontwikkelt en wordt soms beschadigd; de lichaamslengte neemt bij bejaarden wat af; krachttuioefening kan na training toenemen; de huid wordt op den duur minder elastisch. Intra-individuele variantie kan optreden bij een individu over langere perioden, zoals levensfasen of langdurige oefeningsperiode, maar intra- s^2 kan er ook zijn op korte termijn, zoals vermoeid raken of van vermoeienis herstellen. Op middellange

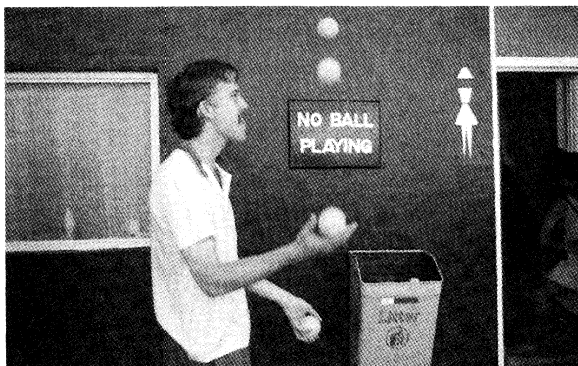
termijn ziet men bijvoorbeeld ziekte en herstel, of het langzamerhand verbeteren van bedieningsbewegingen. Op langere termijn kan men denken aan groeiprocessen in de jeugd, de verandering van lichaamsconditie door een bepaalde leefwijze, of de vermindering daarvan door veroudering.

In het algemeen geldt voor menselijke kenmerken dat de inter-individuele variantie toeneemt met de leeftijd. Daarbij moet worden aangetekend dat de kalenderleeftijd steeds minder een goede indicatie is van de functionele leeftijd (Dirken, 1972; Steenbekkers en Van Beijsterveld, 1998). Mensen individualiseren steeds verder en lijken daardoor steeds minder op elkaar.

De gemiddelde gebruiker bestaat niet

Het komt er op neer dat er geen gemiddeld mens bestaat, ook niet in fysieke zin. Als men niet kijkt op een millimeter hebben vele mensen wel dezelfde handbreedte, maar van die groep vertonen weinigen tegelijkertijd ook dezelfde hoofdomvang en gelijke hand-kniijpkracht. De feiten komen absoluut niet overeen met de stereotype (doch kennelijk foutieve) gedachte dat allen van gelijke lichaamslengte onderling zullen overeenstemmen in bouw en proportionering van het lichaam.

Die verscheidenheid is, zoals eerder uitgelegd in hoofdstuk 4 'De ontwerputdaging door de menselijke verscheidenheid', één van de boeiendste opgaven voor de productontwerper, die een brede groep van gebruikers moet bedienen met één standaardproduct. Het product zal dus bij iedere gebruiker op een andere manier uitvallen, wat betreft het passen van dimensies, oppervlak, massa, krachten, beweegbaarheid enzovoort. Bovendien zal de gebruikswijze van een standaardproduct niet bij ieder hetzelfde zijn: waar vast te houden, hoe te bewegen, enzovoort. Sommige producten laten weinig of geen bedieningsvariatie toe, bijvoorbeeld een drukknop. Andere producten zijn nauwelijks voorspelbaar wat betreft de interactie tussen mens en product, zoals een naald of een bal (figuur 5.4). Hoewel interactie dus niet altijd even voorspelbaar is, kan van de meeste producten die fysiek contact maken met gebruikers, redelijkerwijs worden vastgesteld welke fysieke kenmerken waarschijnlijk van belang zijn voor de interactie. Ook kan wor-



Figuur 5.4 Weinig voorspelbare interactie met ballen.

den vastgesteld welke ‘passing’ door het volgen van één van de vijf ontwerptypen wenselijk is. Bij het ontwerpen moeten de kritische, fysieke kenmerken en varianties worden vastgesteld, waarna gekozen kan worden voor bepaalde maten, vormen, krachten en dergelijke van het toekomstige product. Dat vergt zowel veel kennis van fysieke ergonomie als veel ontwerpervaring. Het ontwikkelen van een goed ‘hulpstuk’ voor zeer vele consumenten gaat zeker niet vanzelf.

5.2 Een indeling van fysiek ondersteunende producten

Indelingsprincipes

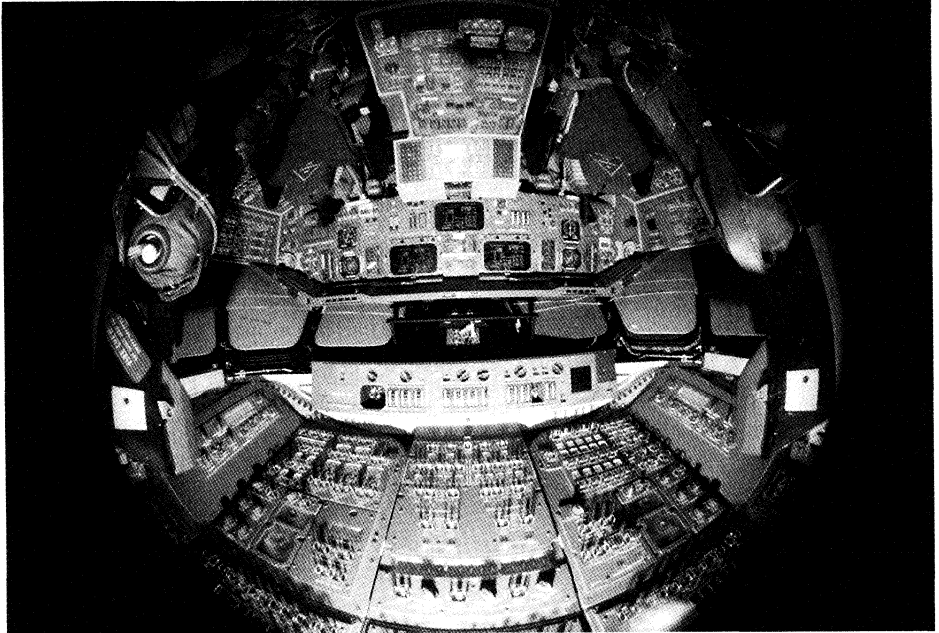
Om een goed overzicht te krijgen van alle producten die betrokken zijn bij mens-product interactie, is het nuttig om er een indeling van te maken. Een indeling van producten in groepen met overeenkomstige ergonomische aspecten kan helpen bij het vinden van oplossingsrichtingen voor gemeenschappelijke problemen.

Een indeling van gebruiksgoederen, zoals die al bestaat in bijvoorbeeld ‘witgoed’ (ijskasten, fornuizen, wasmachines) en ‘bruingood’ (audio en video apparatuur), is onvolledig en niet geschikt voor ons doel. Om producten te categoriseren vanuit het oogpunt van fysieke ergonomie, is er een andere indeling nodig. Men kan bijvoorbeeld elk lichaamsdeel en iedere lichaamsfunctie bezien en zich vervolgens afvragen welke gebruiksartikelen daarbij horen. Bij een vingertop hoort een vingerhoed, bij duim en wijsvinger hoort een pincet, enzovoort. Het aantal categoriën zou zeer groot zijn en daardoor bijzonder onoverzichtelijk, ook al omdat voorwerpen soms vele lichaamsonderdelen tegelijk raken. Toch is het categoriseren van producten aan de hand van de relatie met humane variabelen relevant voor het ontwerpen. Het gaat niet zozeer om volledigheid en eenduidig onderscheid, maar meer om overzicht en typering. Voor de categorie van fysiek ondersteunende producten is het dan handig, een indeling te maken die gebaseerd is op enkele belangrijke groepen van menselijke, natuurlijke functies en geordend van grotere naar kleinere producten.

Een zesdeling

1. Kleine verblijfsruimten (cabins).
Deze ondersteunen de functie van het enige tijd beschermd verblijven.
Voorbeelden: cockpit van vliegtuig (zie ook figuren 5.5 en 2.8), auto-cabine, hijskraan-cabine, toiletruimte, wachthuisje, tent, studiecél, slaapcoupé in de trein.
2. Lichaamsondersteuningsmiddelen (supports).
Deze ondersteunen de functie van het volhouden van een lichaamshouding.
Voorbeelden: werkstoel, fauteuil, melkkruk, sofa, bed, tramlus, houd-stang in bus, loopkruk, wandelstok, sta-steun.
3. Persoonlijke uitrustingen (outfits).
Deze worden op het lichaam megedragen en ondersteunen meestal de functie van het beschermen van lichaamsdelen. Er wordt ook wel gezegd dat

het producten zijn die als tweede huid fungeren voor thermische, mechanische, hygiënische of visuele isolatie of protectie. Voorbeelden: kleding, schoeisel, valhelm, voorschoot, handschoen, gasmasker, duikerspak, asbestpak van brandweerman.



Figuur 5.5 Zomaar een cabine: de cockpit van een space shuttle, met ook veel supports en controls.

4. Handvatten, verpakkingen met lasten (grips, packs and loads).
Deze ondersteunen de functie van het enige tijd vasthouden, vervoeren en/of positioneren van containers, bijvoorbeeld: handvatten, grepen, beugels en lussen aan koffers, dozen, kratten en vaten.
5. Handwerktuigen (tools).
Deze ondersteunen en verbijzonderen de functies van vingers, handen en armen. Voorbeelden: pincet, schaar, hamer, koevoet, aanwijsstok, boor, mes, zaag.
6. Bedieningsonderdelen op grotere, al dan niet vaste, werktuigen en machines (controls).
Deze ondersteunen de functie van het doorgeven van een besturings- of bedieningscommando aan interne mechanismen van het grotere product. Voorbeelden: stuurwiel, hendel, drukknop, muis, toets van een toetsenbord, aan/uit schakelaar, gaspedaal.

Nuancering van de indeling

Deze zesdeling werd ook met een reeks kortere woorden aangegeven in de engelse taal. Alle hier getypeerde hulpmiddelen staan in contact met de huid, vangen kracht

op en vergen menselijke krachttuioefening. Ze dienen veelal als een direct mechanisch verlengstuk, voorzetstuk of omhuller van huid en spier-skelet stelsel. De indeling is niet waterdicht. Er zijn meestal 'supports' te vinden in 'cabins'; op 'tools' vindt men vaak 'controls'. Er is verder ook wel eens behoefte aan een zevende productgroep: de vaak voorkomende voer-, vaar- of vliegtuigen (vehicles), die een 'cabin' zijn met 'supports', 'displays' en 'controls'. Een andere bijzondere groep wordt gevormd door de speciale middelen voor fysiek gehandicapten: prothesen (vervangers), orthesen (ondersteuners) en endothesen (intern geplaatste orgaanvervangers of -ondersteuners, soms ook 'implantaten' genoemd). Voorbeelden hiervan zijn respectievelijk een kunstbeen, een corset en een kunststof hartklep of een pacemaker.

Het is duidelijk dat de indeling in zes groepen zeker niet volledig is. Het gaat er echter om dat fysiek ondersteunende gebruiksgoederen voldoende worden getypeerd, om bij het innoveren of her-ontwerpen productergonomisch greep te krijgen op de grote verscheidenheid. Er zullen in de nabije en verre toekomst ongetwijfeld nog vele nieuwe fysiek ondersteunende producten worden bedacht en ontworpen. Voorlopig zullen die echter wel in de voornoemde functiegroepen kunnen worden ondergebracht.

5.3 De fysieke aspecten

Menskundige kennisgebieden

Voor het innoveren en herontwerpen van fysiek ondersteunende, duurzame goederen is steeds een creatieve combinatie van menskundige en technische kennis nodig. In dit boek wordt de aandacht voornamelijk gericht op de menskundige kennis. Daarover werd al eerder gesteld dat de menswetenschappen, zoals anatomie, fysiologie en psychologie, zeer veel basiskennis en methoden kunnen leveren, maar dat specifieke kennis, die nodig is voor het adequaat ontwerpen van materiële functie-vervullers, vaak niet voorhanden is. Die wetenschappen zijn meer op het interne functioneren van de menselijke species gericht dan op het leven met een omgeving en dan op het interacteren met materiële hulpmiddelen. Het is raadzaam om toch zoveel mogelijk uit de menswetenschappen te putten, en als dit niet voldoende informatie oplevert, kan daar door de ontwerper met gericht productergonomisch onderzoek op worden voortgebouwd. In het volgende zullen die voorradige, meest ontwerprelevante, fysiek-menskundige kennisgebieden kort worden aangeduid. Daarna zullen ze alle zes elk in een afzonderlijk hoofdstuk van dit tweede deel worden behandeld.

Die zes kennisgebieden zijn de volgende:

1. *Statische antropometrie*

Beschrijft de blijvende kenmerken, ofwel de structuur, van de uiterlijke vorm, opbouw en proportionering van het menselijk lichaam. Hierbij valt de nadruk op de frequentieverdeling en corresponderende statistische grootheden in

populaties en op de gevonden verbanden in bevolkingsonderzoek van de lengte, breedte, diepte en omvang van lichaamssegmenten.

2. *Dynamische antropometrie*

Dynamische antropometrie is evenals de statische antropometrie een tak van de fysische antropologie, en bouwt voort op de hierboven genoemde structurele data. De bewegingsmogelijkheden van het lichaam en zijn segmenten, de onderlinge standen en vormveranderingen worden hier gemeten en geanalyseerd. De studie van 'functionele' antropometrische variabelen is min of meer een tussenvorm tussen statische en dynamische antropometrie. Hierbij worden combinaties van lichaamssegmenten of speciale doorsneden gemeten, die voor vele ontwerpen maatgevend zijn. Voorbeelden: afstand tussen achterzijde rug en wijsvingertop bij horizontaal gestrekte arm; de gemiddelde stapgrootte. Aan de dynamischer zijde van dit tweede kennisgebied ligt de kinesiologie, ofwel bewegingsleer, die ons leert hoe, hoe ver en hoe snel ledematen kunnen bewegen.

3. *Passieve krachtopvang*

De biomechanica levert formules en methoden om nader te onderzoeken hoe het menselijk lichaam onder meer reageert op externe krachten die er op worden uitgeoefend. Men denke hierbij aan de invloed van de zwaartekracht bij verschillende lichaamshoudingen, aan de druk op de huid via ondersteunende contactvlakken, aan het opvangen, dempen en doorleiden van externe schokken en trillingen, aan de effecten van versnellingen bij vervoer, etcetera.

4. *Actieve krachttuioefening*

De spierfysiologie leert dat spieren kunnen verkorten en zo de onderlinge hoek van botten doen veranderen. Dat betekent het leveren van arbeid. Spierarbeid wordt echter ook geleverd als de spierspanning verhoogd wordt zonder verkorting. Spieren zijn op die wijze een interne krachtbron, om een lichaamshouding vol te houden, om ledematen te bewegen of om op externe objecten krachten uit te oefenen. Interactie met producten, zoals tillen, duwen, tegenhouden of draaien, vergen deze spieractie, van armen, benen en/of romp. De biomechanica kan ook hierbij behulpzaam zijn.

5. *Fysieke inspanning*

Spieren kunnen vermoeid raken door langdurig of relatief zwaar arbeid te leveren. Het gebruiken van producten kost dus fysiek moeite; soms onmerkbaar weinig, soms zoveel dat het al snel uitputting tot gevolg heeft. Voor het verzorgen van de spieren, maar ook voor het onderhouden van vele andere lichaamsprocessen, wordt geademd, verteerd, omgezet en getransporteerd, kortom allerlei moeite gedaan. De mens, als motor en als interactor met producten, kent dus beperkingen in kracht, rendement en in volhoudtijd. Dat soort kosten en limieten moeten ontwerpers kennen, al was het maar omdat er wederom zulke grote variaties optreden in vermoeibaarheid, volhoudtijd, doorzettingsvermogen en vaardigheid.

6. *Motorisch leren*

Soms vergt gebruik van fysiek ondersteunende producten slechts eenvoudige bewegingen en een simpele inzet van spieren. Vaak is de interactie echter complexer en dat vraagt van de gebruiker het precies doseren van krachten, het goed beheersen van bewegingsbanen, snelheid van voelen en reageren. Zogenaamd eenvoudig fietsen is gebaseerd op een zeer ingewikkeld patroon van snelle waarneming en motoriek, van coördineren en in evenwicht blijven (zie figuur 5.6). Fysieke interactie betekent vaak het ondergaan van een leerproces van proberen, fouten maken, vervolgens anders doen en steeds beter presteren, totdat er een bevredigend niveau en automatisme zijn bereikt. Het moge duidelijk zijn dat het hier niet meer alleen de fysieke aspecten betreft, maar evenzeer de sensorische en cognitieve functies. Het gaat dan ook om de relaties tussen beweging en product-effekt, ofwel om de wederzijdse invloed van enerzijds de bij productbediening ingezette spieractie en anderzijds de waargenomen en verwachte gevolgen in het product. Een schuifje naar rechts bewegen moet een wijzer niet naar links doen uitslaan, een kleine draai aan een stuurwiel moet de auto niet totaal van koers doen veranderen. Wat is motorisch natuurlijk, en welke beperkingen zijn er aan het motorisch leren?









Figuur 5.6 Ingewikkeld fietsen gebaseerd op een complex patroon van snelle waarneming en motoriek, coördineren en in evenwicht blijven?

5.4 Een matrix van producttypen en kennisgebieden

Selectie van verbanden

Bij elk van de fysiek ondersteunende producttypen is elk van de zoëven genoemde kennisgebieden op een of andere manier wel eens van belang. Er zijn echter wel verschillen in nadruk. Dat betekent dat bepaalde kennisgebieden beter kunnen worden uitgelegd en geïllustreerd met het ene type van producten dan met het andere. Bij het ontwerpen van bijvoorbeeld kleding zal men meer analyse moeten maken van statische en dynamische antropometrie dan zorg besteden aan factoren van fysieke inspanning. Bij het ontwerpen van koffers of drillboren zal dat eerder andersom zijn. In de volgende hoofdstukken zal van die nadrukken in de relaties tussen producttypen en fysieke aspecten gebruik worden gemaakt.

hoofdstuk	6	7	8	9	10	11	
producttype	statische antropometrie	dynamische antropometrie	passieve krachtopvang	actieve krachtoefening	fysieke inspanning	motorisch leren	
1. cabins	x						
2. supports	x	x	x				
3. outfits	x	x					
4. grips		x	x	x	x		
5. tools			x	x	x	x	
6. controls				x		x	

Figuur 5.7 Matrix van fysieke producttypen en kennisgebieden.

Matrix

In figuur 5.7 staan de zes producttypen van fysiek ondersteunende artefacten en de zes kennisgebieden van fysieke aspecten in één tabel. Elke kolom, ofwel ieder kennisgebied, zal nader worden uitgewerkt in een hoofdstuk.

Uit deze matrix valt te zien dat twee of drie producttypen per hoofdstuk speciale aandacht krijgen. Gaande de hoofdstukken komen er kleinere producten aan bod. Omdat bij de kleinere producten grips, tools en controls het ‘hanteren’ en dus de handen wezenlijk zijn, zal bij die hoofdstukken ook speciale aandacht aan de antropometrie van de hand worden besteed.

Bij het ontwerpen — het is al enige malen gesteld — is niet alleen de gemiddelde waarde van de menselijke gebruiker van belang, maar meer nog de spreiding daaromheen: de inter-individuele spreiding en soms de intra-individuele spreiding. Daarom zal bij elk van de hoofdstukken ook iets over die spreidingen worden vermeld en over de eventuele verschillen in gemiddelde waarden tussen verscheidene gebruiksgroepen, ingedeeld op basis van leeftijd, sexe of gezondheid.

Aan ‘vehicles’, hulpmiddelen voor fysiek gehandicapten en aan endothesen zal slechts incidenteel aandacht worden besteed.

Begrippen¹

Fysieke variantie:

- k1 intra-individuele variantie
- k1 inter-individuele variantie
- k3 de gemiddelde gebruiker

Zes producttypen:

- k1 kleine verblijfsruimten (cabins)
- k1 lichaamsondersteuningsmiddelen (supports)
- k1 persoonlijke uitrustingen (outfits)
- k1 handvatten, verpakkingen met lasten (grips, packs and loads)
- k1 handwerktuigen (tools)
- k1 bedieningsonderdelen (controls)
- k1 (vehicles, pro-, or-, en endo-thesen)

Zes fysieke aspecten:

- i1 statische antropometrie
- i1 dynamische antropometrie
- i1 passieve krachtopvang
- i1 actieve krachtoefening
- i1 fysieke inspanning
- i1 motorisch leren

Matrix:

- k3 producttypen behorend bij fysieke aspecten
- k3 verschillend belang van kennisgebieden voor producttypen

Vragen

- 5.1. Beredeneer waarom de fysiek ondersteunende producten in cultuur-historisch opzicht de oudste categorie vormen.
- 5.2. Zijn er ook tussen de zes producttypen binnen de productcategorie fysieke ondersteuning nog systematische historische verschillen of toekomstverwachtingen te bedenken?
- 5.3. Indien de interactie met een bal, naald of pincet vergelijkenderwijs minder voorspelbaar is, komt dit dan omdat minder bepaald is welke fysieke onderdelen een rol spelen of omdat onvoorspelbaar is hoe ze worden ingezet bij interactie; of gelden beide verklaringen?
- 5.4. Bedenk voorbeelden van outfits die typisch zijn voor vrouwen of voor

¹ i = inzicht, k = kennis, t = toepassing; 1,2,3 zijn afnemende graden van belang

- kinderen of voor bejaarden.
- 5.5. Bedenk voorbeelden van tools voor productontwikkelaars en die voor studenten.
 - 5.6. Bedenk een product dat zoveel mogelijk aspecten van verschillende producttypen bevat, en daardoor bij zoveel mogelijk producttypen is in te delen.
 - 5.7. Zet op een rijtje welke handelingen er motorisch geleerd moeten worden bij het leren fietsen.
 - 5.8. In welk opzicht zal het samen fietsen op een hoge fiets (zoals in figuur 5.6) verschillen van het fietsen op een gewone fiets?
 - 5.9. Tracht een product te bedenken waarbij fysiek contact (en dus fysieke ergonomie) geen enkele rol speelt.
 - 5.10. Is figuur 5.3 een voorbeeld van inter- s^2 of van intra- s^2 ?
 - 5.11. Geef voorbeelden dat intra-individuele variantie een rol speelt bij het ontwerpen van fysiek ondersteunende producten.
 - 5.12. Ga na in hoeverre uw autostoel probeert te voorzien in inter-individuele variantie.
 - 5.13. Schrijf in uw eigen woorden de definitie van kleine verblijfsruimten op; wat zijn de belangrijkste kenmerken?
 - 5.14. Welke lichaamsondersteuningsmiddelen gebruikt u per etmaal hoeveel uren?
 - 5.15. Ga na welke persoonlijke uitrustingen er de laatste tien jaar zijn bijgekomen; is er sprake van een trend?
 - 5.16. Wat vindt u in uw omgeving een uitermate comfortabel handvat en wat een minder comfortabel; ga na waardoor deze verschillen worden veroorzaakt.
 - 5.17. Wat onderscheidt handwerktuigen van handvatten?
 - 5.18. Ga na in hoeverre de bedieningsonderdelen bij de bedieningstaak telefoneren in de loop van de tijd zijn veranderd. Betekent die verandering ergonomisch gezien ook een verbetering?
 - 5.19. Kan een prothese ook een endothese zijn?
 - 5.20. Wat is het statische aspect van statische antropometrie?
 - 5.21. Moet het langer worden van de gemiddelde mens in de tijd ook gezien worden als onderwerp voor de dynamische antropometrie?
 - 5.22. Welke discipline bestudeert bij uitstek de passieve krachtopvang?
 - 5.23. Waarin verschilt actieve krachtuitoefening van passieve krachtopvang?
 - 5.24. Ga bij uzelf de tijdslimiet van de activiteiten van uw schouderpijlen na door een pak melk met gestrekte arm voor u uit te houden.
 - 5.25. Ga na of de bedieningsrichting van een draaiknopje op uw stereo-installatie overeenkomt met uw verwachting met betrekking tot het gewenste effect (geluid harder en zachter).

6

Statische antropometrie

Samenvatting

De statische antropometrie houdt zich bezig met het bepalen van de afmetingen (lengte, diepte, breedte, omtrek, diameter, volume) en het gewicht van lichaamssegmenten. Hiervoor is enige kennis nodig van lichaamsstructuren en anatomie. Aangezien de houding invloed heeft op de afmetingen, wordt er bij metingen uitgegaan van standaardhoudingen, zowel zittend als staand. Met behulp van de segment-afmetingen van gebruikersgroepen kunnen modellen worden gemaakt: stokjespoppen en mannikins van karton (2D) of in de computer (3D). Deze zijn behulpzaam bij het beoordelen van ontwerpen. Voor vele gebruikersgroepen zijn er echter helaas nog geen data bekend. Belangrijke bronnen van lichaamsvariantie worden beknopt uitgelegd, en de ergonomische aandachtspunten bij het ontwerpen van cabins, supports en outfits worden besproken. Daarbij wordt ook aandacht besteed aan antropometrische enveloppen en de afmetingen van een zitvlak.

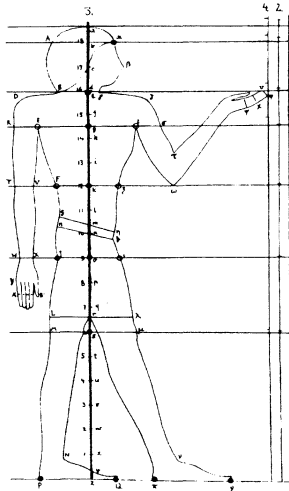
6.1 Antropometrie

Geschiedenis

Antropos (‘ανθρωπος’) betekent ‘mens’ in het grieks, en antropo-metrie staat voor ‘mens- meterij’. Omdat de mens, zeker voor gebruiksgoederen, de maat is voor alle dingen, kan een productontwerper niet zonder antropometrie. Er is zeer veel te meten aan mensen, afhankelijk van de belangstelling en het doel van de onderzoekers. Antropometrie wordt als begrip echter meestal gereserveerd voor het meten van de buitenzijde van menselijke lichamen met schuif- of rolmaat en weegschaal.

Het lichamelijk uiterlijk werd ook lang geleden al belangrijk gevonden. Dat kunnen we zien aan religieuze afbeeldingen uit de Oud-Egyptische cultuur (figuur 6.1). Het schoonheidsideaal werd er bepaald door religieuze overwegingen. In karige tijden gold grote fysieke omvang als een statussymbool en werd het schoonheidsideaal dus bepaald door de economische omstandigheden (figuur 6.2). Later neigde het schoonheidsideaal naar een gemiddelde proportionering en het was pas in de Renaissance dat men belangstelling kreeg voor de vele fysieke verschillen tussen mensen en volkeren. De nieuwsgierigheid naar die verschillen kreeg een praktische achtergrond en stimulans toen de sociale geneeskunde onder meer ontdekte dat lichaamslengte en -gewicht, hun gemiddelde, spreiding en verhouding indicatoren vormden voor de gezondheidstoestand van bevolkingsgroepen (de Belgische arts Quetelet, 1871). Niet lang daarna ontdekte men dat voor de maatvoering van

massagoederen en industriële werkplaatsen kennis nodig was van de lengten van lichaamssegmenten, krachten en reikwijdten. Zo werd de antropometrie ook een belangrijk onderdeel van de ergonomie.



Figuur 6.1 Oud-Egyptisch maatvoerschrift voor lichaamsafbeelding.



Figuur 6.2 De Venus van Willendorf, in de Steentijd is dik is vruchtbaar is mooi.

Het kennisgebied omtrent de menselijke maat

Het beschrijven van de vorm van een enkel lichaam of een verzameling van lichamen verloopt altijd selectief, afhankelijk van de doelstelling van de beschrijver. Het is een kwestie van keuze, hoe fijn de details zullen zijn waarvoor men belangstelling heeft (de resolutie), en of de belangstelling meer uitgaat naar de constante structuur (bijvoorbeeld schedelomvang) of naar de mogelijke veranderingen van het lichaam (bijvoorbeeld maximale gewrichtshoeken). Voor het aanpassen van de zes producttypen van fysiek ondersteunende goederen is het belangrijk om de afmetingen van ledematen te kennen. Deze worden liefst gemeten van botpunt tot botpunt, waarbij de botpunten duidelijk door de huid heen te voelen moeten zijn. Een zacht deel als meetpunt geeft minder nauwkeurige resultaten. Voor de nauwkeurigheid volstaat het overigens te meten in centimeters. Voor cabines is een resolutie van decimeters meestal toereikend; voor de maatgeving van bijvoorbeeld brillen is echter nauwkeurigheid tot op de millimeter nodig. Omdat het gaat om productgebruikers die bewegen, is zowel kennis van structuur als inzicht in de mogelijke veranderingen nodig. De structuur bestaat uit vaste afstanden, omtrekken en volumina, en de veranderingen kunnen zijn in houding, hoekverdraaiingen, omtrekken en dergelijke. In dit hoofdstuk beperken we ons vooral tot inzicht in de structurele, of wel statische, kenmerken, om te bepalen hoe dat kan helpen om passende, aangepaste producten te ontwerpen. Er zal ook uitgelegd worden hoe deze kennis kan helpen bij het ontwerpen van producten die

goed aansluiten bij de fysieke kanten van de mens.

Alvorens nader in te gaan op de statische aspecten van de antropometrie, wordt er eerst enige aandacht besteed aan de anatomische achtergronden. Daarmee wordt een beeld verkregen over de opbouw, de materiaalsoorten en typen van functies in het menselijk lichaam, en krijgen de segmentmaten ook een kwalitatieve inhoud.

Anatomie

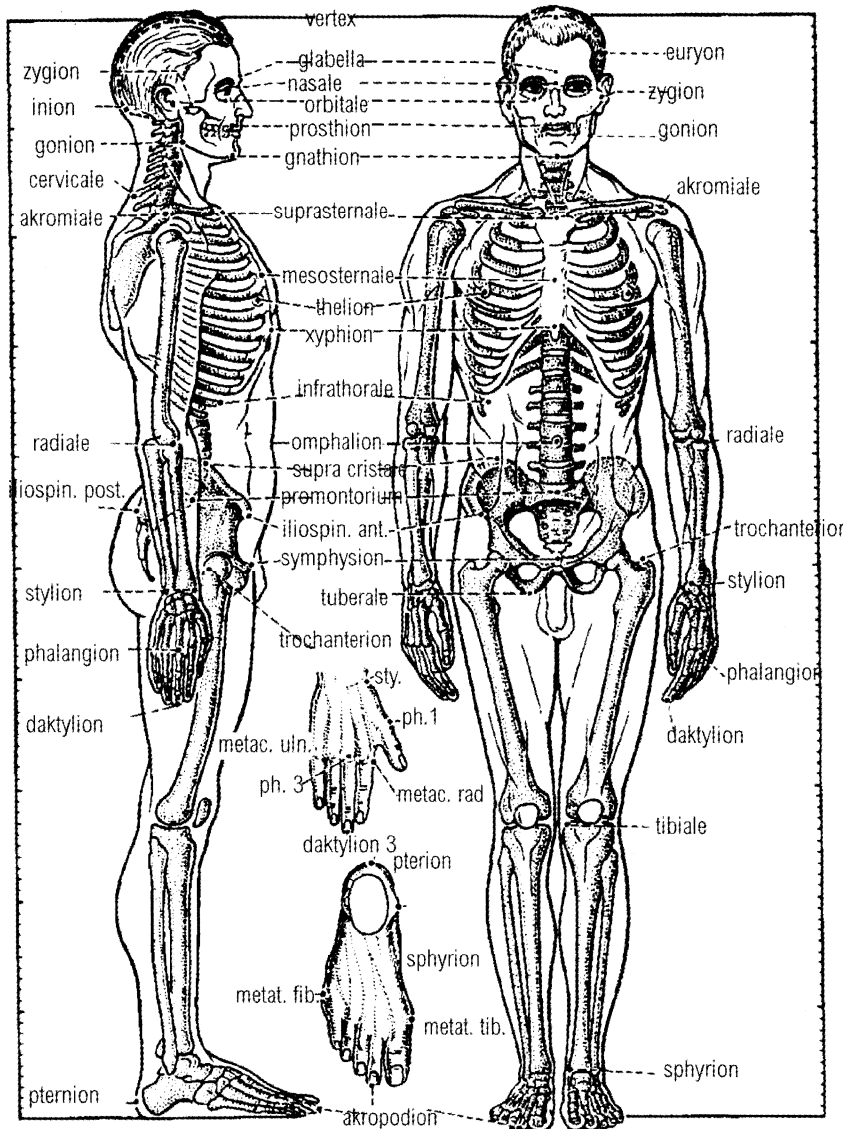
Anatomie, ofwel ontleedkunde, beschrijft de aard en ruimtelijke hoedanigheid van lichaamsonderdelen. De antropometrie kan gezien worden als een onderdeel van de anatomie. Het (menselijk) lichaam is opgebouwd uit cellen. Cellen zijn de kleinste eenheid die buiten het lichaam nog levensvatbaar is. Gelijksortige cellen vormen te zamen een weefsel. Er zijn diverse typen weefsels, zoals dekweefsel (huid), steunweefsel (botten), zenuwweefsel (voor informatie-transport), spierweefsel (voor kracht en beweging) en dergelijke. Daarnaast vormen cellen allerlei organen en systeemorganen die elementaire levensprocessen uitvoeren, zoals ademhaling, spijsvertering, bloedsomloop en voortplanting. Voor onze doelstellingen zijn vooral de huid, botten en spieren van belang.

Huid

De huid is het grootste menselijke orgaan en bestaat uit elastisch weefsel. Bij een volwassen mens heeft de huid een dikte van 0,5 tot 5 mm, is wel 4 kg zwaar en heeft een totaal oppervlak van ongeveer 1,8 m². De functies zijn die van grens (substelsysteem 'boundary', zie figuur 3.6), van bijhouden en beschermen, maar ook van warmte-regulatie (door bijvoorbeeld transpireren) en van waarneming van temperatuur, druk, pijn en trilling (tactiele zintuigen, hoofdstuk 12 'Zintuigen als vensters naar de buitenwereld').

Bot

Bot is een steunweefsel dat binnen het lichaam een stangenstructuur vormt, met daartussen verbindingen die in verschillende mate kunnen scharnieren. Een mens heeft ongeveer 150 botten (figuur 6.3), die uiteenlopende vormen en functies hebben. Er zijn pijpbeenderen (cilindervormig, hol bot) zoals het dijbeen, platte beenderen zoals schouderblad of hersenpan, en korte massieve beenderen zoals de wervels. De verbindingen tussen de botten bestaan uit naden (bij de schedel), uit kraakbeenschijven (bij de wervelkolom) of uit gewrichten. De beweeglijkste verbindingen zijn de synoviale gewrichten (bij heup, knie, elleboog en pols). Deze bestaan uit kraakbeenvlakken waartussen zich een met vloeistof gevulde spleet bevindt, en een bandenstelsel om het gewricht bijeen te houden (zie ook § 7.2 'Gewrichtswerking'). De botten vormen ongeveer 20% van het lichaamsgewicht. De afmetingen van botten zijn de belangrijkste factoren die van invloed zijn op antropometrische afmetingen zoals totale lichaamslengte, -vorm, -houding, segmentmaten en reikwijdten.



Figuur 6.3 Lateraal en frontaal overzicht van gestandaardiseerde meetpunten in de antropometrie (Martin & Saller, 1957).

Spier

De spieren vormen de eigenlijke motoren van het lichaam. Door verbranding van glucose met zuurstof, alles aangevoerd door hartpomp en bloedvaten, kunnen spieren hun lengte en/of spanning veranderen. De gladde spieren en de hartspier verzorgen de motoriek van de interne organen, die niet onder wilscontrole staan. De spieren die wel willekeurig door de eigenaar kunnen worden aangespannen, lijken onder de microscoop gestreept. Verschillende namen ervoor zijn 'willekeurige', 'dwarsgestreepte' of 'skeletal-spieren'. Deze zijn via pezen met verschil-

lende, onderling scharnierende botten verbonden. Door krachtoefening verzorgen de ongeveer 400 skeletspieren de lichaamshouding, de bewegingen van de ledematen en de uitoefening van kracht op externe objecten. Als voorbeelden van dat laatste: het afzetten tegen de vloer tijdens het lopen, of het draaien aan een autostuur. De dwars-gestreepte spieren maken ongeveer 40% van het lichaamsgewicht uit, ofschoon bouw, voedingstoestand, training en dergelijke voor een flinke variatie kunnen zorgen. Kinderen en bejaarden zijn relatief minder gespierd dan volwassenen; mannen gemiddeld meer dan vrouwen.

Weefselverdeling

Het spier-skeletstelsel bepaalt grotendeels de lichaamsstructuur en -houding. Zonder spierspanning zigt het lichaam houdingsloos ineens. Naast de ongeveer 20% bot en 40% skeletspieren bevat het lichaam ongeveer 10 tot 30% vet, waarbij dit voor vrouwen gemiddeld 25% en voor mannen gemiddeld 15% is. Deze verhoudingen zijn alle uitgedrukt in gewichtsprocenten. Het restpercentage van het gewicht wordt bepaald door de overige organen en vloeistoffen (waaronder 5 liter bloed). Het lichaam in zijn geheel bestaat voor 60% uit water. Indien er op de huid druk wordt uitgeoefend, wordt de onderliggende weefselmassa gemakkelijk samen- en deels weg-gedrukt tot het bot. Die zachte weefsels, en de vloeistoffen en zenuwbanen die daarin zijn ingebed, kunnen die vervorming korte tijd probleemloos verdragen. Na enige tijd echter, die afhankelijk is van de grootte van de druk en het oppervlak, ontstaan er tintelende, pijnlijke en/of dove gevoelens die waarschuwen om de druk te minderen.

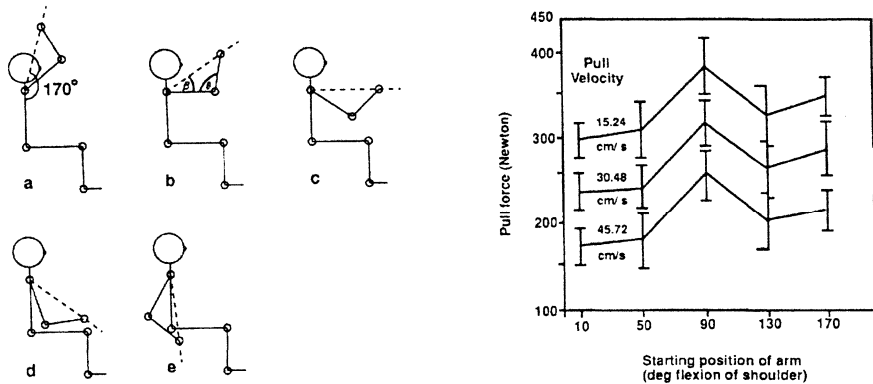
De weefselverdeling is niet homogeen. De ledematen bevatten relatief meer bot, en de romp meer vet. Dit kan ook weer verschillen voor verschillende groepen van mensen; vrouwen hebben dus over het algemeen wat meer vet dan mannen.

Schaalwetten laten zien dat bij $2 \times$ de lichaamslengte het huidoppervlak 2^2 maal groter zal worden (zo ook de spiersterkte, welke afhangt van het oppervlak van de dwarsdoorsnede van een spierbundel) en dat daarbij de massa toeneemt met een factor 2^3 . Die wetten gelden niet zo nauwkeurig voor levende lichamen als deze formules doen vóórkomen (McMahon en Bonner, 1987), maar ze geven wel aan dat de weefselverhoudingen begrensd zijn. De groei van boreling tot volwassene betekent een toename van lengte met een factor 3 tot 4, maar een gewichtstoename met een factor 20 tot 30.

6.2 Modellering in de statische antropometrie

Vereenvoudiging

Als we het over de mens hebben en zijn houdingen en bewegingen, dan is het teveel werk om iedere keer een echte mens af te beelden, compleet met alle botten, gewrichten en spieren. Bovendien is zo'n realistische afbeelding niet erg overzichtelijk en voor veel toepassingen ook niet duidelijk genoeg. Daarom wordt er in de ergonomie vaak met modellen gewerkt.



Figuur 6.4 Een voorbeeld van een stokjespop. Hier is deze gebruikt om beginposities van dynamische krachtoefening duidelijk te maken. In de grafiek staat de maximale trekkracht (N) uit tegen de startpositie, bij verschillende snelheden (Imrhan en Ayoub, 1990).

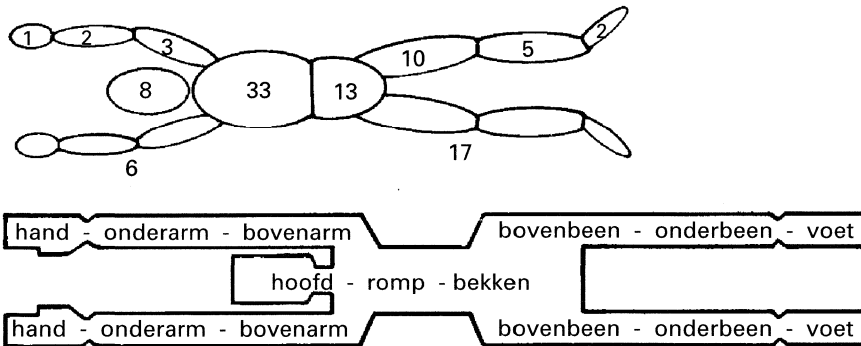
Voor globale voorstellingen kan de menselijke figuur adequaat worden weergegeven door de ledematen te symboliseren als stokjes. Verschillende lichaamshoudingen kunnen zo worden weergegeven (figuur 6.4). Aan de stokjes van een dergelijke draadfiguur kan vervolgens eventueel volume worden gegeven, zodat de segmenten aangeduid worden door bijvoorbeeld cylinders, afgeknotte kegels of ellipsoïden. Niet elk lichaamsonderdeel zal apart worden aangeduid en bij de keuze is het van de toepassing afhankelijk welke segmenten men aan het lichaam wil onderscheiden. Die segmenten zijn met elkaar verbonden als kralen aan een ketting en er wordt daarom ook wel gesproken van de ‘ledenketting’.

Een 15-segments model

In de antropometrische ergonomie wordt vaak gebruik gemaakt van één bepaald lichaamsmodel: een ledenketting die bestaat uit 15 segmenten (figuur 6.5). De 15 segmenten symboliseren hoofd, handen, onder- en bovenarmen, voeten, onder- en bovenbenen en een twee-delige romp. Het beeld dat daarmee van de mens verkregen wordt, is voor veel ergonomische toepassingen al nauwkeurig genoeg, indien er van de 15 segmenten een aantal parameters bekend is, namelijk lengte, breedte, diepte, omvang, massamiddelpunt en de buigingsmogelijkheden van de aangrenzende gewrichten.

De resolutie van het 15-segments model zal te grof zijn indien men hand- en vingermaten wil kennen, bijvoorbeeld voor het ontwikkelen van een tang. Ook als men voor andere producten een nauwkeuriger bepaling nodig heeft van lichaamsvormen en -afmetingen (men denke bijvoorbeeld aan het passen van een gehoorapparaat of een steun voor de onderrug), is het 15-segments model niet toereikend. Voor het dimensioneren van kleine verblijfsruimten en voor een eerste benadering van zitmeubilair is het model zeker voldoende, en soms zelfs te gedetailleerd. Zo kan men bijvoorbeeld voor het aangeven van verschillende

houdingen tussen hurken en staan de kettingdelen voor de armen weglaten en is het apart aangegeven van het bekken evenmin noodzakelijk.



Figuur 6.5 De ledenketting in 15 segmenten met globale massa-percentages (o.m. volgens Roebuck et al., 1975).

Standaardhouding staand

Gezien de vele mogelijke standen van ledematen, romp en hoofd, is enige standaardisering geboden. Een afspraak over de beginsituatie maakt het mogelijk houdingen en bewegingen duidelijk aan te geven ten opzichte van deze standaardhouding. In de statische antropometrie wordt meestal een gestrekte houding gekozen als uitgangspunt.

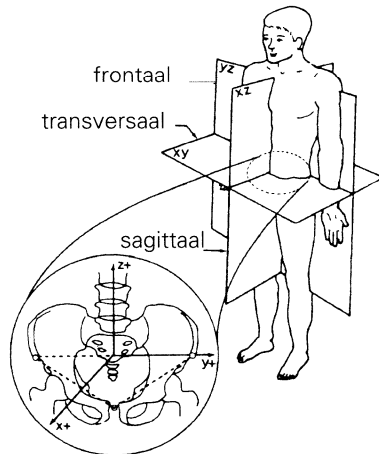
De houding die het meest voorkomt is de staande standaardhouding, ook wel de 'anatomische standaardhouding' genoemd (figuur 6.6). Hierbij staat de mens rechtop, vrijstaand of tegen een muur, met neerhangende armen en de duimen naar buiten gedraaid, zodat de handpalmen naar voren zijn gericht. De mens kijkt naar voren en houdt daarbij het hoofd in het zogeheten 'Frankforter vlak', dat wil zeggen dat de onderzijde van de oogkassen en de bovenzijden van de gehoorgangen in een horizontaal vlak liggen. De normale hoofdhouding is gewoonlijk ongeveer 20° meer naar beneden gericht.

Standaardvlakken en -richtingen

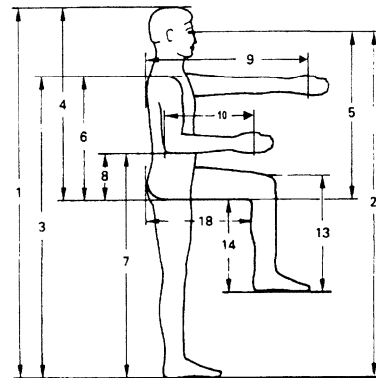
Om houding en beweging ten opzichte van de standaardhouding ondubbelzinnig te kunnen definiëren, is er ook standaardisering aangebracht in het aanduiden van richting. Bij de standaardhouding hoort daarom een vast assenkruis en worden er drie vlakken benoemd. Gezien vanuit de persoon die in de standaardhouding staat, zijn de vlakken als volgt gedefiniëerd. De richting van beneden naar boven noemen we de Z^+ -richting. De richting van rechts naar links noemen we de Y^+ -richting. De richting van achter naar voren noemen we de X^+ -richting. X, Y, Z lopen dus respectievelijk van rugwervels naar borstbeen, van rechter- naar linkerbekkenkam en van voet naar kruin.

Bij die assen horen vlakken (figuur 6.6). Het vlak door de assen X en Z heet het sagittale vlak. 'Sagittus' betekent 'pijl' in het latijn, het sagittale vlak is dus het

vlak waarin je een pijl wegschiet. Het vlak door de assen Y en Z heet het frontale vlak. Frontaal betekent ‘zich in het front (de voorzijde) bevindend’. Het vlak door de assen X en Y heet het transversale vlak. ‘Transversaal’ komt eveneens uit het latijn, transversalis, en betekent ‘overdwars’. Voor het gemak wordt er van uitgegaan dat, indien niet anders vermeld, die vlakken elkaar ongeveer in het massamiddelpunt van de staande mens snijden. ‘Een sagittaal vlak’ loopt dus evenwijdig aan ‘het sagittale vlak’, waarbij dat laatste vlak door het massamiddelpunt gaat zoals dat in figuur 6.6 bij het bekken is aangeduid als een punt vóór de tweede sacrale wervel (S2), op ongeveer 61% van de lichaamslengte staand. In werkelijkheid is het massamiddelpunt uiteraard beweeglijk en afhankelijk van de lichaamshouding en -bouw. Dat snijpunt wordt gewoonlijk niet absoluut bepaald, maar benaderd met behulp van anatomische punten. Bij gestrekt te liggen op bed loopt het matras min of meer parallel aan het frontale vlak.



Figuur 6.6 Standaardhouding staand, en de drie vlakken waarin houding en beweging gedefinieerd worden en het XYZ-stelsel.



Figuur 6.7 Standaardhouding zittend en staand.

Standaard zithouding

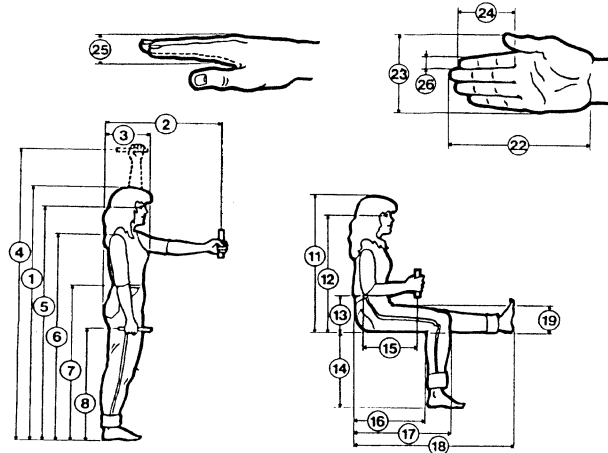
Minder vaak komt de standaard zithouding voor. Bij de standaard zithouding zijn romp, bekken en onderbenen verticaal, maar de bovenbenen horizontaal. Heupen en knieën staan alle onder een hoek van 90° . Soms worden beide standaardhoudingen gecombineerd weergegeven, zoals in figuur 6.7. Op deze wijze kunnen de belangrijkste lengte- en diepte-maten in één figuur worden aangegeven. Voor breedte-maten kan men de zij-aanzichten van het lichaam uiteraard niet gebruiken, maar deze kunnen ook, net als de omvangsmaten en de posities van de massamiddelpunten van elk segment, met verbale omschrijvingen of verhoudingsgetallen goed worden vastgelegd zonder hulp van figuren. Zo liggen de massamiddelpunten van de segmenten van de ledematen globaal op $1/3$ van de lengte, gerekend vanaf de romp.

Data-bronnen

Reeds meer dan een eeuw en tot voor kort was het in verschillende landen gewoonte dat jonge mannen rond het 18^e levensjaar worden opgeroepen voor militaire keuring. Bij die keuring worden hun lichaamslengte en -gewicht gemeten. Zo zijn deze data van jonge mannen over vele jaren en van vele landen bekend (Brinkman et al., 1987, Hauspie en Vercauteren in: Wit, 1998). Sociaal-geneeskundig bevolkingsonderzoek levert soms dezelfde informatie op van jongens en meisjes tijdens verschillende momenten van de groei, van boreling tot jongvolwassene. Die bevolkingsonderzoeken werden in Nederland uitgevoerd in onder meer 1965, 1980 en 1997 (Wit, 1998). Ze beogen het opstellen van algemene Nederlandse groei-normen en volstaan gewoonlijk met de totale lichaamslengte en -gewicht.

Voor veel ontwerpdoeleinden zijn evenwel veel meer antropometrische variabelen nodig. Het is vooral de luchtmacht van de U.S.A. die veel ontwerpgegevens verzameld heeft. Dit gebeurde omdat ook in de militaire industrie het product goed bij de mens moet passen: de piloten in de cockpit, het vliegend personeel in de vliegpakken, enzovoort. Daaruit kwamen verscheidene publicaties voort, de *Anthropometric Source Books*. Daarin staan vele lichaamsafmetingen van Amerikaanse militairen, die ook door Europese ontwerpers wel eens worden geraadpleegd. Deze data-bronnen zijn echter hier en nu niet zonder meer toepasbaar. Lichaamsmaten blijken over de hele wereld behoorlijk uiteen te kunnen lopen. De statistische frequentie-verdeling van bijvoorbeeld de hoofdbreedte van Amerikaanse volwassenen is niet gelijk aan de verdeling van dezelfde maat bij Duitsers (Schnelle, 1964). Bovendien is er, vooral in de Westerse landen, al meer dan een eeuw een langzame toename van lichaamsafmetingen te constateren, uit vergelijking van opeenvolgende generaties. Deze trend heet 'secularisatie'. In Nederland is duidelijk te merken dat jong volwassenen langer zijn dan hun ouders en grootouders toen die even oud waren. Dat kan, afhankelijk van de antropometrische variabele, centimeters schelen en is daarom bij het ontwerpen wel eens van belang.

Voor de Nederlandse productontwikkelaars zijn de antropometrische data-bronnen onvolledig en niet ideaal. Al een 20 jaar kan de ontwerper zich redelijk behelpen met de zogenaamde Dined-tabel (Molenbroek en Dirken, 1986), zie figuur 6.8. De waarden in die Dined-tabel zijn geen oorspronkelijke Nederlandse meetwaarden, maar gegevens van Duits bevolkingsonderzoek die gecorrigeerd zijn voor de Nederlandse situatie. De 27 maten die in de Dined-tabel staan, representeren de gemiddelden en spreidingen van de Nederlandse bevolking van 20 tot 60 jaar, voor mannen en vrouwen apart en gezamenlijk. We beschikken tegenwoordig wèl over representatieve antropometrische gegevens van Nederlandse kinderen. Deze gegevens zijn het resultaat van nationaal onderzoek onder ruim drieduizend kinderen in de eerste twaalf levensjaren. De data omvatten een veertigtal lichaamsmaten van jongens en meisjes (Steenbekkers, 1993). Een samenvatting wordt gegeven in figuren 6.9 en 6.10.



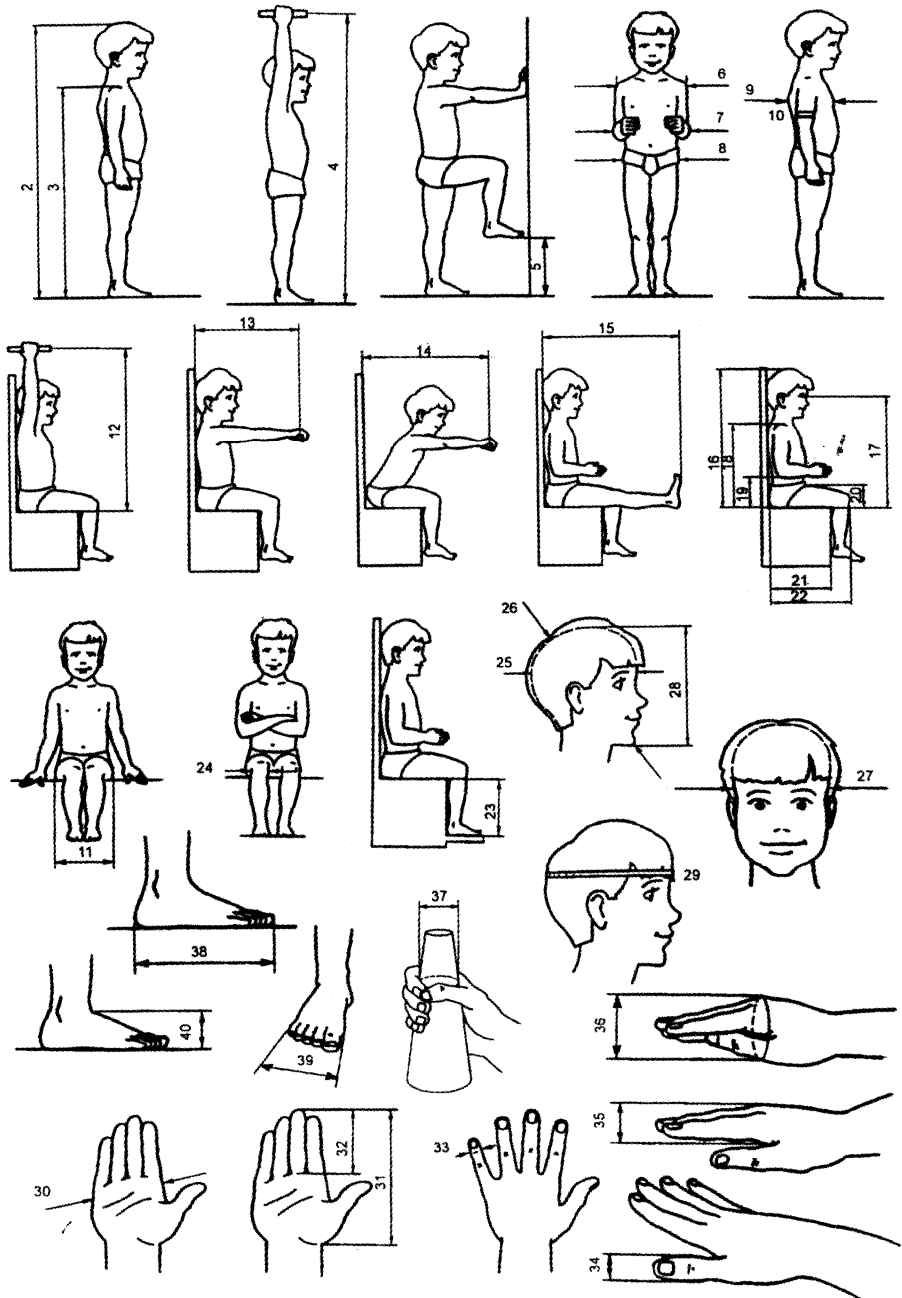
Schattingen van afmetingen van lichaamsmaten van volwassen Nederlanders (20–60 jaar).
Maten ongeschoeid en ongekleed gemeten. Maten in mm en gewicht in kg. \bar{x} -waarden onder-
streept indien vrouwelijke > mannelijke.

nr.	variabele	mannen		vrouwen		mannen + vrouwen				
		\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	P5	P95	
sta-maten:										
1	lichaamslengte	1794	64	1651	65	1723	96	1565	1881	
2	reikdiepte	747	38	704	44	726	46	650	802	
3	borstdiepte	286	26	<u>291</u>	36	289	32	236	342	
4	reikhoogte beide armen	2123	91	1907	76	2015	137	1789	2241	
5	ooghoogte	1669	64	1532	59	1601	92	1449	1753	
6	schouderhoogte	1496	58	1366	61	1431	88	1286	1576	
7	ellebooghoogte	1134	48	1051	43	1093	62	991	1195	
8	vuisthoogte	794	30	<u>753</u>	42	774	42	705	843	
9	heupbreedte	356	18	<u>365</u>	28	361	24	321	401	
10	schouderbreedte	412	18	362	20	387	31	336	435	
zit-maten:										
11	kruin-zitvlak hoogte (zithoogte)	939	34	874	33	907	47	829	985	
12	ooghoogte	818	32	<u>750</u>	32	784	47	706	862	
13	elleboog-zitvlak-hoogte	238	26	<u>235</u>	26	238	26	195	281	
14	kniesholtehoogte (onderbeenlengte)	457	25	<u>403</u>	25	430	37	369	491	
15	elleboog-grijpdiepte	375	19	<u>325</u>	22	352	31	301	403	
16	bil-kniesholte diepte	518	30	494	32	506	33	452	560	
17	bil-knieschijf diepte	620	28	<u>595</u>	31	610	31	559	661	
18	bil-voet diepte	1071	49	<u>1065</u>	52	1068	51	984	1152	
19	dijbeenhoogte	141	12	<u>147</u>	17	144	15	119	165	
20	ellebogenbreedte	467	34	<u>465</u>	53	466	45	392	540	
21	heupbreedte	375	20	<u>395</u>	34	385	30	336	435	
hand-maten:										
22	handlengte	193	9	177	9	185	12	165	205	
23	handbreedte met duim	111	5	94	6	103	10	87	120	
24	lengte wijsvinger	78	5	70	4	74	6	64	84	
25	handdikte	29	2	27	3	28	3	23	33	
26	breedte wijsvingertop	19	1	15	1	17	2	14	20	
27	lichaamsgewicht	76	10	65	10	71	11	53	89	

Figuur 6.8 DINED-tabel (Molenbroek en Dirken, 1986).

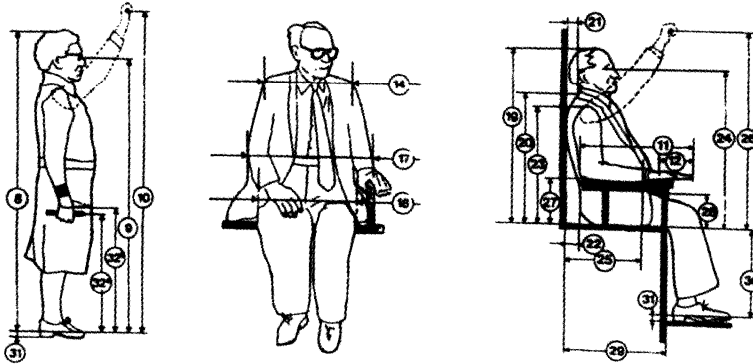
	kinderen 2 t/m 5 jaar (n = 700)				kinderen 6 t/m 8 jaar (n=580)				kinderen 9 t/m 12 jaar (n = 965)			
	s	P3	\bar{x}	P97	s	P3	\bar{x}	P97	s	P3	\bar{x}	P97
sta-maten												
1. lichaamsgewicht	3.4	12.1	17.7	25.1	4.2	20.0	26.4	36.0	7.7	26.8	38.0	55.1
2. lichaamslengte	9.7	87.7	104.9	122.8	6.9	116.3	128.4	141.2	8.7	132.6	148.0	165.3
3. schouderhoogte staand	8.1	67.4	81.2	96.0	6.4	90.4	101.6	113.5	7.9	105.4	119.4	135.7
4. reikhoogte staand	12.9	99.0	121.2	144.6	9.2	135.0	152.2	169.9	11.2	157.9	178.0	200.4
5. opstaphoogte	8.2	26.6	40.3	56.0	8.2	38.7	53.5	70.8	7.9	47.1	62.3	76.8
6. schouderbreedte	2.0	22.2	26.1	29.8	1.9	27.4	30.4	33.8	2.3	30.5	34.5	39.1
7. ellebogenbreedte	2.1	23.9	27.8	31.9	2.3	26.4	30.5	34.8	3.2	28.8	33.9	41.1
8. heupbreedte staand	1.6	16.8	19.5	22.4	1.6	20.0	22.7	25.7	2.3	22.4	26.2	31.0
9. borstdiepte	1.1	11.9	13.7	15.9	1.1	13.6	15.5	17.8	1.8	14.8	17.5	21.7
10. bovenarmomvang	1.3	15.0	17.2	19.8	1.6	16.2	18.8	22.4	2.2	17.5	21.1	26.0
zit-maten												
11. heupbreedte zittend	1.9	17.4	20.7	24.5	1.9	20.7	24.1	27.9	2.8	23.4	27.8	34.0
12. reikhoogte zittend	7.4	63.6	76.5	89.7	5.6	83.7	93.6	104.0	6.9	95.0	107.4	121.4
13. armlengte	4.6	35.7	43.7	52.2	3.6	45.8	52.1	59.6	4.9	51.3	60.1	70.5
14. reikdiepte zittend	7.8	60.0	75.1	90.1	7.4	75.5	90.1	103.4	8.0	88.6	104.2	118.8
15. bil-voet lengte	6.9	47.3	59.0	71.7	5.5	64.5	75.3	85.9	6.8	77.7	89.6	103.2
16. zithoogte	4.1	52.0	59.1	66.3	3.3	63.2	68.8	74.8	4.1	69.0	76.6	85.0
17. ooghoogte zittend	3.9	42.2	48.7	56.3	3.3	51.8	57.6	63.6	4.2	58.0	65.4	74.1
18. schouderhoogte zittend	2.7	30.9	35.8	41.3	2.7	37.5	42.2	47.3	3.4	42.0	48.1	55.1
19. ellebooghoogte	1.8	12.3	15.5	19.0	1.9	14.2	17.3	21.0	2.3	15.0	19.2	23.5
20. dijbeendikte	.9	6.7	8.1	9.8	1.0	7.8	9.5	11.4	1.3	8.9	11.1	14.1
21. bil-knieholte diepte	3.3	22.2	28.0	34.6	2.7	30.8	35.7	41.1	3.2	36.5	42.4	48.4
22. bil-knie diepte	3.8	27.7	34.4	41.3	3.0	37.9	43.6	49.2	3.7	44.9	51.6	59.1
23. knieholtehoogte	3.5	20.5	26.6	32.8	2.5	30.4	34.7	39.5	3.0	35.6	41.1	47.2
24. kniebreedte	.5	5.7	6.7	7.6	.5	6.7	7.5	8.5	.6	7.2	8.3	9.5
hoofd-maten												
25. hoofdlangte	.8	16.4	17.9	19.3	.7	17.3	18.6	19.8	.7	17.6	18.9	20.2
26. kin-kruin lengte	.9	19.6	21.3	22.9	.7	21.3	22.5	23.8	.8	22.0	23.5	25.1
27. hoofdbreedte	.5	12.6	13.5	14.6	.5	13.1	14.1	15.2	.6	13.4	14.4	15.5
28. hoofdhoogte	1.4	15.8	18.5	20.9	1.1	17.8	20.0	22.1	1.1	18.8	20.9	23.0
29. hoofdomvang	1.6	47.9	51.1	54.0	1.4	50.2	52.7	55.3	1.6	51.4	54.0	57.2
hand-maten												
30. handbreedte	.4	4.7	5.5	6.2	.4	5.7	6.4	7.1	.5	6.2	7.1	8.0
31. handlengte	1.1	9.6	11.5	13.5	.8	12.3	13.8	15.4	1.0	14.0	15.8	17.9
32. middelvinger lengte	.5	4.1	5.0	5.9	.4	5.2	5.9	6.7	.5	5.9	6.8	7.7
33. pinkbreedte	.1	.8	.9	1.1	.1	.9	1.0	1.2	.1	.9	1.1	1.3
34. duimbreedte	.1	1.1	1.4	1.6	.1	1.3	1.5	1.7	.1	1.4	1.7	2.0
35. handdikte	.2	1.3	1.7	2.1	.2	1.6	2.0	2.3	.2	1.8	2.2	2.6
36. handdiameter	.4	4.2	4.8	5.5	.4	4.8	5.4	6.2	.4	5.2	6.0	6.8
37. grip omvang	.8	6.1	7.5	9.0	.9	7.6	9.1	10.6	1.1	8.8	10.7	12.9
voet-maten												
31. voetlengte	1.5	13.5	16.3	19.2	1.2	17.7	19.9	22.2	1.4	20.0	22.7	25.6
39. voetbreedte	.6	5.4	6.5	7.7	.5	6.7	7.6	8.7	.6	7.3	8.4	9.6
40. voethoogte	.7	4.9	6.0	7.4	.7	5.8	7.2	8.7	.9	6.5	8.1	9.8

Figuur 6.9 Veertig lichaamsmaten van de Nederlandse kinderopopulatie in 1990, in drie leeftijdsgroepen (Steenbekkers, 1993). Maten in cm en gewicht in kg.



Figuur 6.10 De kindermaten in beeld (Steenbekkers, 1993).

Er zijn eveneens resultaten gepubliceerd van onderzoek naar de lichaamsafmetingen van Nederlanders van 60 tot 100 jaar (Molenbroek et al., 1984, figuur 6.11).



Overzicht meetresultaten van alle gemeten bejaarden (ongeschoeid)

nr	omschrijving	n	\bar{x}	SD	P5	P95
7	gewicht [kg]	815	63,7	14	41,8	87,7
8a	lichaamslengte normaal	609	1571	89	1435	1733
8b	lichaamslengte doorgezakt	261	1579	92	1443	1744
8c	lichaamslengte gestrekt	261	1594	93	1456	1758
9	ooghoogte staand	569	1465	93	1318	1608
10	reikhoogte staand	556	1681	125	1474	1881
11	onderarm lengte tot vingertop	819	442	28	400	492
12	handlengte	818	175	12	156	195
13	handbreedte	820	77	6	67	88
14	schouderbreedte	817	396	32	345	450
17	elleboogbreedte	820	445	50	365	528
18	heupbreedte zittend	818	374	39	316	447
19	zithoogte	817	799	53	713	880
20	hoogte cervicaal 7 zittend	815	591	44	517	660
21	rugleuning tot cervicaal 7	818	80	28	37	127
22	rugleuning tot sacrum	797	26	22	1	71
23	schouderhoogte zittend	821	554	42	486	620
24	ooghoogte zittend	811	694	57	593	787
25	buikdiepte zittend	819	316	43	251	388
26	reikhoogte zittend	413	973	123	740	1157
27	elleboog-zitvlakhoogte	807	218	34	150	275
28	dijbeendikte	820	121	18	92	150
29	zitdiepte	820	489	34	433	545
30	zittinghoogte	816	421	35	364	482
31	hakhoogte	821	36	11	20	53
32a	vuisthoogte staand	582	705	50	622	789
32b	palmhoogte staand	273	702	58	611	802
33	knijpkracht [N]	70	100	34	58	161
	leeftijd [jaren]	822	81,3	8	66,5	94,0

Toelichting: in dit overzicht zijn alle leeftijden en beide geslachten samengenomen.

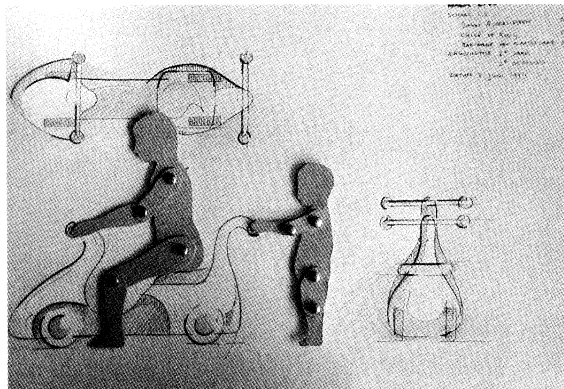
Figuur 6.11 Antropometrie van Nederlandse bejaarden (Molenbroek et al, 1984). Maten in mm.

De metingen werden uitgevoerd bij inwoners van Haagse bejaardentehuizen. Die steekproef is eigenlijk niet representatief, want de bewoners van tehuizen (< 15%) zullen waarschijnlijk minder gezond en mobiel zijn dan de gemiddelde bevolking van die leeftijd. Toch zullen deze data beter voorspellen voor ouderen dan de data uit de Dined-tabel. Pas in 1998 verscheen (Steenbekkers en Van Beijsterveldt eds.) een nationaal overzicht van kenmerken, o.m. anatomische, en capaciteiten van ouderen.

De ontwerper kan met behulp van deze data, mits voorzichtig geïnterpreteerd en toegepast bij ontwerpen, zorg dragen voor een goede aansluiting van het product op de lichaamsafmetingen van de Nederlandse gebruikerspopulatie.

Mannikins

Een mannikin (van mannequin, en dat weer van manneke) is een schaalmodel, dat wat afmetingen en verhoudingen betreft op een mens lijkt. Een ander kenmerk van mannikins is dat ze verschillende houdingen kunnen aannemen. 2D-mannikins worden meestal gemaakt van karton, en de ledematen worden bijeengehouden door splitpennen. Deze 2D-mannikins zijn erg handig voor het snel beoordelen van producten die in aanzicht zijn getekend (figuur 6.12). Dit geldt zeker bij producten waar met beweging van de gebruiker rekening moet worden gehouden. Een mannikin kan makkelijk en snel zelf gemaakt worden en is vaak opnieuw te gebruiken. Bij het maken moet men wel opletten dat de data worden genomen van de gewenste proportionering en leeftijd, het juiste geslacht en het beoogde percentiel van de doelgroep. Een standaard schaal is 1:10, waarbij een gemiddelde volwassen vrouwelijk mannikin 16,5 centimeter hoog wordt. Ook schaal 1:5 kan worden gebruikt (gemiddelde vrouw 33 cm hoog). Mannikins worden meestal in zijaanzicht gebruikt, maar kunnen naar gelang het product ook in voor- of bovenaanzicht gemaakt worden. Een mannikin kan in alle standen worden gezet, maar dat heeft ook nadelen: bij de beoordeling van een product moet er voor gewaakt worden dat er geen onmogelijke gewrichtsstanden en onjuiste houdingen optreden. Er bestaan ook sjablonen waar snel mensfiguren mee getekend kunnen



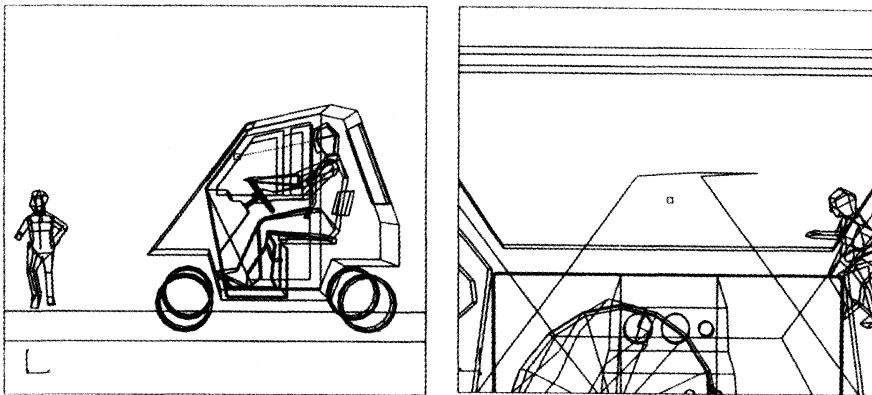
Figuur 6.12. Het beoordelen van een product met behulp van 2D-mannikins.

worden (de Bosch mallen, Jenner et al., 1978). Deze hebben dezelfde functie als de mannikins, maar ze zijn slechts in bepaalde maten verkrijgbaar.

Computer Aided Design

Het ligt voor de hand de antropometrische data in elektronische data-banken op te slaan om mannikins in 3D te kunnen visualiseren en te manipuleren op een beeldscherm. Voor ontwerpers wordt de toepassing van een dergelijk systeem pas interessant, als men het mannikin in de computer ook van een product kan voorzien. Vooral het beoordelen van geometrische aspecten van meubilair, cabines, voertuigen en bedieningsonderdelen kan zo veel beter gebeuren. Men kan eenvoudig in alle dimensies tegelijk nagaan of zowel lange als korte mensen passen, of verschillende houdingen mogelijk zijn en of iedereen overal bij kan. Aan de hand van de bevindingen kunnen òf het ontwerp òf de gebruikersgroep worden bijgesteld.

Er zijn verschillende van zulke programma's te koop, waarvan sommige zijn gericht op een verantwoorde benadering van de juiste menselijke afmetingen en verhoudingen (zoals ADAPS), terwijl andere voornamelijk zijn bedoeld voor aardige visualisatie (zoals het programma Mannequin van Humancad[®]). In Nederland is er een PC-versie verkrijgbaar van het programma ADAPS (Anthropometric Design Assessment Program System, Hoekstra 1993). In dit programma kan ook het blikveld van het mannikin zichtbaar worden gemaakt, zodat men ziet wat het mannikin 'ziet' (figuur 6.13). Dat is bijvoorbeeld bijzonder handig voor het simuleren en beoordelen van het zicht vanuit voertuigen of stuurcabines.



Figuur 6.13 Een voorbeeld van de toepassing van ADAPS. Enscenering van een volwassen vrouw in een Arola wagen. Het blikveld van de vrouw maakt rechts duidelijk hoe het uitzicht vanaf de bestuurdersplaats is.

Ontwikkelingsfase modellen versus data

Op dit moment zijn er voldoende antropometrische modellen die ontwerpers goed kunnen gebruiken bij hun werk. De ontwikkeling van die modellen gaat nog steeds

door, vooral op computergebied. Daar staat tegenover dat de data, die voor de modellen worden gebruikt, echter nog lang niet voldoende zijn om ontwerpers van alle gewenste gegevens te voorzien, laat staan dat ze volledig zijn. In ons eigen land zijn vooral de leeftijdsgroepen boven de 12 jaar nog te weinig onderzocht en ook van de antropometrische verscheidenheid van volkeren op de wereld is nog niet voldoende bekend. Het ego-type van het ontwerpen ziet men daar terug in enigszins andere vorm, namelijk bij ontwerpers die naar landgenoten kijken terwijl ze ontwerpen voor het buitenland. Dan gebeurt het dat de cockpit van een in Nederland gebouwd vliegtuig pedalen heeft waar de Filippijnse piloten niet goed bij kunnen. Dat is beslist erger dan het gegeven dat een gemiddelde Nederlandse 20-jarige niet rechtop kan staan in de stadsbus van Sjanghai. Vele gebruikersgroepen kunnen dus nog niet precies genoeg worden getypeerd en gemodelleerd. Computerprogramma's genereren echter al zulke mooie plaatjes dat het lijkt alsof de werkelijkheid gepresenteerd wordt. Bij het gebruik van antropometrische CAD-systemen dient de ontwerper zich daarom altijd kritisch af te vragen, of de data die daar in zitten juist zijn, en of ze toepasbaar zijn op de beoogde gebruikersgroep en gebruikssituatie. Ook de ontwerper wordt immers gemakkelijk beïnvloed door de algemeen gangbare stereotype gedachte, dat iedereen eigenlijk gelijk is, en dat passingsproblemen bij gebruikers wel meevallen. Maar menselijke lichamen zijn nu eenmaal niet allemaal overeenkomstig gebouwd.

Antropometrisch gezien is er nog veel ruimte voor innovatie en verbetering van productkwaliteit. Daarvoor is antropometrische kennis onontbeerlijk. Hierna wordt daarom behandeld welke factoren er voor zorgen dat gebruikers in antropometrisch opzicht allen uniek zijn, wat de invloed van die factoren precies is, en hoe men deze kennis, al redenerend, passend en metend, bij het ontwerpen kan gebruiken.

6.3 Bronnen van lichaams-variatie

Ontwerprelevantie

In de productergonomie wordt gekeken naar de verscheidenheid van productgebruikers. Dat wordt niet zozeer gedaan uit biologische belangstelling, maar om later een goed product te kunnen ontwerpen. Het voornaamste doel is hierbij om de interactie tussen mens en product zo nuttig, efficiënt, comfortabel en veilig mogelijk te laten verlopen, zoals bij de ontwerptypen in hoofdstuk 4 'De ontwerpuitdaging door de menselijke verscheidenheid' reeds is behandeld.

De verscheidenheid van lichaamsvormen is daarbij alleen interessant, voor zover die lichaamsdelen contact hebben met producten of voor zover lichaamsdelen op indirecte wijze van belang zijn bij de interactie ermee, en voor zover de variantie daarvan in de beoogde gebruikersgroep speciale ontwerpbeslissingen vereist. Bij de drie laatste delen van dit hoofdstuk (6.4, 6.5 en 6.6), waar het ontwerpen van 'cabins, supports en outfits' aan de orde komt, zal dit worden geïllustreerd. De spreiding in de bevolking van de breedte van de wijsvingertop is voor het ontwerpen van een stoel niet erg relevant, maar zeker wel voor het ontwerpen van

handschoenmaten of van toetsen op een tekstverwerker. Die spreiding is onder andere genetisch bepaald, maar dit biologisch interessante feit is geen noodzakelijke kennis bij de ontwerpafwegingen.

Er zijn factoren van antropometrische variantie, waarmee rekening dient te worden gehouden bij zeer vele ontwerpen. Dat betreft de factoren: leeftijd, sexe, lichaamshouding en lichaamsbouw. Dit zijn dus de gegevens van de gebruikersdoelgroep die ten minste globaal bekend moeten zijn. Voor nauw omsluitende producten, zoals kleding of beschermingsmiddelen, is dat evident.

Er is een tweede groep van relevante factoren, die de maat-beslissingen bij ontwerpen nogal eens beïnvloeden, maar minder vaak dan de eerste groep. Tot die tweede groep behoren: kleding, etmaalsritme, lateraliteit (linker- of rechterzijde van het lichaam) en willekeurige bewegingen.

En dan is er nog een derde groep van factoren die niet altijd ontwerprelevant zijn, maar waarvan het wel belangrijk is ze globaal te kennen. Dit zijn etniciteit, secularisatie, gezondheid en leefwijze.

Alle genoemde factoren worden hierna per groep behandeld.

Factoren van primaire ontwerprelevantie

Leeftijd

Zoals in de tabel van figuur 6.9 te zien is en zoals trouwens algemeen bekend is, worden menselijke lichaamsmaten van zuigeling tot volwassene steeds groter. Bovendien verandert daarbij de proportionering.

De hoogte van het hoofd neemt bij kinderen een groter percentage van de totale lichaamslengte in dan bij volwassenen, bij beenlengte is dat juist andersom. Die veranderingen van proporties zijn in figuur 6.14 te zien. Indien een antropometrische maat tegen de leeftijd wordt uitgezet, bijvoorbeeld als gemiddelde waarde per leeftijdsjaar, ontstaat een groeikromme. In figuur 6.15 staat die groeicurve voor de totale lichaamslengte. Daaruit kan worden afgelezen dat de groei merkbaar is tot ongeveer 20 jaar; dat de groeisnelheid gedurende de eerste levensjaren het grootst is; dat er ook een groeispurt is in de puberteit; dat er verschillen zijn tussen jongens en meisjes in gemiddelde waarden, zowel tijdens de groei als bij volwassenheid.

Het biologische optimum wordt in vele anatomische en fysiologische aspecten bereikt rond het 28ste levensjaar. De ontwikkeling staat daarna gewoonlijk stil tot het 40ste à 50ste levensjaar, waarna de verschillende lichaamsfuncties heel langzaam achteruit gaan. Bij het ouder worden neemt ook de lichaamslengte wat af. Dit heeft een aantal oorzaken. De tussenwervelschijven worden dan dunner, de voetboog zakt in en de lichaamshouding wordt meer voorovergebogen. Dat resulteert in enkele centimeters verschil, die van de gemiddelde volwassen lichaamslengte af gaan. En dat terwijl de jongvolwassen lichaamslengte van de huidige ouderen ook al enige centimeters kleiner was dan die van de jongere generatie nu is. Door de asymptotische uitlopers van de normaalverdeling (zie 4.1

'De normaalverdeling') kan men echter verwachten dat er toch ook enkele tachtigjarigen zijn die groter zijn dan een aantal twintigjarigen en dat er enkele tienjarigen voorkomen die kleiner zijn dan zesjarigen. Het bepalen van een antropometrische maat van een gebruikersgroep aan de hand van leeftijd alleen kan dus zeer onnauwkeurig zijn.

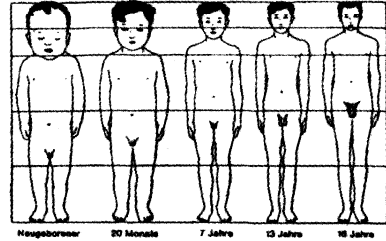
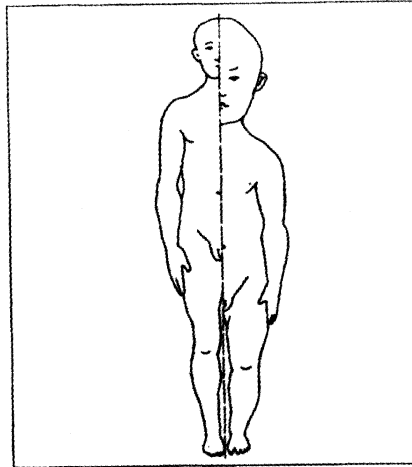
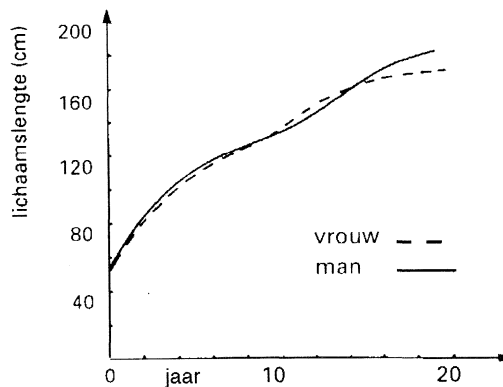


Abbildung 21a: Die Verschiebung der Körperproportionen vom Neugeborenen bis zum Erwachsenen. Es wird deutlich, daß der Anteil des Kopfes mit zunehmendem Alter abnimmt, während die Extremitäten in gleichem Sinne anteilig länger werden.

Abbildung 21b: Die Gegenüberstellung eines Neugeborenen und eines Erwachsenen läßt die Unterschiedlichkeit ihrer Proportionierung besonders hervortreten.

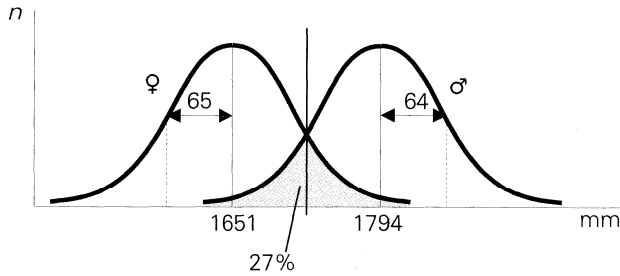
Figuur 6.14 De verandering in lichaamsproportie van kind tot volwassene (Braunfels et al., 1973).



Figuur 6.15 Groeikrommen van vrouwen en mannen.

Sexe

Bij de groeikromme van de totale lichaamslengte vielen al enige verschillen op tussen mannen en vrouwen. Bij volwassenen zijn er natuurlijk lichamelijke verschillen die een functie hebben bij de voortplanting (genitaal, bekken, spier- en vetverdeling). Die verschillen worden belangrijk bij het ontwerpen van bijvoorbeeld kleding, hygiëne-hulpmiddelen en medische apparatuur. In de Dined-tabel zijn er duidelijke verschillen tussen de gemiddelde waarden voor mannen en vrouwen. Wat men in de tabel niet kan zien, is de grote overlap van de twee



Figuur 6.16 Lichaamslengten van volwassen Nederlandse vrouwen en mannen met 27% oppervlakte-gemeenschappelijkheid: overlap.

geïllustreerd is in figuur 6.16. Mannen hebben ten opzichte van de romplengte iets langere armen en benen. Belangrijker zijn de gegevens die in de Dined-tabel zijn onderstreept, waar de gemiddelde waarde van vrouwen juist groter is dan van mannen. $\bar{x}_{\text{♀}} > \bar{x}_{\text{♂}}$ geldt bij borstdiepte, heupbreedte staand en zittend, en dijbeenhoogte (vertikale diameter zittend).

Lichaamshouding

In de antropometrische tabellen wordt bij de variabelen gemeld of de meethouding staand, zittend of liggend was. Dat kan centimeters verschil uitmaken (Molenbroek, 1994). Het is duidelijk dat de buikdiepte en heupbreedte bij zitten toenemen ten opzichte van staan en dat bij zitten het dijbeen wordt ingedrukt. Van enige tijd liggen wordt men wat langer, zie hiervoor ook onder 'etmaalsritme'.

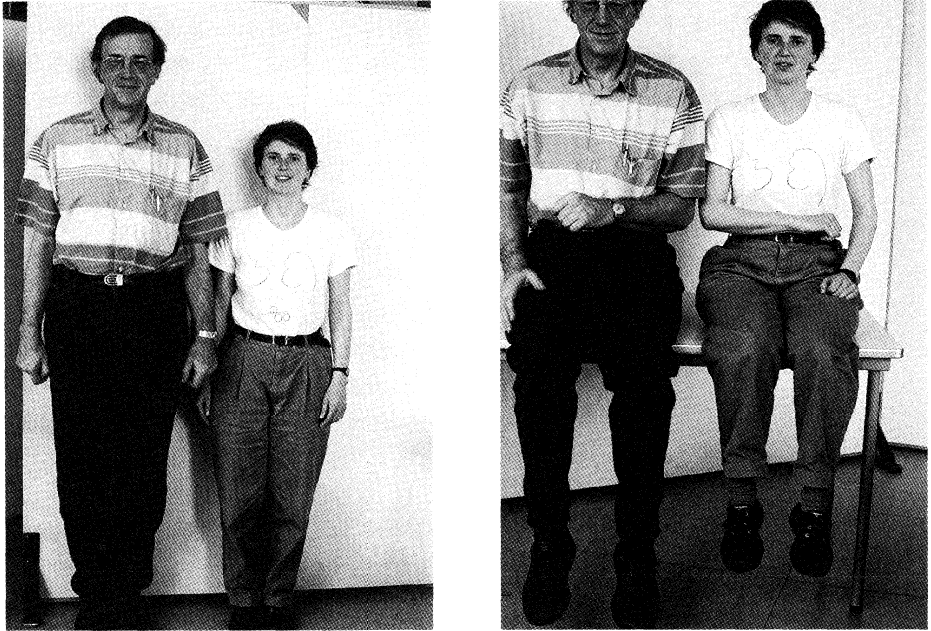
Bij het staan trekt het gewicht van de armen aan de schoudergordel. Als de arm ondersteund wordt, door armsteunen of in liggende houding, kan men verwachten dat schouders, ellebogen en handen wat verder van de voeten verwijderd zijn. Zodra men de biceps (spier in bovenarm die bij aanspannen de elleboog buigt) aanspant, wordt de omvang van de bovenarm vanzelfsprekend groter. Als er maten nodig zijn van een ineen-gehurkte houding, is het niet nauwkeurig genoeg om daarvoor de segmentmaten van de staande lichaamshouding te nemen. Welke tolerantie er in de maatgeving voor gebruik bij bepaalde lichaamshoudingen moet worden aangehouden, hangt uiteraard af van het producttype. Soms kan een centimeter verschil erg oncomfortabel (zadel) of onveilig (noodrem) zijn.

Lichaamsbouw

Op de keper beschouwd is geen enkel individu op dezelfde wijze geproportioneerd als een ander, behoudens wellicht identieke meerlingen. Opmerkelijk is bijvoorbeeld hoe personen van gelijke lichaamslengte kunnen verschillen in de verhouding romp/benen. Sommige langeren blijken bij zitten een relatief lage ooghoogte te hebben wegens een korte romp. Aziaten zijn 'zitreuzen', zij plegen betrekkelijk korte benen te hebben, dus een relatief lange romp. Daardoor kunnen kleineren onder hen bij het zitten toch een vrij hoge ooghoogte hebben. De ooghoogten bij

normaalverdelingen. Bij handbreedte bijvoorbeeld hebben beide verdelingen 58% gemeenschappelijk oppervlak en bij lichaamslengte is die overlap 27%. Dat wil zeggen dat de grootste 13,5% van de vrouwen groter is dan de kleinste 13,5% van de mannen, zoals

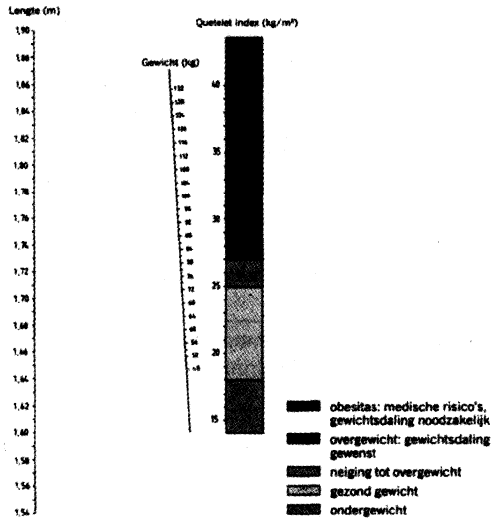
een receptie kunnen dus wel eens heel anders uitvallen dan aan de vergadertafel. Figuur 6.17 laat een ander voorbeeld zien van mensen met verschillende lichaamslengte maar een gelijke andere antropometrische maat.



Figuur 6.17 Lichaamslengte ongelijk, maar ellebooghoogte zittend gelijk.

Opvallender echter, en ook meer doorgedrongen tot de publieke opinie, zijn de verschillen tussen de wat meer 'kogelvormigen' en de wat meer 'staakvormigen'. Dik en rond versus langgerekt en bottig is een lichaamstypologie die grotendeels onafhankelijk is van de absolute lichaamslengte, maar wel samenhangt met het lichaamsgewicht. Die bouw is voor een deel genetisch bepaald en voor een deel afhankelijk van leef- en voedingswijzen en van leeftijd. Om de lengte-gewicht verhouding ook medisch in de gaten te houden (een al te extreme verhouding is immers niet gezond) zijn er vuistregels, zoals: 'het streefgewicht is de lichaamslengte in cm minus 103'. Zo zijn er ook de Quetelet-indices (bedacht door de eerder genoemde Belgische antropometrist uit de vorige eeuw). Veel gebruikt is de $QI = G/L^2$, waarbij de Quetelet Index het gewicht gedeeld door het kwadraat van de lichaamslengte is, met gewicht in kg en lengte in meters. Normale waarden liggen tussen de 20 (relatief licht) en de 25 (relatief zwaar). Zie figuur 6.18. Dergelijke regels houden echter geen rekening met de lichaamsbouw.

In de antropometrie zijn er diverse pogingen ondernomen om de lichaamsbouw onder te brengen in een beperkt aantal typen. De bekendste zijn de typologie van Kretschmer (1940) en die van Sheldon (1954). Deze zijn beide gebaseerd op een driedeling analoog aan de staak, een tussenvorm en de kogel, maar ze hebben exotischer namen. Bij Kretschmer heten ze respectievelijk leptosoom, pyknicus en



Nomogram voor de bepaling van de Quetelet Index (kg/m^2) uit lengte (m) en gewicht (kg). Dr. P. Deuranberg - Landbouwuniversiteit Wageningen.

De QUETELET INDEX wordt internationaal erkend als de meest geschikte maat voor het vaststellen van overgewicht en obesitas.

De Gezondheidsraad adviseerde in 1984 dat behandeling van obesitas pas geïndiceerd is bij een Quetelet Index > 30 . Recente literatuur geeft echter aan dat behandeling ook bij een Quetelet Index > 25 gunstige effecten kan hebben, zeker als deze samen gaat met een abdominale vetverdeling en er sprake is van hypertensie, diabetes of een belaste familie-anamnese voor hart- en vaatziekten.

Figuur 6.18 Quetelet-index; doortrekken van de lijn van lengte via gewicht naar QI-gebied.

beeld de dikkerds samen vaker paren zullen vormen dan op grond van kansrekening valt te verwachten, zodat men bij het ontwerpen van tweezitsoplossingen daarmee rekening moet houden.

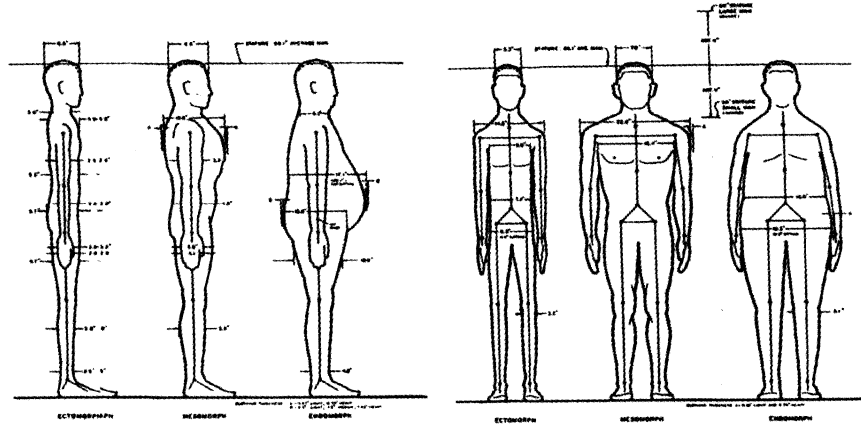
Factoren van secundaire ontwerprelevantie

Kleding (meegedragen objecten)

Kleding is zelf een ontworpen hulpmiddel, maar kan in haar functie van 'tweede huid' belangrijk zijn voor de maatgeving van andere producten. Bij de tabelwaarden van de ontklede antropometrische standaardfiguren dient men bij de lengtematen meestal een hakhoogte van ongeveer 30 mm te tellen. Indien bij het ontwerpen van een doorgang in een schip voor een pool-expeditie geen rekening wordt gehouden met dikke bontjassen en hoofdkappen, kan er zeker iets misgaan. In kleine kruipruimten voor reparatie wordt toch extra volume geëist voor een werkpak of zelfs een instrumentenkist of meegedragen looplamp. De reikwijdte van de armen kan aanzienlijk verkleinen bij het dragen van een strakzittend jak, van een corset of een harnas. Op dit gebied is er echter weinig gestandaardiseerd en weinig onderzocht en staan nauwelijks ontwerptabellen ter beschikking. Het is dus aan de ontwerper om kledingtoeslagen te beredeneren of zelf te onderzoeken (zie

athleet en bij Sheldon respectievelijk ectomorf, mesomorf en endomorf (figuur 6.19). Zij deden pogingen om aan te tonen dat deze lichaamsbouw bijna uitsluitend erfelijk bepaald is, constant is in het leven en bovendien ook nog systematisch samenhangt met karaktertype (gezellige, sociale dikkerd versus teruggetrokken dunnerd). Dit alles is echter nooit wetenschappelijk overtuigend bewezen en deze theoriën worden dan ook nauwelijks meer aangehangen. Dat neemt niet weg dat er natuurlijk wel dikkerds, tussenvormen en dunnerds zijn, en dat men bij meubilair, openbaar vervoer en andere producten daar rekening mee dient te houden. Dikke bovenarmen gaan echter niet geheid samen met dikke dijbenen en iemand met grote buikomvang kan soms een kleine valhelm passen.

Interessant is de vraag of bijvoor-



Figuur 6.19 Lichaamstypen ingedeeld volgens Sheldon (1954): ectomorf, mesomorf en endomorf. Deze indeling is een aardige indicatie van bestaande variëteit, doch de typen zijn abstracte modellen/denktuigen.

ook 7.6 ‘Het ontwerpen van persoonlijke uitrusting (vervolg)’).

Etmaalsritme

Een groot deel van onze lichaamslengte wordt bepaald door de lengte van onze wervelkolom. De zwaartekracht drukt bij een verticale romp de tussenwervelschijven langzaam verder samen. Vooral bij jeugdigen en jongvolwassenen kan dan geconstateerd worden dat zij bij het opstaan enkele (2 à 3) centimeters langer zijn dan bij het slapen gaan. Van enige tijd liggen wordt men dus weer wat langer. Deze verlengings-tactiek is wel eens toegepast door lange jongens die voor militaire dienst wilden worden afgekeurd, maar daarvoor net een centimeter te kort waren. Ze bleven lange tijd op bed liggen tot ze twee meter of langer maten. Daarna lieten ze zich liggend naar de keuring vervoeren, om aldaar afgekeurd te worden op lengte. Astronauten verlengen wel 5 cm tijdens de vlucht, wat een ruim pak vergt.

Bij ouderen neemt de elasticiteit van de tussenwervelschijven af en is het effect van het etmaalsritme op de lichaamslengte dus minder. Achteruitkijkspiegels in een autocabine zal men niet alleen wegens de inter-individuele variantie, maar ook vanwege de intra-individuele variantie (verandering bij dezelfde persoon, in dit geval binnen enige uren) makkelijk kantelbaar moeten maken.

Lateraliteit

Lateraliteit is de ongelijkheid van de linker- en de rechterhelft van het lichaam en daarmee gepaard gaande afwijkingen in waarneming en beleving. Antropometrisch bezien is het lichaam symmetrisch aan beide zijden van het sagittale vlak. Voor de interne organen is dat niet steeds zo (bijvoorbeeld de darmen) en bij analyse van de functies van organen kan vaak een groot verschil worden aangetroffen; men denke aan de twee hersenhelften (figuur 3.14). Toch blijkt bij gedetailleerdere antropo-

metrische metingen dat er ook wel maatverschillen zijn tussen linker en rechter ledematen. We kennen de rechtshandigheid als aanduiding van motorische voorkeur, of van meer vaardigheid of meer kracht. Voor de statische antropometrie geldt dat de meest gebruikte hand iets breder is, maar de meest gebruikte arm hoeft niet langer te zijn. De lengten van armen en benen vertonen echter gewoonlijk links en rechts verschillen van 0,5 tot 1,5 cm. De lateraliteit van handigheid en gebruiksvoorkeuren vormen echter vaker een ontwerpprobleem dan de lateraliteit van de lichaamsafmetingen. De maattolerantie voor lateraliteit is bij handschoenen en schoeisel redelijk eenvoudig te realiseren. Bij scharen echter zal men voor ongeveer 5 à 10% van de populatie ook linkshandige varianten moeten ontwerpen.

Willekeurige bewegingen

De lichaamshouding is al bij de primaire groep van factoren genoemd en de verandering van houding is daar tot op zekere hoogte bij inbegrepen. Naarmate een ontwerp nauwer omsluit, zal nauwkeuriger moeten worden gelet op de toleranties voor bewegen. Bij kleding moet er speling zijn voor zwaaien van armen, aanspannen van spieren, draaien en buigen van de romp; in een stoel moet men zich kunnen strekken of uitrekken; een gang moet minstens ruimte geven voor het zwaaien van de romp bij normaal lopen. Indien in een ontwerp ook bewegingen moeten worden vastgelegd voor bedienende of ondersteunende lichaamsdelen, dient bij de dynamische antropometrie (hoofdstuk 7) te rade worden gegaan. Bijvoorbeeld voor de afstand tussen fietstrapper en zadel, of de plaats en standen van een versnellingspook in de auto.

Overige ontwerprelevante factoren

Etniciteit

Op de aarde leven diverse volkeren, die in uiterlijk enigszins verschillen. Er zijn drie grote etnische groepen, Negroïden, Mongoloïden en Indo-Europeanen, die soms abusievelijk als 'rassen' worden aangeduid. Zij vertonen fysiologisch nauwelijks verschillen. Binnen elk van die drie groepen zijn er volkeren met relatief hoge antropometrische gemiddelden en met relatief lage. Bij de negroïden is er bijvoorbeeld verschil in lengte tussen de lange Nilotiden en de korte Bosjesmannen; bij de Indo-Europeanen zijn er de lange Nederlanders en Skandinaviërs en de korte Zuid-Indiërs. Voor het ontwerpen zijn de maatverschillen tussen landen en regio's van belang indien de betrokken producten voor de export bestemd zijn. De verschillen tussen Friezen, randstedelingen en Limburgers zijn te verwaarlozen, maar die tussen bijvoorbeeld Nederlanders en Mediterraneanen (mensen rond de Middellandse Zee) of Japanners kunnen wel terdege van belang zijn. De Nederlandse bevolking behoort gemiddeld tot, en is zelfs zeer waarschijnlijk, de langste ter wereld (Nederlandse 21-jarigen $\bar{x}_\sigma = 184$, $\bar{x}_\sigma = 170,6$ cm; Wit, 1998). Het gaat bij etniciteit niet alleen om de totale lichaamslengte, maar afhankelijk van het ontwerp kunnen vele andere verschillen van belang zijn, zoals schedelvorm,

relatieve beenlengte of vrouwelijke bekkenbreedte. Zoals reeds eerder vermeld, hebben Japanners relatief korte benen en een lang bovenlichaam in vergelijking tot ‘westerlingen’. Niet alleen uit export-overwegingen, maar ook door nog steeds groeiende migratie en toerisme, zal er rekening gehouden moeten worden met de factor etniciteit bij het vastleggen van de maten van producten. Ons land kent een vijf procent inwoners die zelf, of van wie de (groot)ouders, van buiten Europa komen. Zij doen de antropometrische spreiding toenemen, vooral in de lagere percentielen. Daarbij dient niet vergeten te worden dat het gaat om normaal-verdelingen, die grotendeels overlappen. Een figuur zoals 6.16 zou bij benadering ook wel een die van Marokkaanse versus Nederlandse volwassen mannen kunnen zijn.

Secularisatie

Seculair betekent letterlijk honderdjarig, maar wordt ook gebruikt in de betekenissen ‘pas na lange tijd waarneembaar’ en ‘altijd in dezelfde richting toenemend’ (de laatste betekenis wordt gebruikt in de astronomie). Door de toename in welvaart en gezondheid, neemt de gemiddelde lichaamslengte iets toe met iedere nieuwe generatie. Nederlandse volwassen mannen waren een drie eeuwen geleden gemiddeld minder dan 1,70 m lang en nu zijn de 21-jarigen gemiddeld ruim boven de 1,80 m. Vooral na de tweede wereldoorlog is het effect van secularisatie vrij sterk geweest. De erfelijk bepaalde groeipotentie kan sinds die tijd beter worden benut door betere omstandigheden (voeding, huisvesting en medische verzorging). Het ziet er echter naar uit dat het effect in Nederland op dit moment afvlakt en slechts een 12 tot 14 mm per 10 jaar is. Dat is maar goed ook, want – gedachtig de schaalwetten – worden bij een lengte boven de 2 m knie- en enkelgewrichten ongezond zwaar belast. Bij het ontwikkelen van producten die een halve eeuw ‘moeten meegaan, is het bij kritische maten toch verstandig wat hogere huidige percentielen te kiezen (bijvoorbeeld P_{98} in plaats van P_{94}), om rekening te houden met eventuele verdere secularisatie. Het komt echter veel vaker voor dat bij het ontwerp de verschillen tussen generaties van huidige gebruikers van belang zijn. Zo zijn nu de 20-jarige mannen gemiddeld wel 17 cm langer dan 80-jarigen. Men kan dus proberen in te schatten hoe een voor een bepaald product beoogde gebruikerspopulatie zal zijn samengesteld, door de proporties van verschillende generaties en de proporties van mannen en vrouwen te schatten. De spreidingen en ontwerptypen dient men dan navenant te bepalen.

Gezondheid

Ziekte en fysieke handicaps kunnen grote veranderingen in lichaamsafmetingen of afwijkingen in lichaamsvormen veroorzaken. Bij het ontwerpen van materiële functievervullers voor zieke of gehandicapte mensen, worden aan de antropometrische maatvoering andere en vaak nauwkeuriger eisen gesteld. Het productgebruik wordt dan veelal gekenmerkt door langduriger, onmisbaarder interactie waarbij discomfort bijzonder ongewenst is, maar juist snel wordt opgemerkt. Dit

kan soms tot andere ontwerpbesluiten leiden. Deze gebruikerspopulaties zijn elk echter klein en specifiek. Er zijn weinig antropometrische gegevens bekend van zieken of gehandicapten, dus de ontwerper zal ze vaak zelf moeten meten. Ontwerpen voor gehandicapten neigen soms noodgedwongen naar individueel maatwerk of complexe in- en verstelbaarheid.

Leefwijze

Deze laatste factor voor ontwerprelevante antropometrische variantie vormt een soort restcategorie, waarin verschillende aspecten kunnen worden opgenomen. Indien bijvoorbeeld de beroepsgroepen met zeer uiteenlopende fysieke activiteiten daarbij worden inbegrepen, dan is het evident dat jockeys die professioneel paardrijden een andere lichaamsvorm hebben dan verhuizers. Er zijn verschillen in voeding en verzorging (figuur 6.20) die voor jeugdigen en volwassenen, of generaties of volkeren, antropometrische effecten hebben. Personen kunnen echter ook aanmerkelijk uiteenlopen in lenigheid, kracht, vaardigheid, uithoudingsvermogen, en dat op basis van een bepaalde leefwijze en dat kan bij ontwerpen de antropometrische keuze mede bepalen.



Figuur 6.20 Een moeder en haar zoon met een tweeling op schoot, in India. Ze bezoeken een kliniek. De aandacht is gericht op het jongetje, het meisje wordt genegeerd. Vanaf de geboorte is het jongetje altijd als eerste verzorgd en (op)gevoed (foto van UNICEF, uit Hrdy, 1990).

6.4 Ontwerpen van kleine verblijfsruimten (cabins)

Omschrijving van het type product

In 5.2 werd een zedeling van fysieke ondersteunende producten gegeven met een korte omschrijving van elk type product. Bij de 'cabins' werd als functie genoemd: 'het enige tijd beschermd verblijven' en er werden voorbeelden genoemd, variërend van cockpit tot tent enabri (wachthuisje). Cabins kunnen worden opgevat als producten die zich tussen enerzijds gebouwen of kamers en anderzijds kleding bevinden, wat functies en afmetingen betreft. Cabins worden eveneens gebruikt bij transport (lift, autocabine). Een andere functie is het beschermen van de mens tegen de omgeving (iglo) of van de omgeving tegen de mens (isoleer- of quarantaine cel).

De afscherming kan fysiek-materieel zijn en bestaan uit wanden, bijvoorbeeld uit steen of staal (toilet, duikerklok), of van transparant materiaal (couveuse). De afscherming kan dus ook selectief zijn, waardoor bijvoorbeeld temperatuur en geluid niet doorgelaten worden, maar licht wél, zodat men door de afscherming heen kan kijken. De afscherming kan eventueel ook minder materieel zijn. Half-hoge schotten, verlichting, of grafische tekens (strepen op vloer voor loket en dergelijke) kunnen ook aangeven dat het gaat om een werk- of verblijfsgebied van een persoon, en dus om een 'territoire' dat niet zonder meer door een ander mag worden betreden.

Functionele ontwerpparameters

Naast de verschillende functies van cabines, zoals voornoemd, zijn er enkele andere belangrijke factoren (of functionele parameters), die invloed kunnen hebben op het ontwerp. Dat zijn:

- Verblifsduur

Er is meestal sprake van verschillen in verblifsduur en in die gevallen is de frequentie-verdeling van de verblifsduren van belang. Er wordt geadviseerd de lange verblifstijden als uitgangspunt te nemen om het ontwerp op af te stemmen. Als een telefoonceel na een kwartier nog comfortabel is, dan is dat zéker het geval na vijf minuten. Het is echter de vraag of die cel ook na 30 minuten nog comfortabel moet zijn.

- Aantal personen

De tent kan voor één of meer personen zijn en de lift heeft altijd genoeg ruimte voor meer dan één persoon. De gewenste mensen-capaciteit beïnvloedt uiteraard de afmetingen van de cabine.

- Lichaamshouding

In eenabri wordt zowel gestaan als gezeten, in de lift wordt meestal alleen gestaan, in een tochtsluis wordt vooral gelopen, en in de reparatieruimte binnen een machine wordt er misschien gehangen en gekropen.

- Activiteit

Indien er slechts kortdurend en rustig gestaan wordt in een cabine (bijvoorbeeld een lift), is de maatgeving eenvoudiger dan wanneer gedurende een langere periode allerlei handelingen met reiken en bewegen erin moeten plaatsvinden (zoals in een drukcabine voor hartoperaties). Bij sommige, meer gesloten systemen zal het omgevings-probleem van extra ventilatie, temperatuursregulatie en zuurstof-toevoer, nodig voor het actief bezig zijn, het ontwerp dus kunnen compliceren.

- Toegankelijkheid

Bij het betreden of verlaten van de cabine wordt op de een of andere wijze een fysieke afscherming verbroken of een barrière gepasseerd. Soms is het vereist die opening zo klein mogelijk te houden of zo kort mogelijk open te laten staan. Een doorgangsluikje ofwel 'mangat' moet afgestemd zijn op de grootste gebruiker met zijn kleding en met zijn mogelijksterwijs meegedragen extra's, zoals instrumenten of zelfs een trapje of koffer.

- Oriëntatie

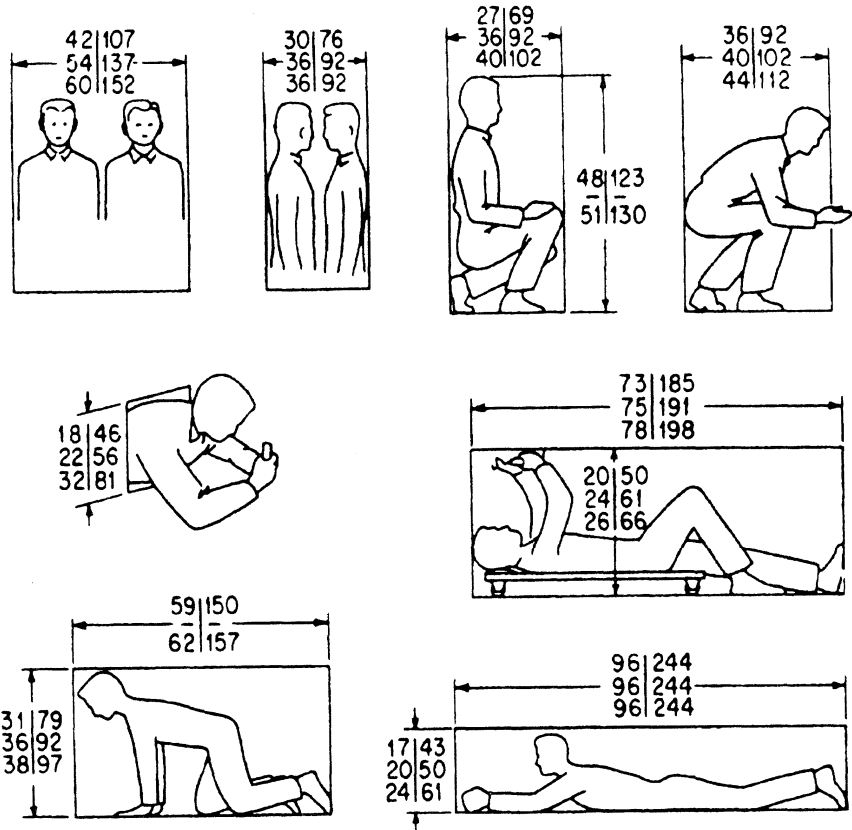
Het verblijf in afgesloten ruimten maakt sommige mensen angstig. Dit verschijnsel heet claustrofobie. Het komt voor in verschillende gradaties. Hoewel niet iedereen die er last van heeft daarvoor uitkomt, is het verschijnsel algemeen genoeg om er bij het ontwerpen rekening mee te houden. Markering van de uitgang en visueel contact met de omgeving kunnen de angst verminderen. Dat laatste kan door middel van een raam, een t.v.-circuit of door het aangeven van eventuele beweging met bijvoorbeeld lichtsignalen, zoals lampjes in de lift die aangeven dat men stijgt of daalt of op welke verdieping men is.

Antropometrische enveloppen

Met de term 'enveloppen' worden hier niet de producten voor postverzending, noch kleding voor mensen bedoeld. De imaginaire doos die de bewegingsruimte rond mensen omhult, wordt als enveloppe aangeduid. Deze kan gebruikt worden om te bepalen hoeveel ruimte iemand in een cabine nodig heeft. Hiervan worden voorbeelden gegeven in figuur 6.21.

Hoeveel sta-ruimte men per persoon in een lift nodig heeft, wordt bijvoorbeeld gevonden door van de volwassen populatie de $P_{99,9}$ te berekenen van lichaams-lengte, schouderbreedte en borstdiepte en door vervolgens daaromheen nog enige kleding- en bewegingsruimte als toeslag te geven. Dat hoeft uiteraard niet de maximale bewegings-enveloppe te zijn, want zoveel wordt er niet bewogen in een lift.

Bij zitten in het openbaar vervoer kan het de opgave zijn om maximaal met ruimte te woekeren, zodat er zo veel mogelijk passagiers in bijvoorbeeld een vliegtuig gaan. Vliegtuigstoelen zijn weliswaar geen cabines in eigenlijke zin, maar wel krappe verblijfsruimten, waarin gerust, gelezen en gegeten moet worden. Daardoor vallen ze binnen onze omschrijving van 'cabins'. De ruimte boven de knieën wordt meestal voor een deel ingenomen door de achteroverhellende rugleuning van de



Figuur 6.21 De benodigde ruimte die Amerikanen in bepaalde houdingen nodig hebben om te kunnen werken of passeren. De drie getallen die gegeven worden zijn, van boven naar beneden, minimale ruimte, beste ruimte (met normale kleding), en met dikke kleding aan (zoals poolkleding). Inches/cm, uit Sanders en McCormick (1993).

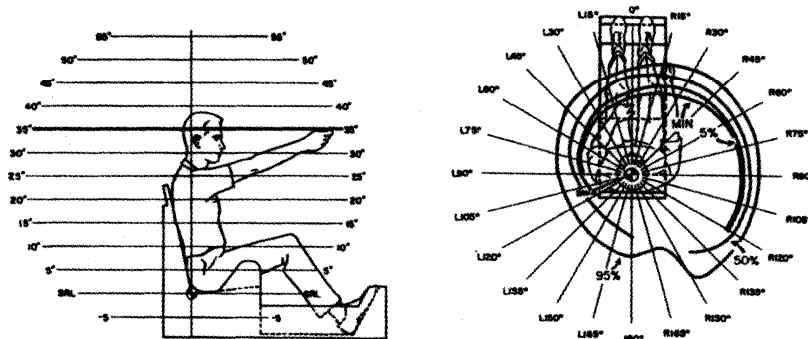
stoel ervoor. De afstand van stoel tot stoel in de X-richting wordt de 'steek' genoemd.

Het minimaliseren van de ruimte kan ook doelstelling zijn bij het bepalen van kleine doorgangen, kruipruimten, reparatiehoeken achter machine-panelen en dergelijke. De problematiek is analoog bij het dimensioneren van een ruimte waar een hand in moet passen om bepaalde handelingen te kunnen uitvoeren.

In veel gevallen is de doelstelling echter niet om de ruimte-nood op te lossen, maar om een efficiënte ruimte te ontwerpen, waarbinnen men comfortabel dingen kan aanraken, oppakken of neerzetten. Men denke weer aan de vliegtuigcockpit met de vele te bedienen schakelaars en hendels (zie figuren 2.8 en 5.5). Een ander voorbeeld is een assemblage-werkplek waar, boven een werkvlak, dozijnen bakjes met onderdeeljes amfitheater-gewijs zijn gegroepeerd, zó dat ze bereikbaar en overzichtelijk zijn. Een derde voorbeeld is de plaatsing van muziekinstrumenten rond een slagwerker.

Reikwijdte-enveloppen

Om het bereik van de gebruiker te bepalen, wordt gebruik gemaakt van reikwijdte-enveloppen. In een boven- of zijaanzicht van het zittende (of soms ook staande) lichaam wordt aangegeven wat het maximale bereik is van de handen, gemeten in een bepaald vlak. De plaats van dit horizontale of verticale vlak wordt meestal bepaald ten opzichte van het 'zitreferentie-punt' (Engels: Seat Reference Point), dat wordt gedefiniëerd als het punt in het sagittale vlak op de snijlijn van rugvlak en zitvlak. Er ontstaat per horizontaal vlak bij benadering een cirkelvormige lijn met het schoudergewricht als middelpunt. Voor een volledig ruimtelijk beeld (figuur 6.22) heeft men dus verschillende horizontale doorsneden nodig, in bovenaanzicht en zijaanzicht. Wegens de inter-individuele variantie dient men de reikwijdte-enveloppe te kennen van mensen met korte armen (bijvoorbeeld P_1 vrouwen wat betreft armlengte en schouderhoogte) en van mensen met lange armen (bijv. P_{99} mannen). Indien het vooroverbuigen van de romp toegestaan is, zal de reikwijdte-enveloppe uiteraard groter worden. Of dat vooroverbuigen inderdaad kan, hangt af van de beschikbare ruimte. Of het niet onaangenaam is voor de gebruiker, zal onder meer afhangen van de handelingen: hoe vaak per tijdseenheid, met welke inspanning, enzovoort. De kassière van de supermarkt moet soms uren achtereen telkens het bovenlichaam draaien en tegelijkertijd vooroverbuigen, om artikelen te verplaatsen en de prijs af te lezen. Er is klaarblijkelijk niet voldoende rekening gehouden met acceptabele reikwijdte-enveloppen. De kassa-werkplek dient beslist ergonomischer te worden ontworpen dan in de huidige situatie vaak het geval is.

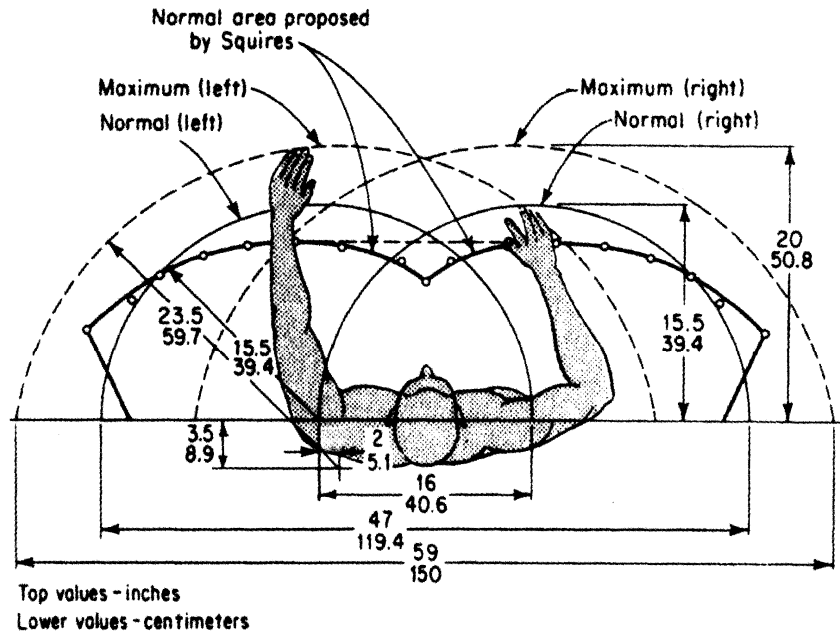


Figuur 6.22 Reikwijdte-enveloppe voor de rechterarm van een zittende man, in een horizontaal vlak 86 cm boven het zitreferentie-punt. In de rechter afbeelding staan de lijnen voor P_{90} , P_{50} en P_5 (maten in inches). Uit Damon et al. (1966).

Staan, zitten en kijken

Omdat in veel situaties er met twee armen afzonderlijk kan of moet worden bereikt, kan de enveloppe symmetrisch worden bepaald, met een overlappend gebied waar beide handen gemakkelijk kunnen komen (fig. 6.23). Meestal is er slechts één werkvlak, namelijk het tafelblad waaraan men zit. In dat geval is één doorsnede

van een reikwijdte-enveloppe voldoende, en wel die op hoogte van het tafelblad. Bij een vlak voor staand werken is men vrijer in de rompbewegingen dan bij zitten. Zelfs bij een eenvoudig bureau met tekstverwerker, schrijfvlak, telefoon, postbakje en laatjes kan men met behulp van reikwijdte-enveloppen overzicht en gemak scheppen.

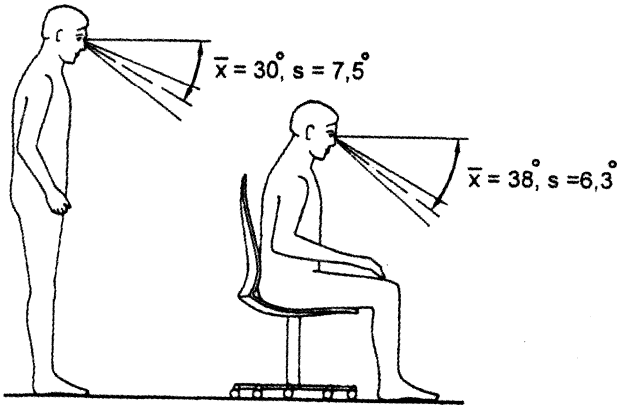


Figuur 6.23 Reikwijdte-enveloppe, twee handen overlappend (Barnes, 1963).

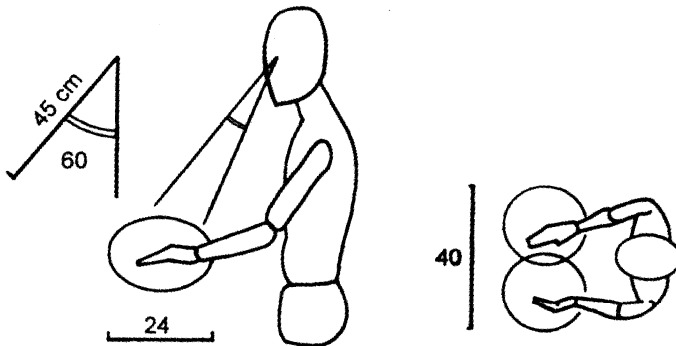
Tot nu toe werd bij de enveloppen alleen geredeneerd vanuit de motoriek en speciaal vanuit de handbewegingen. Zicht houden is over het algemeen eveneens gewenst, zowel op eigen handen als op (onderdelen van) de cabine of op de buitenwereld. De ruimtelijke inrichting van de verblijfsruimte zal ook daarop moeten worden ingesteld. De nek en ogen zijn bewegelijk en lijken niet veel beperkingen op te leggen aan de kijkrichting. Bij langdurig verblijf en/of het frequent uitvoeren van handelingen, zijn een comfortabele stand van hoofd en ogen echter toch zeer belangrijk. Er is een optimaal blikveld, maar daarbij richt de blik zich niet op de handen bij de optimale positie van tweehandig werken. Staand is de optimale blikrichting ongeveer 30° onder de horizontaal, in het sagittale vlak (figuur 6.24). We kijken zo met licht voorovergebogen hoofd naar een punt recht vooruit op de vloer, op een horizontale afstand van ongeveer twee maal de ooghoogte staand. Bij zittend kijken is de optimale bliklijn iets meer naar beneden gericht (gemiddeld 38° , met een standaardafwijking van ruim 6°). Die bliklijn raakt het normale tafelblad op ongeveer 1,5 maal de verticale afstand van oog tot tafelblad.

Het komt er op neer dat voor het goede zicht op eigen handenarbeid de bliklijn nog meer naar beneden gericht moet zijn, tot zelfs 60° onder de horizontaal. Er wordt

soms gesproken van een 'visueel-manipulatieve comfortzone' (VMC). Daarmee wordt de ruimte aangeduid die ontstaat uit een compromis tussen comfortabele handpositie en optimale bliklijn (figuur 6.25).



Figuur 6.24 Optimale bliklijnen bij staan en zitten (Schoberth, 1962).



Figuur 6.25 Visueel-manipulatieve comfortzone (cm).

Bij nauwkeuriger kijken zal de kijkafstand wel eens kleiner moeten zijn en dus wat hoger moeten liggen dan de visueel-manipulatieve comfortzone. Afhankelijk van de handelingen zal het bewegingsgebied kleiner of groter zijn en kunnen de, weliswaar vage, grenzen van het comfort overschreden worden (denk aan pianospel).

6.5 Ontwerpen van middelen voor lichaamsondersteuning (supports)

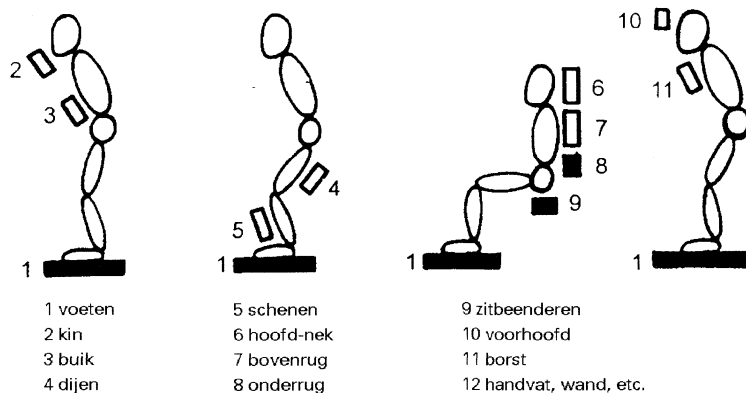
Omschrijving van het type product

Bij 5.2 'Een indeling van fysiek ondersteunende producten' werd gezegd dat 'supports' de functie van het volhouden van een lichaamshouding ondersteunen. Als voorbeelden werden onder meer gegeven een werkstoel, bed, tramlus en wandelstok. Een 'support' is een type product dat een bepaalde stand van het totale

lichaam ondersteunt en eventueel ook onderlinge standen van de segmenten ten opzichte van elkaar. Zoals het skelet de mens intern steunt, steunt de support, als extern skelet, aan de buitenzijde van het lichaam. Het interne skelet heeft spierkracht nodig om te kunnen steunen. Het is nu juist één van de bedoelingen van de externe ondersteuningsmiddelen om de benodigde spieractiviteit laag te houden. De zwaartekracht trekt aan de segment-massa's in een richting die door hun oriëntatie wordt bepaald. Daar kunnen nog andere krachten bijkomen, bijvoorbeeld door megedragen gewichten, of versnellingen in diverse richtingen. Supports leveren de reactiekrachten voor het stabiliseren van het lichaam en het tegengaan van spier-vermoeiing.

Een paar principes zijn evident. Niet alle mogelijke lichaamsoriëntaties, noch alle onderlinge segmenthoeken die mogelijk zijn, blijken even comfortabel of kunnen even lang worden volgehouden. Supports worden gewoonlijk gebruikt voor het ondersteunen van liggende, zittende of staande houding of tussenposities, waarbij het hoofd zich bovenaan bevindt en de voeten onderaan. Hierbij wordt gebruikelijk voorkómen dat segmenten ten opzichte van elkaar moeilijke hoeken maken, waardoor anders spieren en pezen gerekt worden en zo pijn kunnen veroorzaken. Bij ruimtevaart en andere situaties waar zwaartekracht afwezig is, zal de ondersteuningsfunctie uiteraard anders zijn en dient de support vooral voor lokalisatie: het op de plaats blijven.

Segmenten, en dan vooral hun huidplekken en de weefsels tussen huid en botten, verschillen onderling in de mate waarin zij geschikt zijn om enige tijd de krachten die bij ondersteuning optreden op te vangen en door te leiden. In de bijgaande figuur 6.26 wordt een eenvoudig overzicht gegeven van een segmentpop (zonder armen) in enkele standen en van mogelijke ondersteuningsmogelijkheden daarbij. Het overzicht is onvolledig, omdat ondersteuning zoals bed, lage kruk of vasthoud-stang in de bus er niet bij staan. De verbinding van het ondersteuningsvlak met de vaste wereld is in dit schema weggelaten. Men kan in het overzicht ook de pop kantelen en zodoende de oriëntatie van de as tussen voeten en kruin in andere hoeken denken. Dit heeft echter zeker invloed op de mate waarin de



Figuur 6.26 Voorbeelden van ondersteuningsmogelijkheden.

ondersteuning effectief en comfortabel is. In het overzicht staan ongebruikelijke steunvlakken, zoals voorhoofdsteun en kinsteun, die wel eens bij speciale assemblages, operaties, vervoerssituaties of reparaties worden toegepast. Een buiksteun komt wel eens voor bij stoelen voor tandartsen (niet voor de patiënt); een scheensteun vindt men bij zogeheten kniestoelen en bidstoelen. In het zwart staat echter aangegeven welke steunvlakken het meest aan te raden zijn, al dan niet in combinatie met elkaar.

Functionele ontwerpparameters voor supports

Er zijn enkele overeenkomsten tussen de belangrijkste ontwerpparameters van alle typen fysiek ondersteunende producten. Dat hoeft geen verbazing te wekken, omdat het steeds om krachten en contacten bij huid, spier en bot gaat. Er zijn echter ook specifieke verschillen vanwege een andere nadruk bij de functie-ervulling (Burandt, 1978).

- Ondersteuningsduur

Het menselijk lichaam heeft voor korte tijd en onder gewone omstandigheden nauwelijks meer dan enige vloersteun nodig. Ondersteuningsmiddelen welke slechts enkele minuten achtereen worden gebruikt, zijn over het algemeen ergonomisch niet zo kritisch. Voor een kalme busrit van 5 minuten hoeft er nauwelijks aandacht aan comfort te worden besteed, zoals dat zeker wèl moet bij busstoelen voor een ruw traject of voor langdurende tochten.

- Activiteit

Bij vele supports is het de bedoeling het lichaam te ondersteunen terwijl ogen en handen verder werken. Dat werken kan variëren van lezen of breien in een fateuil tot precisiewerk van de horlogemaker of tekenaar. De gedachtenlijn bij het ergonomisch ontwerpen begint het beste bij de visuele en motorische taken: welke houding moet de gebruiker aannemen om optimaal motorisch en visueel te kunnen functioneren? Dan leidt men daar een optimale overige lichaamshouding uit af, en ontwerpt daarbij vervolgens steunvlakken voor bepaalde lichaamsdelen en bepaalde huddelen. Tenslotte komt de detaillering aan de orde: van vorm, grootte, oriëntatie in de ruimte, indrukbaarheid, bewegelijkheid enzovoort.

- Ondersteunde weefsels

Een scheensteun is al spoedig niet prettig en een buiksteun evenmin: bij de eerdergenoemde wordt de huid tussen het steunvlak en het scheenbot geplet, zonder krachtopvang door tussenliggend weefsel. Bij een buiksteun ligt het bot achter allerlei zachte weefsels en organen, zodat het steunvlak op deze zachte weefsels drukt en het functioneren ervan wordt bemoeilijkt. Het ideaal is dus te steunen op huid waaronder zich, na enkele centimeters spier en vet, een breed botoppervlak bevindt. Deze plaats zou idealiter gesteund moeten worden door een ruim contactvlak in de contravorm van de onbelaste huid. Een contravorm

voorkomt verplaatsingen en schuifkrachten in de huid en in overige zachte weefsels. Dat kan echter niet altijd worden verwezenlijkt, bijvoorbeeld wegens de inter-individuele variantie in bilvormen en -afmetingen.

- Motiliteit.

De voornoemde krachten op de weefsels worden in het begin weerstaan door de weefsel-elasticiteit en door spanning in de spieren of pezen. Al snel echter heeft belasting bepaalde effecten, zoals samendrukking of uiteen schuiven van weefsels, afsluiten van bloedvaten, beknellen van zenuwen en het ontstaan van schuifspanningen in de huid. Vooral de verminderingen van vloeistof- of signaalstromen moeten beperkt blijven tot korte tijd. Deze effecten treden altijd op bij iedere langdurig volgehouden houding, zelfs als de ondersteuning adequaat is. Uiteraard zullen de gevolgen heviger en sneller merkbaar zijn bij slechte ondersteuning. Het lichaam reageert op de genoemde effecten door van houding te veranderen. Goed zitten betekent dus regelmatig gaan verzitten, en een goede stoel geeft daar mogelijkheid toe. Bij langer staan heeft deze gezonde bewegingskriebel tot gevolg dat men af en toe de voeten wat verzet en nu en dan van standbeen wisselt. Het handvat van een tramlus, een vasthoud-stang in de bus of een wandelstok worden regelmatig anders vastgepakt. Deze continue beweeglijkheid heet 'motiliteit'. Niet te verwarren met 'mobiliteit', want dat is de mate van verplaatsing of vervoer van het gehele lichaam.'Ijsberen', heen en weer drentelen zoals men dat doet als men ergens staand moet wachten, is een soort tussenvorm. Men zal dus supports zodanig moeten ontwerpen, dat enige wisseling van houding, van spierinzet en contactvlak mogelijk is.

De statisch-antropometrische steun-dimensies

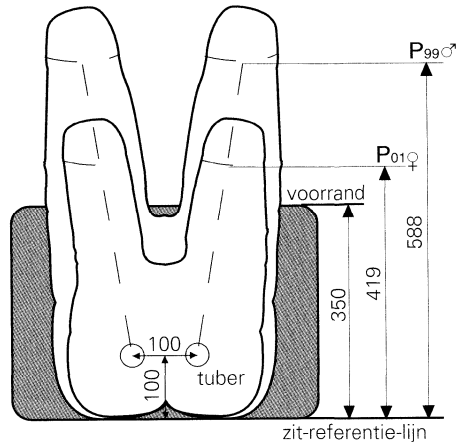
Een matras zal niet alleen door de netto lengte en -breedte van de beligger worden bepaald, maar tevens door de eis dat regelmatig verliggen mogelijk moet zijn, zoals zoëven bij de motiliteit werd besproken. Op een goed bed kan men gemakkelijk verliggen van de ene op de andere zijde, met de armen in verscheidene standen enzovoort. Bij stoelachtige ondersteuning worden de structurele dimensies vanzelfsprekend bepaald door de hoogte, breedte en diepte van het zitvlak en wat men verder aan rugsteun nodig heeft. In hoofdstuk 8 'Passieve krachtopvang' zal verder op de rugsteun worden in gegaan.

De hoogte van het zitvlak wordt zowel bepaald door de vereiste positie van handen en ogen in verband met de uit te voeren activiteiten, als door de heup- en kniehoek die gekozen worden. Bij fauteuils worden er door het ontspannen lichaam grotere heup- en kniehoeken gemaakt dan bij de werkstoel. Bij een werkstoel zijn een kniehoek van 90° en een heuphoek van iets meer dan 90° (gewoonlijk 95°-115°) aanbevolen. De afschuifkrachten op het zitvlak blijven zo klein mogelijk als zitting en rugsteun ongeveer loodrecht op elkaar staan (90° à 95°) (Goossens, 1994). Voor de hoogte van de voorrand van het zitvlak is dan de onderbeenlengte maatgevend, plus in de meeste gevallen 30 mm hak, en minus enkele centimeters

(wederom meestal 30 mm) om te voorzien in enige speling in de knieholte. In de Dined-tabel (figuur 6.8) en de tabel met kindermaten (figuur 6.9) is die maat te vinden en daarmee kan worden berekend wat, met één van de 5 ontwerptypen in het achterhoofd, een goede stoelhoogte zal zijn. Dat ontwerptype zal meestal neerkomen op instelbaarheid, verstelbaarheid of maatvarianten voor verschillende populaties van te kiezen percentages (zie 4.2 'De zeven ontwerptypen').

De breedte van het zitvlak wordt bepaald op basis van de heup(bekken)breedte zittend, welke voor mannen gemiddeld smaller is dan voor vrouwen. Kledingtoeslagen en ruimte voor motiliteit worden toegevoegd, waarbij een beperking kan worden gevormd door de onderlinge (Y-)afstand tussen eventuele armliggers, die op de juiste hoogte en breedtepositie de onderarmen moeten kunnen steunen.

De diepte (in X-richting) van het zitvlak is niet zozeer een zaak van passen, maar meer van beredeneerd kiezen van de afmetingen. Als nulpunt van de dimensie kan het beste het zitreferentie-punt worden gekozen (zie 6.4 'Het ontwerpen van kleine verblijfsruimten'). De dieptemaat kan echter niet zonder meer worden gelijkgesteld aan de afstand van de achterzijde van de billen tot aan de knieholte. De steunbehoefte en steunmogelijkheden van billen en dijnen zijn zeer verschillend. Het 'zitten op het puntje van de stoel' mag uiteraard ter afwisseling. Bij langdurig zitten echter is het leunen tegen een ruggensteun comfortabeler en beter voor de rug. De diepte van het zitvlak moet dus toestaan dat ook kleinere mensen tegen de rugleuning kunnen steunen, en zonder dat de voorrand van het zitvlak de knieholte raakt. Een volgend punt is dat het grootste gedeelte van het gewicht op het zitvlak wordt overgedragen ter plaatse van de beide zitbeenknobbels (tuber ischiadicum), die de onderzijde van het bekkenbot vormen. Die zitbeenknobbels zijn globaal 10 cm van elkaar verwijderd, en in X-richting bevinden ze zich ongeveer 10 cm vóór het rugvlak. Ze zijn op ideale manier omgeven met 'zitweefsels': 'zitvlees' en vet. Het gebied direct rond die knobbels is dus het belangrijkste contactvlak voor ondersteuning bij zitten en vangt de meeste kracht op. Van de zitbeenknobbels naar de knieholte nemen steunmogelijkheid en -behoefte gaandeweg af. Dat betekent dat een stoelzitvlak, zeker bij een werkstoel, niet diep moet zijn. Neem bijvoorbeeld uit de Dined-tabel maat 16, de bil-knieholte-diepte: $\bar{x} = 506$ mm (vrouw 494, man 518) en $s = 33$ mm (vrouw 32, man 30). Een volwassen vrouw met een P_1 maat voor deze variabele heeft dus een bil-knieholte diepte van 419 mm ($= 494 - 2,33 \times 32$). Dat wil zeggen dat bij deze diepte (en diepere zittingen) de voorkant van het zitvlak haar knieholte raakt. Een P_{99} man heeft een bil-knieholte diepte van $(518 + 2,33 \times 30) = 588$ mm, maar zou bij een zitdiepte van 350 mm nog voor 60% van de afstand ondersteund worden en wat kracht betreft zou 90% van het gewicht anders ook al opgevangen worden door die 350 mm (figuur 6.27). Een zo diep mogelijke zitting is dus zeer ongewenst. Zowel de zitter met kleine als die met grote bil-knie diepte kunnen dus bij een zitdiepte van 35 cm comfortabel zitten en verzitten.



Figuur 6.27 Zittingdiepte (350 mm) bij knieholtdiepten $P_{01♀}$ en $P_{99♂}$ in bovenaanzicht (maten in mm).

6.6 Ontwerpen van persoonlijke uitrusting (outfits)

Omschrijving van het type product

Zoals eerder aangeduid, gaat het bij persoonlijke uitrustingen of 'outfits' om op het lichaam meegedragen producten, met uiteenlopende functies waarvan de beschermingsfunctie vaak dominant is. Voorbeelden van persoonlijke beschermingsmiddelen zijn: kleding, schoeisel, valhelm, voorschoot, handschoen, gasmasker en duikerspak. Wat mensen plegen mee te dragen varieert enorm, afhankelijk van de omstandigheden. Onder de douche staat men ontkleed en aan het strand is men meestal in badpak. De alpinist daarentegen draagt naast vele kledinglagen ook sneeuwbril, rugzak, kluwens touw, ketonhaken en schoenen met klimijzers mee. De uitgebreidheid van de 'tweede, kunstmatige huid' kan dus nogal eens uiteenlopen. Het doel van de meegedragen spullen wordt niet beperkt tot bedekken en beschermen, maar kan ook hygiëne zijn (zakdoek), of het dragen van informatie (pas, geld, agenda, horloge) of een ander doel (kam, mes, sleutels). De 'portable world' kan ver uitgebreid worden, zoals met een walkman, 'ghetto-blaster' of draagbare telefoon.

De mens is een opvallend kaal zoogdier dat, na het uitzwermen vanuit de (waarschijnlijk) Oost-Afrikaanse savannen, kleding nodig had ter bescherming tegen klimaat- en weersomstandigheden: koude, wind, regen, stof, zon. Er was ook enige mechanische bescherming nodig tegen doornen en stenen. Het bedekken van de huid heeft daarenboven ook belangrijke culturele en sociale functies. De zegswijze "de kleren maken de man" is overtrokken, maar kleding is zeker een belangrijk middel om te tonen tot welke sociale groep men behoort en om tegelijkertijd herkenbaar te zijn als individu. Dat is slechts indirect een onderwerp van de productergonomie. Ergonomisch onderzoek blijft meestal beperkt tot beschermingsmiddelen, zoals valhelmen en tot militaire of professionele kleding en

uitrusting. Professionele kleding heeft echter ook sociaal-culturele betekenissen en decoratieve elementen. Een hoogleraarstoga, badpak, doktersjas of ski-jack zijn niet alleen in ergonomische zin functioneel.

Kleding met een bepaalde functie, die verder gaat dan alleen bedekken en decoreren, valt echter duidelijk onder de industrieel, in serie vervaardigde gebruiksgoederen. Het nauwe en langdurige contact met het lichaam heeft tot gevolg dat er antropometrische problemen ten grondslag liggen aan het ontwerp ervan. Dat geldt zeker ook voor de beschermingsmiddelen en voor de verbruiscategorie van hygiënische middelen, zoals luiers voor babies en incontinenten volwassenen, of zoals tampons. Bij het ontwerpen van deze goederen voor massafabricage moet men een nauwkeurige afweging maken van de frequentieverdeling van de relevante fysieke variabelen. Maatsystemen kunnen variëren in stapgrootte van geen (one size fits all) en bijvoorbeeld de onderverdeling in small/medium/large, tot het schoenmaat-systeem waar voor elke halve centimeter verschil een ander product verkrijgbaar is. In het uiterste geval spreekt men dus van 'tailoring' (pag. 87), waarbij het product aangepast wordt aan elk individu. Er bestaan vele maatsystemen die verschillen per soort product, per land en soms per geslacht. Een goed voorbeeld van een product, waarbij een aantal verschillende systemen van maataanduiding worden gebruikt, is kleding.

Functionele ontwerpparameters bij outfits

Er zullen naast de ergonomische factoren ook enige aspecten worden genoemd, die weliswaar belangrijk zijn voor het ontwerpen, maar die weinig antropometrisch c.q. productergonomisch zijn. Dit is omwille van de volledigheid en omdat die factoren in wisselwerking met elkaar staan en dus indirect toch de ergonomische aspecten van een product kunnen beïnvloeden. Dat geldt bijvoorbeeld voor de eerstvolgende parameter:

- Sociaal-decoratieve functie

De sociaal-decoratieve functie van persoonlijke uitrusting is bedoeld om status, identiteit, beroep, levensstijl, bedoelingen en dergelijke tot uitdrukking te brengen. Deze overwegingen zijn zelfs bij valhelmen of veiligheidsschoenen niet uit te sluiten en spelen bij functionele beroepskleding (slagersjas, werk-overall, olie-kleding op zee, uniformen voor bewakers, conducteurs) en bij functionele sportkleding (motorfietspak, tenniskleding, visbroek, cricket-pet, base-ball handschoen) een belangrijke rol. Bij alledaagse lekenkleding kunnen de beschermende functies zelfs ondergeschikt raken aan stijloverwegingen.

- Klimaatbescherming

Er is binnen- en buitenkleding, en wel beide voor verschillende seizoenen en omstandigheden. Er zijn paraplu's en parasols. Er bestaat een specialisme klimaatfysiologie, dat de tolerantie en gewaarwordingen van mensen onderzoekt bij wisselende klimaatomstandigheden, zoals temperatuur, windsnelheid en voch-

tigheidsgraad. Er is hierover veel informatie verzameld voor toepassing in militaire kleding en in (industriële) beschermingspakken. De laatste moeten beschermen tegen bijvoorbeeld hoge temperatuur, chemicaliën of straling, maar aan de andere kant niet zodanig afsluiten dat het klimaat binnen in het pak irritant of onhoudbaar wordt.

- Temperatuurregulatie

Het levende lichaam produceert veel warmte en die wordt voor een groot deel via de huid afgegeven aan de omgeving door zweten en verdampen, contact en straling. Huidbedekkers dienen derhalve deze afgifte niet teveel, noch langdurig te hinderen. Ook dit is een terrein dat door de klimaatfysiologie wordt onderzocht en geanalyseerd en waarvoor diverse richtlijnen zijn gemaakt.

- Maatgeving van de bedekking

Bij de maatvoering van outfits hebben we te maken met heuse antropometrie, in de zin van ‘aanpassen aan de menselijke maat’. Welke huidoppervlakken van welke segmenten moeten worden omhuld? Welke vormen, lengten en omvangen zijn daarbij maatgevend? De ontwerpproblematiek wordt daarbij gecompliceerd door het volgende aspect. De omhulling is nooit permanent. Het meegedragene moet kunnen worden aangehaakt en afgehaakt, zoals een rugzak. Kleding moet aan en uit kunnen en dat leidt tot kleding-’stukken’, met knopen, haakjes, ritsen, (klitte)-banden, om te kunnen openen en sluiten of bijeen te houden, of om de maat te verstellen of in te stellen

- Activiteit

Een complicatie die meer dynamisch-antropometrisch van aard is, betreft de bewegelijkheid van de gebruiker. Een belangrijke eis is dat het meegedragene meebeweegt met de ledematen en met het van vorm wisselende huidoppervlak. Voor een deel kan dat worden opgelost door veel ruimte te laten bij de omhulling en aansluiting, maar dat kan om redenen van uiterlijk of temperatuur, of vanwege gevoelig schuren, weer ongewenst zijn. Er zijn ook andere oplossingen, waarbij de gebruikte weefsels elastisch zijn of dat er platen kunnen scharnieren (zoals bij harnas of duikerspak) of over elkaar schuiven. Er wordt bijna altijd geëist dat het meegedragene het functioneren en handelen van de drager niet belemmert, of dat althans zo min mogelijk doet. Dat is echter niet altijd mogelijk. Handschoenen beschermen, maar verminderen tegelijkertijd de tactiele gevoeligheid en de bewegelijkheid van hand en vingers. De bromfietshelm vernauwt het blikveld en met de lange jas of het asbest-pak aan is het slecht hordenlopen. Dit is een kwestie van kosten en baten afwegen. Er moet niet vergeten worden dat er ook voorbeelden zijn van kleding die het functioneren verbetert. Speciale handschoenen maken het werken in ijswater of in bijtende vloeistof mogelijk, en dunne handschoenen kunnen de inspectie van laklagen met de hand zelfs nauwkeuriger maken.

Antropometrische data

In de antropometrie worden voornamelijk afstanden tussen op de huid voelbare botpunten gemeten met linealen. Er zijn veel minder data verzameld over diameters, omvang, vormen en oppervlakken van lichaamssegmenten. Er is, zeker op dat gebied, weinig bekend van andere groepen dan jonge mannen (militairen). Er zijn, zoals eerder gezegd, vele maatsystemen en er is veel kennis in bijvoorbeeld de kledingbranche. Die kennis is echter vaak impliciet of onnauwkeurig. De afzet van verschillende maatuitvoeringen is geen absolute garantie voor de juiste aansluiting aan de werkelijke maatverdeling van de populatie. De marktwerking is waarschijnlijk niet voldoende om op basis van bijvoorbeeld kledingverkoop een juiste statistiek van buikomvang op te stellen.

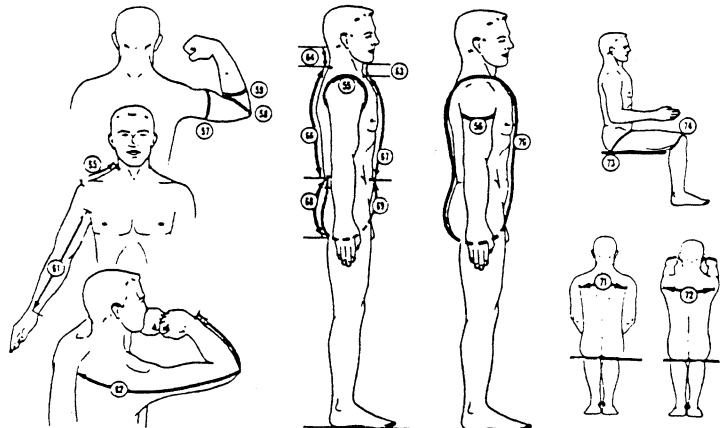
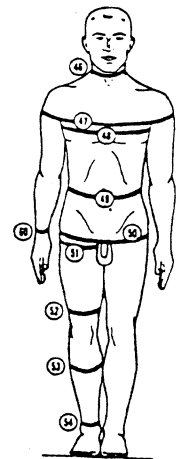
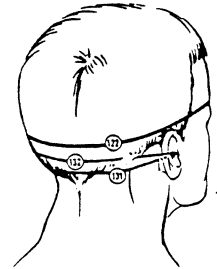
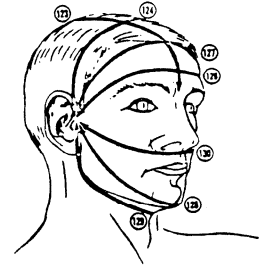
Als voorbeeld en als enig basismateriaal geven we hierna in figuur 6.28 een aantal omvangsmaten van Hertzberg et al. die in 1954 in de U.S.A. mannelijke militairen maten. Hun leeftijd was gemiddeld 28 jaar. Het betreft dus een selectieve groep van bijna vijftig jaar geleden in een ver land. De \bar{x} , s^2 , maar ook de onderlinge verhoudingen van de maten (lichaamsbouw, proporties), zullen dus niet nauwkeurig overeenkomen met die van de volwassen Nederlandse mannen nu. Er zijn echter nauwelijks andere bronnen eenvoudig en gratis voorradig.

Het zou denkbaar zijn met kleinschalig onderzoek de correctiefactoren in te schatten, om van de gegevens van Hertzberg die van de huidige volwassen Nederlandse populatie te benaderen. Vooralsnog is dat niet gedaan en betekent het dat de productontwerper zelf enig onderzoek dient te verrichten. Dat geldt uiteraard nog sterker voor de overige gebruikerspopulaties van kinderen, vrouwen, bejaarden, gehandicapten en dergelijke.

In de in figuur 6.9 vermelde tabel met kindermaatjes zijn slechts de hoofdomvang en greepomvang te vinden, naast enkele diepte- en breedtematen. Van die laatste categorie zijn er ook enkele in de Dined-tabel te vinden.

Een veelbelovende ontwikkeling van de laatste jaren (Rioux and Bruckart, 1995, Daanen, 1995) is '3-D Surface Anthropometry' (3D Oppervlakte Antropometrie): het (oppervlak van het) menselijk lichaam (of een deel ervan zoals het hoofd) wordt afgetast met behulp van lasers en in digitale vorm vastgelegd. Deze 3D-gegevens vormen aldus een 'kopie' van het menselijk oppervlak, die gevisualiseerd (figuur 6.29), bewerkt en geëvalueerd kunnen worden. Traditionele, één-dimensionale antropometrische variabelen kunnen nog steeds uit de 3D-gegevens afgeleid worden, maar nu is het bovendien mogelijk om de ruimtelijke relaties tussen deze variabelen te analyseren.

Nr	Measurements	Mean	SD	5%	95%
46	Neck circumf	379,6	18,0	350	409
47	Shoulder circumf	1149,3	59,2	1052	1247
48	Chest circumf	984,8	60,4	885	1084
49	Waist circumf	812,3	74,9	689	935
50	Buttock clrcumf	959,6	56,7	866	1053
51	Thigh circumf	568,4	43,0	498	639
52	Lower thigh circumf	439,5	34,6	383	496
53	Calf circumf	365,3	23,7	326	404
54	Ankle circumf	225,6	13,1	204	247
55	Scye circumf	459,3	33,7	404	515
56	Axillary arm circumf	317,4	26,2	274	361
57	Biceps circumf f1	324,1	25,6	292	366
58	Elbow circumf f1	310,5	19,3	279	342
59	Lwr arm circumf f1	291,6	17,9	262	321
60	Wrist circumf	173,7	9,1	159	189
61	Sleeve inseam	502,8	28,4	456	549
62	Sleeve lth spne-wrst	853,5	37,6	792	915
63	Anterior neck lth	86,6	16,1	60	113
64	Posterior neck lth	92,2	15,4	67	117
65	Shoulder lth	171,7	13,7	149	194
66	Waist back	449,7	25,7	407	492
67	Waist front	386,5	26,6	343	430
68	Gluteal arc	295,5	19,9	263	328
69	Croch length	715,0	48,4	635	795
70	Vert trunk circumf	1645,3	71,8	1527	1763
71	Interscye	497,7	35,1	440	555
72	Interscye maximum	578,8	33,5	524	634
73	Buttock circumf sit	1058,8	70,1	944	1174
74	Knee circumf sit	390,5	22,5	353	428
122	Head circumf	570,3	15,3	545	596
123	Sagittal arc	381,1	15,2	356	406
124	Bitrag-coronal arc	350,5	12,4	330	371
125	Min frontal arc	136,7	9,6	121	153
126	Bitrag-min frtl arc	304,8	10,5	288	322
127	Bitrag-crinion arc	331,3	12,9	310	352
128	Bitrag-menton arc	323,3	12,3	303	344
129	Bitrag-sumand-bl arc	306,2	15,4	281	332
130	Bitrag subnasal arc	289,9	10,7	272	307
131	Bitrag posterior arc	270,9	11,7	252	290
132	Bitrag inion arc	293,7	13,4	272	316
133	Age (yrs)	27,9	4,2	21	35



Figuur 6.28 Omva-
maten (mm) uit
Hertzberg et al. (19



Figuur 6.29 3D Oppervlakte Scan gemaakt met een Cyberware Whole Body Scanner in het CARD-lab van Wright Patterson Air Force Base (Ohio, USA) in samenwerking met TNO Technische Menskunde.

Begrippen

Antropometrie:

- k1 mens-meterij
- k3 schoonheidsideaal
- k3 sociale geneeskunde
- k2 Quetelet

Kennis van:

- k1 afmeting van ledematen
- k2 omtrek, diameter
- k2 volume, massamiddelpunt
- k1 lichaamsstructuur
- k1 anatomie
- k2 huid
- k2 bot
- k2 spier
- k2 weefselverdeling

Modellering in statische antropometrie:

- k1 stokjespop
- k1 mannikin (2D / 3D)
- i1 15-segmentsmodel
- k2 standaardhouding staand
- k2 standaardhouding zittend

Databronnen:

- i2 militaire keuring (jonge mannen)
- i3 sociaal-geneeskundig (kinderen)
- i3 luchtmacht U.S.A. (Amerikaanse mannen)
- i1 Dined-tabel (Nederlandse mannen en vrouwen)

Computer Aided Design:

- k2 model van gebruiker en product
voor test van cabines, voertuigen, meubilair
- k1 ADAPS: ook blikrichting; zijn de data de gewenste?

Bronnen van lichaamsvariantie:

- k1 leeftijd
- k1 sexe
- k1 lichaamshouding
- k1 lichaamsbouw
- k2 kleding
- k2 etmaalsritme

- k2 lateraliteit
- k2 willekeurig bewegen
- k2 etniciteit
- k2 secularisatie
- k2 gezondheid
- k2 leefwijze

Ontwerpen van cabins:

- t2 verblijfsduur
- t2 aantal personen
- t2 lichaamshouding
- t2 activiteit
- t2 toegankelijkheid
- t2 oriëntatie

Antropometrische enveloppen:

- k1 reikwijdte-enveloppe
- k1 visueel-manipulatieve comfortzone

Ontwerpen van supports:

- t2 ondersteuningsduur
- t2 activiteit
- t2 ondersteunde weefsels
- i1 contravorm
- t2 motiliteit
- t2 zitvlak: hoogte, breedte, diepte

Ontwerpen van outfits:

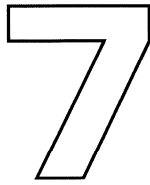
- t2 sociaal-decoratieve functies
- t2 klimaatbescherming
- t2 temperatuurregulatie
- t2 maatvoering
- t2 activiteit

Vragen

- 6.1. Wat is het huidige schoonheidsideaal? Is de gewicht/lengte verhouding hiervan wel medisch verantwoord?
- 6.2. Wat zijn de belangrijkste functies van de spieren en het skelet in het menselijk lichaam?
- 6.3. Bedenk welke plaatsen op de segmenten zich goed lenen als antropometrische meetpunten (dus daar waar een bot vrij dicht onder de huid zit).
- 6.4. Meet de lengte van uw onderbeen; welke problemen heeft u daarbij?
- 6.5. Welke lichaamsstructuren acht u het meest van belang bij lichaamsonder-

- steuningsmiddelen?
- 6.6. Hoeveel procent van het lichaamsgewicht wordt bepaald door de botten?
 - 6.7. Waarom wordt in het antropometrisch ontwerpen meestal gebruik gemaakt van een mensmodel en hoe ziet dit model eruit?
 - 6.8. Teken een 15-segmentsmodel in een willekeurige pose; maak daar nu een lichaamsondersteuning bij.
 - 6.9. Wat is het grootste nadeel van het gebruik van een mannikin?
 - 6.10. Wat zijn de voor- en nadelen van verschillende mannikins ten opzichte van elkaar?
 - 6.11. Tot welk percentiel behoort u zelf, op 5 verschillende Dined-maten?
 - 6.12. Zijn deze percentielen voor u gelijk voor al deze maten?
 - 6.13. In het antropometrisch ontwerpen verdient een aantal specifieke punten grote aandacht. Welke zijn dit en waarom?
 - 6.14. Welke lichaamsdelen of -segmenten zijn voor het ondersteunen van de lichaamshouding in zittende of bijna zittende positie de meest belangrijke? Wanneer wijkt men hiervan af?
 - 6.15. Hoe heeft men er bij het ontwerp van een fiets voor gezorgd dat een grote gebruikersgroep er op kan fietsen? Noem andere producten waarbij dit ook het geval is.
 - 6.16. Bereken aan de hand van de Dined-tabel, de P_5 -onderbeenlengte, vrouw.
 - 6.17. Stel de reikhoogte x van een grote groep mensen is normaal verdeeld met een gemiddelde van 2,0 meter en een standaardafwijking van 0,1 meter. Hoe groot is het reikhoogteverschil tussen een P_5 waarde en een P_{85} waarde uit deze groep?
 - 6.18. Formuleer een aantal verschillen tussen een computersimulator van een blikveld (zoals bij ADAPS) en uw eigen blikveld.
 - 6.19. Neem 10 willekeurige mensen uit uw omgeving; kijk of de trends in lichaamsvariantie betreffende leeftijd en sexe kloppen met hetgeen wordt verwacht.
 - 6.20. De antropometrie houdt zich vooral bezig met varianties in menselijke lengte-, gewicht-, buigings- en omvangsmaten. Hoe dient men bij product-ontwerpen daarmee rekening te houden en waarom?
 - 6.21. Met welke statische karakteristieken van het menselijk lichaam moet de ontwerper rekening houden bij het ontwerpen van vakken voor (de rest van) handmatig postsorteren bij de Post?
 - 6.22. Bepaal uw reikwijdte-enveloppe door een groot papier voor u op tafel te leggen en met een pen in de hand een zo groot mogelijk bereik te schetsen.
 - 6.23. Geef met voorbeelden het nut aan van de visueel-manipulatieve comfort-zone voor het ontwerpen.
 - 6.24. Leg een boek in het gebied dat is gevonden in vraag 6.22 en kijk binnen welk gebied u de letters nog net kunt lezen.
 - 6.25. Ga na in hoeverre de stoel waarop u nu zit de voorkant van uw bovenbenen afkelt; kan dit verbeterd/verslechterd worden door een andere vorm?

- 6.26. Bij productie en gebruik van gebruiksvoorwerpen ziet men als trends internationalisatie en miniaturisatie; welke verschuivingen in ontwerproblemen van statisch-antropometrische aard zijn daardoor waarschijnlijk?



Dynamische antropometrie

Samenvatting

De maten zoals die gemeten worden in de statische antropometrie, zijn vaak niet voldoende om de juiste afmetingen van een product te kunnen bepalen. In dit hoofdstuk wordt daarom aandacht besteedt aan gewrichten, houdingsverandering, beweging en (maximale) gewrichtsexcursies. De werking van gewrichten wordt toegelicht en de nomenclatuur van houdingen en bewegingen wordt uitgelegd. De factoren die van invloed zijn op gewrichtsexcursies en bewegingen worden beknopt besproken. Daarna wordt lopen, een natuurlijk en complex bewegingspatroon, nader bekeken. Als laatste worden er ergonomische aandachtspunten bij het ontwerpen van supports, outfits en grips, packs & loads besproken. Daarbij wordt onder andere aandacht besteed aan het belang van de lumbaalsteun, het ontwerpen van helmen en handschoenen, de eigenschappen van de hand en de gevolgen daarvan voor handgrepen.

7.1 Houdingsverandering en beweging

Waarom dynamisch?

In het voorgaande hoofdstuk werd de nadruk gelegd op de structuur van het menselijk lichaam en zijn segmenten. Daarbij werd al ingegaan op de verschillende lichaamshoudingen, die een gevolg zijn van hoekverdraaiingen van die segmenten onderling. Er werd verteld dat het innemen van een houding gewoonlijk samengaat met motiliteit, dat zijn kleine standveranderingen om de spieren wisselend in te zetten en om de doorstroming door de weefsels te bevorderen. Bij de statische antropometrie werden dus al enige dynamische aspecten gemeld. We zullen nu wat verder op die bewegingsmogelijkheden ingaan, omdat de productgebruiker niet alleen lijf en leden heeft, maar deze ook beweegt naar en met producten. Voor het bedenken van nieuwe en verbeterde materiële functievullers is het ontoereikend de menselijke kanten van de mens-product interactie alleen maar te baseren op statische aspecten, zoals de buiten-maten van een vaste ledenpop (mannikin).

Attitude, locomotie en manipulatie

De stangenstructuur van het skelet blijft in een bepaalde houding doordat de spieren, die over gewrichten gespannen zijn, een bepaalde lengte aannemen en die volhouden. Er is dan een evenwicht in de ledenketting van spierwerking rond gewrichten. Zodra de ene spier verkort en een andere (antagonistische) spier tegelijkertijd verlengt, treedt er hoekverdraaiing tussen de lichaamssegmenten op.

Dat betekent een verandering van houding. Indien door die houdingsveranderingen de contactpunten met de vaste wereld wisselen in een zekere volgorde, waarbij het massamiddelpunt van het lichaam telkens verder verplaatst wordt, is er sprake van totale lichaamsverplaatsing ofwel locomotie. Dat zal gewoonlijk lopen betreffen, maar kan ook kruipen, klimmen of zwemmen zijn. De spierfuncties worden vaak aangeduid met een drietal begrippen: attitude, locomotie en manipulatie. Met 'attitude' wordt de spierwerking aangeduid die zorgt voor het volhouden en veranderen van houdingen. Met 'locomotie' wordt de spierinzet voor lichaamsverplaatsing aangeduid. Met 'manipulatie' wordt de spierwerking aangeduid waarbij kracht wordt uitgeoefend op externe objecten (zoals op ballen, duwkarren, hamers en drukknoppen). Deze drie functies kunnen ook beschouwd worden als drie motorische functiegroepen, die achtereenvolgens aan het begin van het leven worden geleerd en waarbij de complexiteit van leren en beheersen toeneemt vanaf attitude, via locomotie, naar manipulatie.

Opbouw van het hoofdstuk

In dit hoofdstuk komen dus de attitudeveranderingen en enigermate de locomotie aan bod. Daarbij worden de biomechanische en arbeidsfysiologische aspecten van krachtopvang, krachtoefening, vermoeiing en leren elk naar een apart volgend hoofdstuk geschoven. In dit hoofdstuk zal het vooral gaan om de anatomie van de bewegings-mechanismen, hoe de gewrichten werken en hoe er wordt gebogen en gedraaid. Daarna zullen er weer drie paragrafen volgen, waarbij we de dynamisch-antropometrische inzichten kunnen verbijzonderen en toepassen: het ontwerpen van lichaamsondersteuningsmiddelen (supports), van persoonlijke uitrusting (outfits) en van grepen aan lasten (grips). De eerste twee zijn een vervolg op gelijknamige paragrafen uit het voorgaande hoofdstuk 6.

7.2 Gewrichtswerking

Scharnieren in een stangenstructuur

In het zesde hoofdstuk (6.1 'Statische antropometrie') werd bij de behandeling van het bot ook iets over de gewrichten verteld. Gewrichten zijn bewegingsvlakken tussen segmenten. Om van houding te veranderen, kan een stangenstructuur doorbuigen of scharnieren. Het tweede principe is het geval bij de gewervelde dieren. Die scharnieren hebben verschillende vormen en bijgevolg verschillende bewegingsmogelijkheden. Bij de knie is dat buigen of strekken in één vlak. Het hoofd-nek gewrichtensysteem kan daarentegen alle kanten op buigen en strekken, en er kan tevens geroteerd worden, bijvoorbeeld bij nee-schudden. Een gewricht kan dus een één- of meer-assig scharnier zijn. De bewegingsuitslag voor buigen of draaien is uiteraard beperkt, omdat gewrichtsbanden, spieren en pezen een beperkt bereik hebben. Ook kan de vorm van de gewrichtsvlakken op het bot een mechanische stop vormen voor de beweging, zoals bij het maximaal strekken van de elleboog.

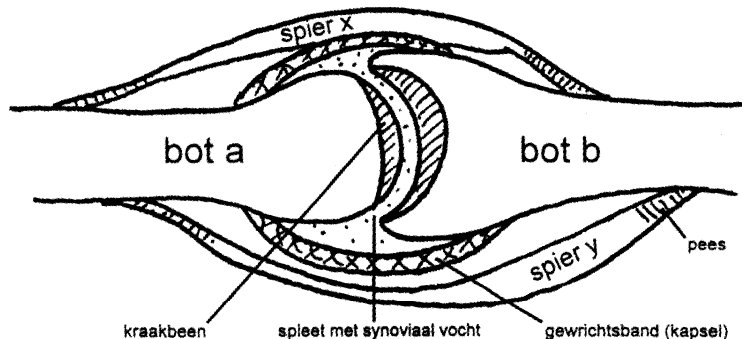
Bij buiging wordt de mechanische stop soms gevormd door het contact van huid en weefselmassa's van verschillende segmenten. Bij het buigen van de arm, bijvoorbeeld, komt de biceps tegen de onderarm.

Gewrichtsvormen

De gewrichtsvlakken bepalen dus de richting(en) en deels de maximale uitslag(en) van de gewrichtsbeweging. Die vlakken hebben verschillende vormen. De ruimtelijke vorm van een gewrichtsvlak is gewoonlijk geometrisch complex, omdat het meestal geen zuivere bolvorm of cilindervorm is, maar een vorm met een veranderende radius. Er is dus geen sprake van één positie van een scharnieras, maar de as beweegt zelf ook tijdens buigen of draaien. Dat wandelen van het rotatiepunt zorgt er voor dat de ledematen ook iets verlengen of verkorten bij beweging van het gewricht. De orde van grootte is niet meer dan enkele centimeters, en bij de knie opvallend groter dan bij de elleboog. Bij het ontwerpen van prothesen, orthesen of strakke kleding kan dat toch van betekenis zijn.

Synoviale gewrichten

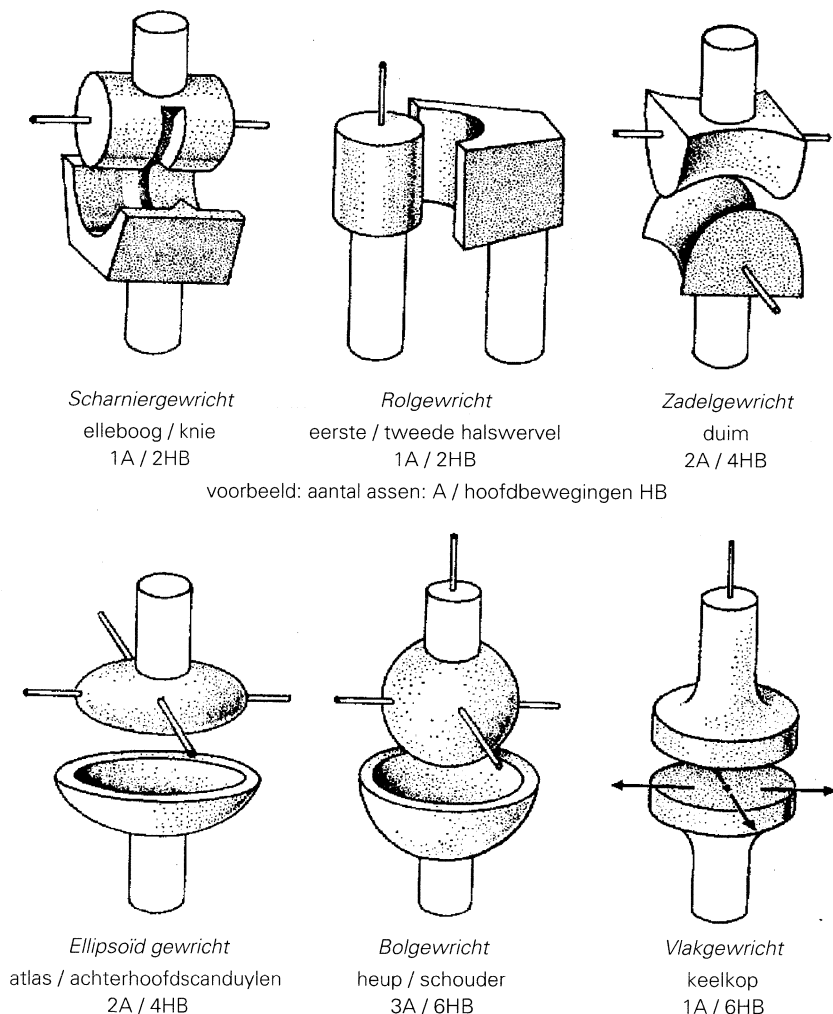
Voor de dynamische antropometrie zijn vooral een bepaald type van gewrichten van belang. Dat zijn de gewrichten met kapsels en vochtsmering tussen de kraakbeen-contactvlakken. Dat is het type van het synoviaal gewricht, zoals in figuur 7.1 in een principe-schema is weergegeven. In het schema zou men dit gewricht drie-dimensionaal kunnen opvatten als een bol met een kom als contra-vorm, die kan bewegen rond drie assen. Dat is het bolgewricht waarnaast ook andere typen voorkomen, zoals wordt weergegeven in figuur 7.2. Hierbij ziet men de verscheidenheid in aantal assen en in het al dan niet kunnen roteren. Het heup- en schoudergewricht hebben, zoals men kan zien, drie vrijheidsgraden.



Figuur 7.1 Principe-schema van een synoviaal gewricht.

Het benoemen van bewegingen

Voor al die bewegingsmogelijkheden in de ledenketting is er een nomenclatuur ontstaan in de kinesiologie (bewegingsleer), waarvan een deel gebruikt wordt in de ergonomie. Met behulp van die kinesiologicalische termen kunnen positie, richting van



Figuur 7.2 Schematische tekeningen van een aantal gewrichtstypen (Lohman, 1976).

beweging en maximale bewegingsuitslag worden aangegeven. Bij gewrichtsbewegingen verdraaien twee nevenliggende segmenten ten opzichte van elkaar. Als zij in één vlak naar elkaar toe buigen wordt dat 'flexie' genoemd; strekken heet 'extensie'. Bij heupflexie zwenkt de knie richting romp en wel in een sagittaal vlak. Bij knie-extensie gaat het been van gebogen naar gestrekte stand. Tijdens lopen zijn die twee gewrichten aan het buigen en strekken, zodat ze zich periodiek in flexie en extensie bevinden. Indien de buiging niet in een sagittaal vlak, maar in een frontaal vlak plaatsvindt, worden de bewegingen anders genoemd. Van het lichaam af bewegen heet 'abducen', en naar het lichaam toe bewegen heet 'adducen'. Indien men staand de neerhangende arm naar buiten beweegt, heet dat dus abductie, en als men een zijwaarts gezwaaid bovenbeen weer naar het lichaam toebrengt, heet dat adductie.

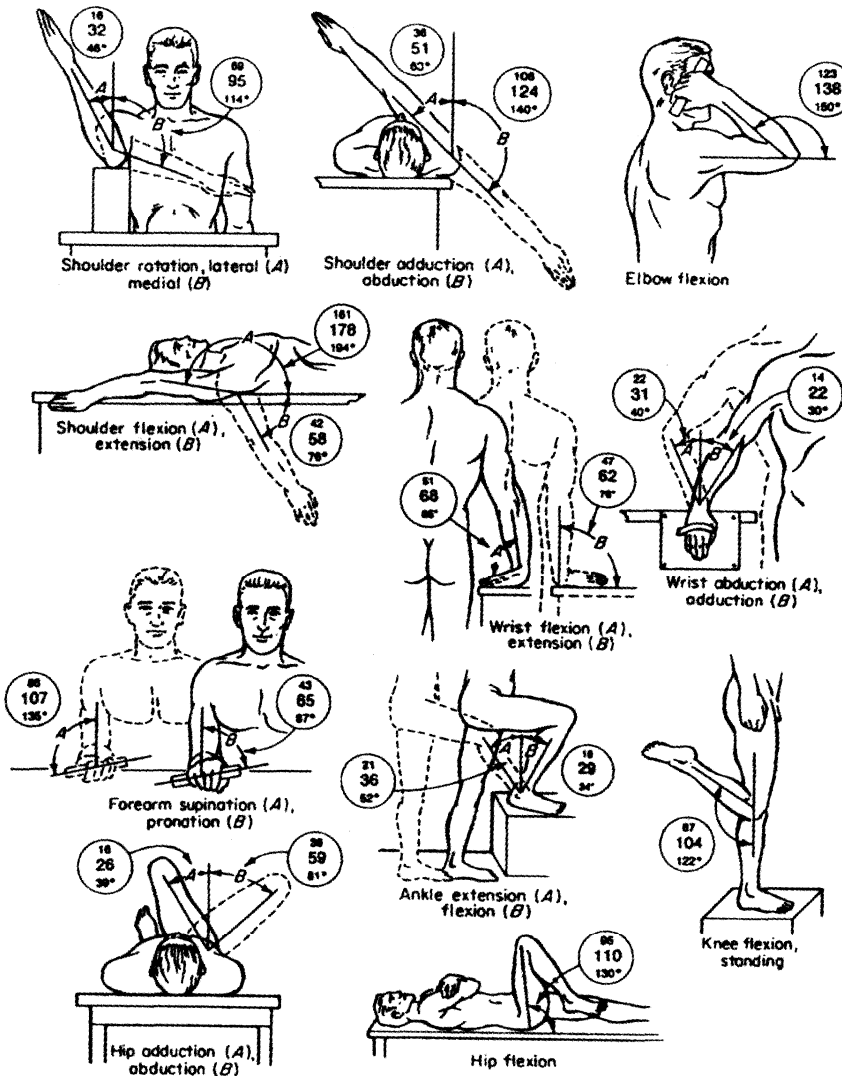
Als een segment om zijn lengte-as draait, heet dat 'rotatie'. Als de arm horizontaal wordt gehouden en de hand daarbij een sleutel omdraait, roteert die arm. Naar buiten draaien, dus met de bovenzijde van het segment van het sagittale vlak af draaien, heet exo-rotatie (of laterale rotatie); naar binnen draaien heet endo-rotatie (of mediale rotatie). Het hoofd rechtop naar rechts draaien is dus een rechtse exorotatie en de dwarsgeplaatste voet naar binnen draaien is endo-rotatie. Omdat mensen zo handig en armig zijn en de rotatie van onderarm met hand zo vaak voorkomt, heeft de polsrotatie een aparte naam. De hand endo-roteren, dat wil zeggen, vanuit horizontale stand, met de duim boven, zo draaien dat de handrug boven komt, heet 'proneren'. Exo-roteren is de andere kant op, zodat de palm boven komt, en dat heet ook wel 'supineren'. (Ezelsbruggetje voor onthouden: bij supineren beweeg je je hand alsof je soep eet.) Bij pro- en supinatie is de bewegingsrichting gerelateerd aan de segmenten zelf en gaat het niet om de richting, maar om het gebied van bewegen. In figuur 7.3 staan enkele voorbeelden van deze gewrichtsbewegingen en hun benamingen.

Het kost enige oefening om deze termen vlot te kunnen toepassen. De dagelijkse taal is niet zo geëigend om bewegingen geometrisch te beschrijven. Toch is enige vertrouwdheid met deze termen handig wanneer we ons bezig houden met mens-product interactie, vooral waar het om hand- en armbewegingen gaat. De pols kan op diverse manieren de hand positioneren: de pols kan roteren (in feite, de onderarm vanuit de elleboog draaien door de uiteinden van ellepijp en spaakbeen om elkaar heen te bewegen) en dat is pronatie of supinatie; de pols kan buigen (flexie: handpalm naar beneden bij horizontale arm) of strekken (extensie); tenslotte kan de pols abduceren (hand buigen in de richting van de duim) en adduceren (idem, in de richting van de pink). De duim kan buigen in twee gewrichten, maar kan ook 'opponeren', dat betekent: kan vanuit het handpalmvlak naar de tegenoverliggende zijde van de hand worden gebracht, zodat de duimtop de pinkaanzet kan raken. Alleen mensen hebben een opponeerbare duim en dat maakt veel van onze grepen en handigheid mogelijk.

Gewrichtsexcursies

De maximale gewrichtsexcursie is de maximale uitslag bij gewrichtsbeweging, die gemeten is vanuit de anatomische houding en waarbij de beweging alleen in de standaard-vlakken (sagittaal, frontaal en transversaal) plaatsvindt. Tot hoever kan geroteerd, gebogen, gesupineerd en geabduceerd worden? Dat is om verschillende redenen belangrijk om te weten. Maximale gewrichtsexcursies geven de variatiemogelijkheden en grenzen aan van de standen van segmenten en daarmee maken ze duidelijk wat de bewegingsmogelijkheden van de ledenketting zijn, dus ook welke lichaamshoudingen en manipulaties mogelijk zijn. Die excursies, in het Engels 'ranges of movement' genoemd, zijn echter maxima, waarbij de gewrichts-contactvlakken, gewrichtsbanden en/of spieren en pezen in een uiterste stand staan. Voor het ontwerpen van houding en beweging bij mens-product interactie zijn die extreme standen meestal af te raden. Uiterste gewrichtsstanden zijn vaak niet

comfortabel, kunnen niet lang worden volgehouden en brengen de segmenten vaak in posities, vanwaaruit de motoriek minder krachtig is en minder nauwkeurig. Zo beredeneert men dat er ergens tussen die extreme grenzen een gebied van comfortabele gewrichtsstanden ligt, waarbij de spieren weinig arbeid hoeven verrichten en de gewrichtsbanden niet worden gerekt. Het is niet bij alle gewrichten mogelijk om een dergelijke comfortzone te bepalen. De proportie van de comfortzone ten opzichte van de maximale gewrichtsexcursie varieert voor verschillende gewrichten. De comfortzone kan beperkt zijn, of juist relatief groot zodat bijna het hele excursiegebied beslagen wordt.



Figuur 7.3 Bereik (in graden) van rotaties en bewegingen van verschillende hoogste en laagste extremen, gebaseerd op een steekproef van 100 mannelijke studenten. Omcirkeld zijn gegeven de drie waarden van P₅, P₅₀ en P₉₅ (in graden) (Sanders & McCormick, 1993, uit: Houy, 1983).

Het hoofd kan buigen tot de kin op de borst komt en strekken tot het Frankfurter vlak vertikaal staat, maar de hoofdhouding die geprefereerd wordt is ongeveer van -10° tot -40° ten opzichte van de horizontaal (zie ook figuren 6.24 en 6.25). Bij elleboogflexie is de comfortzone relatief breed. Het is duidelijk dat training, leefwijze en lichaamsbouw hierbij een rol spelen. Bij vele volkeren is men bijvoorbeeld gewend langdurig in diepe hurkzit te vertoeven, met de billen op de hielen. Dat is iets wat habituele stoelzitters al na enkele seconden pijn doet. In de volgende paragraaf wordt er uitgebreider ingegaan op de factoren die de gewrichtsexkursie beïnvloeden.

Excursietabellen

Er zijn in de ergonomie en de kinesiologie diverse tabellen om de maximale gewrichtsexkursies op te zoeken, zoals figuur 7.4. Omdat de belangstelling bij de productergonomie in het bijzonder uitgaat naar de bovenste extremiteiten, volgt in figuur 7.5 ook een overzicht van de maximale excursies van schouder, elleboog, onderarm en pols uit verschillende bronnen. De data uit deze bronnen verschillen enigszins, en daarom is het goed te weten wat de belangrijkste factoren zijn die gewrichtsexkursies beïnvloeden. Deze worden hierna in het kort behandeld.

gewricht	segment	vlak	beweging	max. excursie in gr.	max. bereik in graden	comfort, excursie in gr.
"hoofd/nek"	hoofd	S	1 flexie ventr./dorsaal	+40/-35	75	+12/25
		F	2 flexie lateraal R = L	+55/-55	110	0
		R	3 rotatie R = L	+55/-55	110	0
"thorax/lumbaal"	romp	S	4 flexie ventr./dorsaal	+100/-50	150	0
		F	5 flexie lateraal R = L	+50/-50	100	0
		R	6 rotatie R = L	+50/-50	100	0
heup	dijbeen	S	7 flexie/extensie	+120/-15	135	0 (+85/+100)
		F	8 abductie/adductie	+30/-15	45	0
knie	onderbeen	S	9 extensie/flexie	+0/-135	135	0 (-95/-125)
enkel	voet	S	10 flexie/extensie	+110/+55	55	+85/+95
heup/onderbeen/enkel		R	11 rotatie/exo/endo	+110/-70	180	+0/+15
schouder	bovenarm	F	12 abductie/adductie	+180/-30	210	0
		S	13 omhoog/n. achteren	+180/-45	225	(+15/+351)
elleboog	onderarm	T	14 lateraal/mediaal	+140/-40	180	+40/+90
		S	15 flexie/extensie	+145/0	145	+85/+110
pols	hand		16 ulnair/radiaal	+30/-20	50	0
			17 flexie/extensie	+75/-60	135	0
schouder onderarm	arm	R	18 endo/exo	+130/-120	250	-30/-60
onderarm	onderarm	R	19 pronatie/supinatie	+90/-90	180	+70/-70

Figuur 7.4 Enkele belangrijke gewrichtsexkursies (Lange, 1991). (S = sagittaal, F = frontaal, R = Rotatie, T = Transversaal).

gewricht	beweging	Dempster	Houy	Schnelle	AAOS*	ISOM**
schouder	anteflexie	188 (12)	178 (10)	150 - 180	180	170
	retroflexie	61 (14)	58 (11)	50	60	50
	abductie	134 (17)	124 (10)	170	180	170
	adductie	48 (9)	51 (5)	-	75	75
	endo-rotatie	97 (22)	95 (12)	80 - 90	80	60
	exo-rotatie	34 (13)	32 (9)	60	60	70
elleboog	flexie	142 (10)	138 (7)	130 - 140	150	150
	extensie	0 (0)	0 (0)	0	0	0
onderarm	supinatie	113 (22)	107 (17)	70 - 85	80	90
	pronatie	77 (24)	65 (13)	60 - 80	80	80
pols	ulnaire abductie	47 (7)	31 (5)	30 - 40	30	30
	radiale abductie	27 (9)	22 (5)	20 - 30	20	20
	palmar flexie	90 (12)	68 (10)	60 - 90	80	60
	dorsaal flexie	99 (13)	62 (9)	60 - 90	70	50

*Figuur 7.5 Maximale gewrichtsexcursies: gemiddelden (en standaardafwijkingen) in graden (vrouwelijke en mannelijke volwassenen). * Data van de American Academy of Orthopaedic Surgeons, herdrukt door The British Orthopaedic Association (1966); ** Data van de International Standard Orthopaedic Measurements, zie Russe and Gerhardt (1975).*

Factoren van gewrichtsexcursie

Leeftijd

Jongeren zijn wat leniger dan ouderen, maar het is aannemelijk dat er in de eerste acht levensjaren nog een toename is van lenigheid. Het is evident dat boven de ongeveer 40 jaar de excursiewaarden afnemen en dat die afname vooral opvalt boven de 60 jaar. Boven de 70 heeft de meerderheid artrose: gevoelige of pijnlijke gewrichten.

Geslacht

De gewrichten van vrouwen zijn over het algemeen wat soepeler dan die van mannen. Bij polsexcursies scheelt dat in gemiddelde al gauw een tien procent.

Passief of actief

Indien een externe kracht op een gewrichtsbuiging of -rotatie wordt uitgeoefend, vertoont de excursie hogere waarden dan wanneer de excursie door eigen spierwerking rond dat gewricht tot de uiterste stand wordt getrokken. Als de linkerwijsvinger achterover wordt gebogen met behulp van de andere hand of een ander persoon, zal de maximale gewrichtsexcursie groter zijn dan wanneer de spieren zelf de vinger in die richting bewegen. Een dergelijk passief maximum is overigens nog minder comfortabel dan een actief maximum.

Training

Het voorbeeld van de diepe hurkzit gaf al een indicatie van de invloed van gewoonten op de gewrichtsexkursie. Slangenmensen in het circus en sommige beoefenaars van yoga hebben excursiewaarden die in de hoge zijde “van de asymptoot” van de normaalverdeling vallen.

Nevingewrichten

Spijeren kunnen over één gewricht lopen (mono-articulaire spieren), twee gewrichten omspannen (bi-articulair) of zelfs meer (poli-articulaire spieren). Bij bi- en poli-articulaire spieren beïnvloeden de standen van de overspande gewrichten elkaar. Het is duidelijk dat een forse flexie in het ene gewricht de maximale flexie in het aangrenzende gewricht kan beïnvloeden. Een ver achterover gebogen hoofd kan minder ver roteren dan wanneer het hoofd rechtop staat. De maximale vingerflexie is bij maximale polsflexie kleiner dan wanneer de pols niet gebogen is. Deze factoren leiden tot bepaalde ontwerprichtlijnen. De belangrijkste daarvan zijn dat extreme gewrichtsposities bij mens-product interacties mochten worden voorkómen (tenzij het gymnastiektoestellen betreft) en dat, als zij onvermijdelijk zijn, grote excursies slechts kort mogen duren.

7.3 Bewegingsparameters

Met de aanduiding van de gewrichten, de namen van de bewegingen en kennis van de excursies, is het in principe mogelijk een beweging te beschrijven. Van de romp tot aan vingertop tellen alle gewrichtsbewegingen bij elkaar op en worden zo de mogelijke verplaatsingen van de extremiteit ten opzichte van het lichaam steeds groter. Daarom is besturing van die bewegingen complex en de beschrijving vaak moeilijk. Desalniettemin kunnen mens en dier die optelsom van vrijheidsgraden goed sturen, doseren en coördineren. Op het aanleren van bewegingspatronen wordt teruggekomen in hoofdstuk 11. Hier wordt met enige opmerkingen volstaan. De bewegingen van de gebruiker worden tot op zekere hoogte door (het ontwerp van) het product bepaald. Zij of hij wordt verondersteld de blik op het product te richten, er heen te gaan, te grijpen, al dan niet te bukken, het te tillen of in te drukken, enzovoort. Hoe dat precies gebeurt, is afhankelijk van de situatie en de ruimtelijke en temporele resolutie waarmee men observeert, maar daarvan is voor mens- product interactie weinig bekend. Bij deze observaties is een aantal zaken van belang.

Vrijheidsgraden van mens-product interactie

Bij pianospel zijn de vingerflexies naar aard, omvang en volgorde precies vastgelegd. Bij stenen metselen is er een grote vrijheid van bewegen, ofschoon ervaren metselaars een efficiënte en overeenkomstige werkwijze vertonen. Bij spelen met een bal zijn er talloze manieren van bewegen. Het ene product staat een vrijere, minder vastgelegde bediening toe dan het andere.

Individualiteit

Als men maar precies genoeg kijkt, blijkt geen mens hetzelfde te bewegen als de ander. Men kan iemand aan zijn loopbeweging of handschrift zelfs herkennen. Het is ook opmerkelijk dat het hanteren van eenzelfde product door eenzelfde gebruiker kan variëren, niet alleen tijdens het leerproces, maar ook als er een min of meer omljnd bedieningspatroon is bereikt. Iemands loop of handschrift kan opgewekter of neerslachtiger zijn dan normaal; er kunnen bijvoorbeeld wisselingen in tempo of precisie zijn. Er is dus ook bij beweging zowel sprake van intra-individuele spreiding als van inter-individuele spreiding. Die varianties moeten kleiner zijn bij pianospel of technisch tekenen dan bij briden of koffiezetten. In veel gevallen van mens-product interactie komt het er niet zo op aan en zijn die varianties niet relevant. Het is zelfs een goede menselijke eigenschap dat vele verschillende bedieningsbewegingen tot hetzelfde doel kunnen leiden. Het kan een goed ontwerpprincipe zijn, de gebruiker zelf per geval te laten bepalen hoe te bewegen, met welke spier-inzet en in welk tempo.

Kritische bewegingen

Extra aandacht bij het ontwerpen is op zijn plaats, indien redelijkerwijs kan worden aangenomen dat er gebruikers zijn die door de mogelijke gebruikssituaties en door de eigenschappen van het product onaanvaardbare bewegingen zullen (moeten) maken. 'Onaanvaardbaar' moet hier begrepen worden als 'onnodig vermoeiend, onveilig, ongezond, frustrerend of onhandig'. Bij het ontwerpen van supports kan een onjuiste vorm en positie van ondersteuningsvlakken leiden tot onaanvaardbare houdingen en bewegingen, zoals we straks zullen zien. Een noodstop ontwerpen die niet goed te bereiken is, of die een bizarre bedieningsbeweging vergt, is natuurlijk ook niet acceptabel. Bij series van bewegingen kan de soort beweging bijzonder kritisch zijn, omdat een op het eerste gevoel onschuldige beweging bij frequente herhaling kan leiden tot 'repetitive strain injury' (RSI: beschadiging van vooral pezen door herhaald belasten). Langdurige arbeid achter een verkeerd ontworpen toetsenbord of 'muis' kan op die manier leiden tot het 'carpal tunnel syndrome', een pijnlijke aandoening aan de pols, die moeizaam geneest (zie ook 8.4 'Ontwerpen van handwerktuigen').

Als er bij productbediening kritische bewegingen aan de orde zijn, is er dus nadere analyse van de bewegingsmogelijkheden geboden. Wat is de reactietijd om de lichaamssegmenten in beweging te zetten?; gaat de beweging daadwerkelijk langs een goed en natuurlijk traject?; is de bewegingssnelheid aan het begin, in het midden en vlak voor het doel adequaat?; wordt er met de hand en arm in comfortabele standen contact gemaakt en verder gemanipuleerd met het product?; welke vermoeiing en kostbare fouten treden er op bij de bediening?

Er is op dit gebied betrekkelijk weinig ontwerprelevant onderzoek gedaan. Om de voornoemde soorten vragen systematisch te beantwoorden, wordt door productontwikkelaars vaak de intuïtieve weg gevolgd. Dat leidt veelal tot een ontwerp volgens het 'ego-type'. Bij het vermoeden van kans op 'kritisch bewegen' is echter

nader observeren gewenst van, liefst onhandige, gebruikers die mock-ups, prototypen of overeenkomstige producten bedienen of gebruiken. De ontwerper blijft immers enigszins verantwoordelijk voor het geheel van houdingen en bewegingen, dus voor het ‘interactie-ballet’ rond en aan haar/zijn ontworpen product!

7.4 Lopen

Om een korte illustratie te geven van een complex, natuurlijk bewegingspatroon, volgen hierna enkele gegevens over het lopen. Voor het ontwerpen van outfits en mee te dragen lasten kan dat ook van belang zijn. Het dient echter vooral als voorbeeld van motorische coördinatie. Locomotie moet door kinderen worden geleerd: van rollen tot kruipen, en daarna via teengang tot normaal lopen. Bij volwassenen is de loopsnelheid ongeveer tussen de 4 en de 6 km per uur en boven de 8,5 km/u gaat wandelen over in looppas. Bij lopen is er een voet op de vloer (standbeen) en een zwaaiend been (speelbeen). De staplengte is de afstand tussen het vloercontact van linker- en rechtervoet. De schredelengte is de afstand tussen opeenvolgend vloercontact van dezelfde voet. Tijdens het lopen is er een moment dat beide voeten de grond raken. Het loopbeeld wordt onderzocht naar staplengten, stapfrequentie, symmetrie en dergelijke.

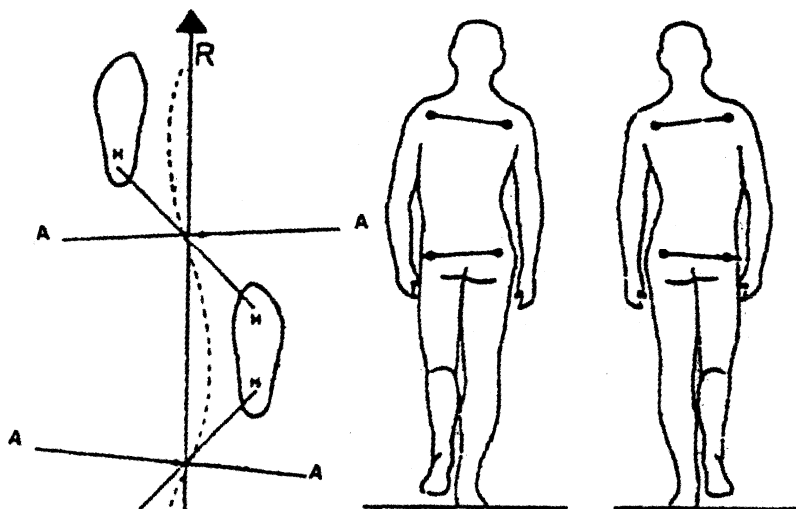
Opmerkelijk zijn de slingerende bewegingen van lichaamsdelen en van het massamiddelpunt tijdens het lopen. In de verschillende aanzichten bezien maakt het massamiddelpunt van het lichaam een sinusoidale beweging. De kruin golft dus niet alleen op en neer, maar ook van links naar rechts en relatief (ten opzichte van het bekken) voor- en achterwaarts. Als het rechterbeen standbeen is, bevindt het massamiddelpunt zich iets naar rechts en vice versa. Het evenwicht wordt bewaard door het draaien van bekken en schouders, zoals te zien is in figuur 7.6. De heuplijn (lijn door beide bekkenkammen) kantelt ten opzichte van een, ook bewegende, lijn door de schoudergordel. De romp tordeert bij lopen dus rond de X-as en de Y-as. De afstand tussen schouder en standbeen wordt dus verkleind en die tussen bekkenpunt (supracristale, zie figuur 6.3) en standbeen vergroot. Het omkeren van die draai-bewegingen is voor ons, niet-telgangers, moeilijk, onnatuurlijk en niet vol te houden. Op soortgelijke wijze kunnen routine-handelingen bij bedienen en hanteren van producten worden beschouwd, waar er evenwicht wordt gezocht tussen de bewegingen van de verschillende lichaamssegmenten; niet alleen bewegen de segmenten die direct bij de bediening betrokken zijn, maar er zijn ook bij-effecten op de totale lichaamshouding en -bewegingen.

7.5 Ontwerpen van middelen voor lichaamsondersteuning (vervolg)

Wat al behandeld werd en nog niet behandeld gaat worden

In het vorige hoofdstuk werd in 6.5 ‘Ontwerpen van middelen voor lichaams-ondersteuning’ een begin gemaakt met de ergonomische achtergronden en

richtlijnen voor dit belangrijke type onder de fysiek ondersteunende producten. Het type product werd omschreven, de functionele ontwerpparameters werden genoemd en belangrijke statisch-antropometrische steun-dimensies werden behandeld. We kunnen dat nu gaan uitbreiden met enkele meer dynamische aspecten van houdingen en bewegingen. We zullen echter de biomechanische aspecten van krachtopvang en drukverdeling pas in het volgende hoofdstuk aan de orde stellen, om vervolgens dan ook de belangrijkste elementen uit het programma van eisen voor een werkstoel te noemen.

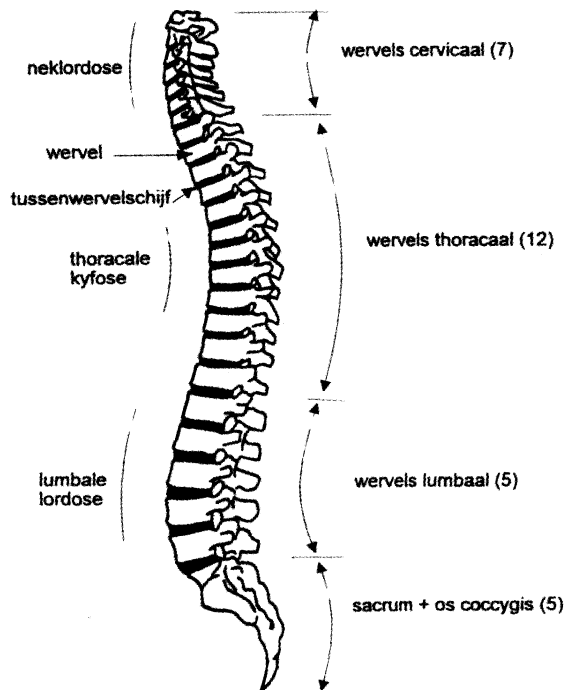


Figuur 7.6 Beweging van schouderlijn (AA) en heuplijn (HH) (Carlsöö, 1972).

De prijs van het rechtop staan en gaan

De menselijke species heeft weliswaar het lichaamsschema van een zoogdier, maar wijkt af door de rechtopgaande gang. Die ontwikkeling in de evolutie van viervoeter naar tweervoeter bracht vele voordelen. De ogen kwamen hoger boven de grond, zodat men verder kon zien; de armen kwamen vrij om te manipuleren, zodat de hand zich kon ontwikkelen tot een bijzonder grijporgaan; de herseninhoud groeide, ondermeer om die handen te kunnen sturen; bepaalde onderdelen van het hoofd verfijnden tot spreekorgaan; de gezichtsmimiek werd subtieler. Die verbeteringen gaan samen met ingrijpende biomechanische veranderingen, zoals in het loopgedrag (zie 7.4 'Lopen'). Vooral het feit is belangrijk dat de massa van het bovenlichaam (romp, armen en hoofd) geheel op bekken, benen en voeten rust. De krachten worden door de min of meer flexibele wervelkolom doorgeleid naar het bekken. Zonder spieren vormen de wervels een slappe ketting, terwijl het bekken nagenoeg uit één stuk bestaat. In werkelijkheid worden de wervels tevens verbonden door tussenwervelschijven die een beperkte bewegingsmogelijkheid hebben. De wervelkolom wordt ondersteund door spieren, pezen en banden. Door twee concave (lordose) en een convexe (kyfose) buigingen van de wervelkolom in

het sagittale vlak (zie figuur 7.7) kan de wervelkolom enigszins veren, waardoor krachten beter kunnen worden opgevangen. De buikspieren zorgen bij het aanspannen voor druk in de buikholte, die ook bijdraagt aan het in model houden van de wervelkolom en dus aan het opvangen van krachten. Tenslotte is het totale bekken evenmin geheel star, want beide zijden van de bekkenkom kunnen iets bewegen ten opzichte van elkaar bij houdingsveranderingen van het lichaam. Het buigend moment is het grootst bij de wervels vlak boven het bekken, de vijf lenden- oftewel ‘lumbale’ wervels. Deze lumbale wervels krijgen het hard te verduren (harder dan dezelfde wervels bij viervoeters) en vormen daardoor een zwak punt.

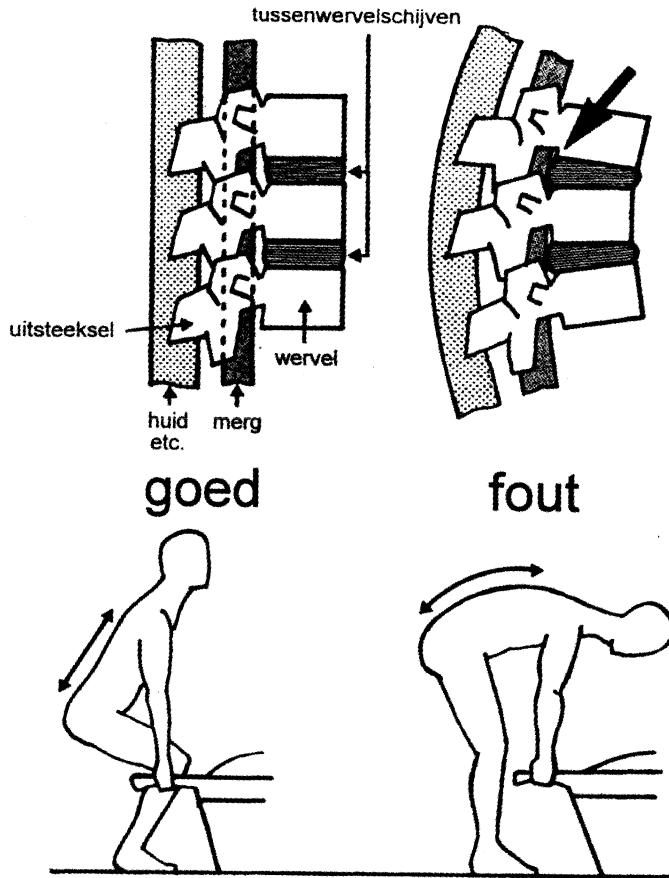


Figuur 7.7 De vorm en componenten van de wervelkolom (naar links = x^+).

Lumbale kyfoserig als zwak punt

In de normale, rechtopstaande en onbelaste positie is er, zoals uit figuur 7.7 bleek, een lichte holling (concaviteit ofwel lordose) van de lumbale wervels. Indien, bijvoorbeeld door tillen, er een extra kracht op de lumbale tussenwervelschijven wordt uitgeoefend, zullen die elastische schijven verder worden ingedrukt. Indien er geen al te zware last getild wordt, zal na afloop elke tussenwervelschijf weer naar zijn oude vorm terugkeren. Dat geldt vooral als de krachtlijn evenwijdig is aan het ruggenmerg, dat als grootste communicatiekanaal, beschermd door de wervelkolom loopt en tussen de wervels steeds zenuwafzakkingen heeft. In die situatie worden de tussenwervelschijven in de juiste richting en gelijkmatig belast,

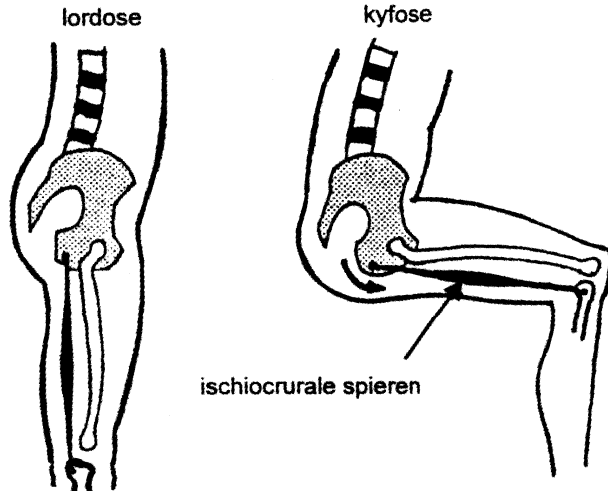
zie figuur 7.8. Indien echter de lichte lordosering van de lumbale wervelkolom omslaat in kyfosering, waardoor de tussenwervelschijven ongelijkmatig vervormen tot wiggen, en bovendien de extra (til) krachten groot zijn, kan een schijf een hernia (breuk) oplopen. Aan de zijde van het ruggenmerg is die hernia het meest waarschijnlijk, zoals af te leiden is uit figuur 7.8.



Figuur 7.8 Invloed van lumbale kyfosering op de vorm van tussenwervelschijven (tillen met de knieën versus tillen met de rug).

De schijf en zijn uitpuilende kernmassa kunnen het ruggenmerg onder druk zetten, wat kan leiden tot pijn, gevoelloosheid of zelfs verlamming van de lichaamsdelen, die behoren te signaleren via en gestuurd te worden door het ruggenmerg onder (vanaf de hersenen gezien) de breuk. Bij verkeersongelukken wordt soms het ruggenmerg geheel onderbroken. Dat heet dwarslaesie en kan op verschillende hoogten in de wervelkolom optreden. Een hoge dwarslaesie, bijvoorbeeld cervicaal (nek), heeft ernstige invaliditeit tot gevolg, omdat alle gewaarwordingen en wilscommando's onder de hals onmogelijk zijn geworden. Bij te zwaar tillen in onjuiste houdingen zal een lumbale hernia dus tot pijn, verminderde arbeidsgeschiktheid en zelfs tot verlamming kunnen leiden.

Door het langdurig innemen van houdingen, waarbij een vérgaande lumbale kyfose optreedt, kan dergelijk onderrug-lijden echter ook ontstaan. Helaas treedt dat lijden bijzonder vaak op (nationale schattingen belopen miljarden guldens aan zorg en productieverlies). Ons lichaam is gebouwd om te liggen en te lopen, maar is niet erg geschikt voor langdurig zitten of staan, als er geen goede mogelijkheid is tot ondersteuning en motiliteit.



Figuur 7.9 Kyfoserig van lumbale wervels.

Lumbale kyfoserig bij zitten

De evolutie van viervoeter tot tweervoeter heeft tot gevolg dat er bij staan grote druk op de voetzolen komt. In beweging, bij mobiliteit en motiliteit, is er afwisseling en is die druk acceptabel. Stil staan geeft echter problemen en dat is lastig, want dat wordt vaak van mensen gevraagd. Het is dus niet zo verwonderlijk dat zittende houdingen en de ondersteuning daarvoor een veel voorkomend element in de menselijke cultuur zijn geworden. Indien die zithouding gecombineerd wordt met handenarbeid en/of kijkwerk, zal de romp ongeveer rechtop gehouden worden en zullen de kniehoek en heuphoek in de buurt van de 90° moeten zijn. De lichaamsbouw zorgt er dan voor dat de zitbeenknobbels een belangrijke functie hebben in de doorleiding van de kracht van het ondersteunde deel van het lichaam naar het ondersteuningsvlak. Uiteraard zitten daar de spier- en vetweefsels en huid van de billen tussen. Bij het innemen van de zithouding kantelt het bekken aanmerkelijk (een 30° , zie figuur 7.9). Voor een belangrijk deel komt dat door de aanhechtingsplaatsen en de lengte van de 'ischiocrurale' spieren. Hun beperkte lengte zorgt er voor dat de onderzijde van het bekken bij een heuphoek van 90° naar voren wordt getrokken en de lumbale wervelkolom van lordose naar kyfose gaat. Dit is uiteraard ongewenst. Met spieractiviteit kan die kyfoserig worden tegengegaan, maar na verloop van tijd wordt men moe en dan wordt

meestal de weg van de minste weerstand gekozen: dan glijdt de bovenzijde van het bekken naar achteren, wordt op de rek van de gewrichtsbanden afgesteund en komen de lumbale tussenwervelschijven enigermate in de eerder beschreven ongewenste wigvorm. Men zit dan in elkaar gedoken, de schouders hangen naar voren en de rug is over de hele lengte teveel gekyfoseerd. Afhankelijk van tijdsduur, gewicht en extra belasting, getraindheid, lichaamsbouw en -conditie, kan door verkeerd zitten rug-lijden ontstaan en dat gebeurt dan ook daadwerkelijk op grote schaal tegen hoge kosten van zorg, pijn en verlies van activiteit.

De lumbaalsteun

Daarom is voor de ontwerper van werkstoelen het tegengaan van kyfoserig een 'must'. Dat kan door middel van een lumbaalsteun (ofwel onderrugsteun), die de lumbaalwervels in de juiste houding ondersteunt. Ter hoogte van de tweede of derde lumbale wervel (ongeveer ter hoogte van de navel, ofwel een 20 tot 25 cm boven het zitreferentiepunt) moet de onderrug onder de juiste hoek door de lumbaalsteun gesteund worden. Deze lumbaalsteun is gewoonlijk licht indrukbaar en is in zijaanzicht enigszins convex, met het meest vooruitstekende punt dus op 20 – 25 cm hoogte (zie ook figuur 8.9). In bovenaanzicht bevindt dat punt zich op enkele cm vóór de zitreferentielijn. Een goede lumbaalsteun is zo breed als de rug en volgt enigszins de transversale contour van de rug ter plaatse.

De functie van de lumbaalsteun is om extreme kyfoserig tegen te gaan, maar kan niet de lordose geheel terugbrengen tot de hoek die bij staan wordt aangenomen. Het belang van de lumbaalsteun verklaart waarom de zitting (zie 6.5 'Ontwerpen van middelen voor lichaamsondersteuning') niet zo diep mag zijn dat de zitters met korte bovenbenen niet helemaal naar achteren kunnen zitten, want daardoor missen ze de onderrugsteun. Het belang van de lumbaalsteun was ook de reden dat bij het overzicht van de ondersteuningsvlakken (figuur 6.26) de lumbaalsteun, met het zitvlak en de voetensteun, gerekend werd tot de belangrijkste ondersteuningsvlakken.

Lumbale ontwikkeling

Voorafgaand aan de puberteit is de lumbale lordose veel geprononceerder en is de kyfoserig bij de zithouding waarschijnlijk geringer. Desalniettemin is het te riskant bij kinderstoelen en schoolmeubilair de lumbaalsteun weg te laten. Bij bejaarden is de lumbale lordose bij staan aanmerkelijk verminderd, maar is desalniettemin een onderrugsteun van extra belang, vooral omdat ouderen vaak langere tijd zitten en minder verzitten.

Hoe zit men?

De ongemakkelijke banken en stoelen uit vroeger tijden suggereren dat de comfort-eisen toen geringer waren, maar tevens dat men per etmaal waarschijnlijk minder zat. De huidige cultuur is een 'zitcultuur' geworden, waarin de mens zittend werkt, eet, zich ontspant en vervoert. Zoveel zitten kan leiden tot een vicieuze cirkel: de

conditie van de spieren vermindert, dat heeft rugpijn tot gevolg, waarop men anders gaat zitten, de rugspieren zo min mogelijk gebruikt, waardoor de conditie van de spieren weer verslechtert, enzovoort.

Er is veel onderzoek gedaan naar zithoudingen. Als voorbeeld geven we twee onderzoeken. Grandjean (1969) onderzocht de werkhoudingen van 378 administratieve werkers die, zittend op hun werkstoel aan hun bureau, lezen, schreven, telefoneerden enzovoort. Hieruit bleek dat de percentages van houdingen als volgt waren verdeeld over het totaal aantal observaties:

- romp: voorwaarts (15%), rechtop (52%), achterwaarts (33%);
- steunen: ruggesteun (42%), armen op tafel (40%);
- benen: voorwaarts (14%), in rechte hoek (45%), achterwaarts (18%), asymmetrisch (16%).

Branton (1967) onderzocht de zithoudingen van Britse treinreizigers en kwam tot het volgende overzicht van gebruik van ondersteuningsvlakken bij twee typen zetels (zie figuur 7.10). Hieruit blijken de variëteit c.q. motiliteit van zithoudingen, maar ook enig verschil tussen de twee typen 'seats' en tussen mannen en vrouwen. Uit het veelvuldig gebruik van de armsteun is af te leiden dat dit onderdeel bijzonder functioneel is. Bij zittend werken wordt de schoudergordel ontlast door de onderarm of pols op een tafel te laten steunen. Door een tafel wordt de kinematische keten van romp en arm min of meer gesloten (beide uiteinden van de ledenketting hebben contact met de vaste wereld). Dit gebeurt ook bij gebruik van een hoofdsteun, waarbij het achterhoofd gesteund wordt, zodat het hoofd minder door spieren overeind hoeft te worden gehouden.

		Seat I		Seat II	
Posture		Men	Women	Men	Women
		(%)	(%)	(%)	(%)
Head	1 Free	62	64	62	65
	① Free and hand	12	13	14	12
	2 On headrest	18	18	4	6
	② On headrest and hand	2	1	0	*
	3 On wing	5	3	17	13
	③ On wing and hand	1	1	4	4
Trunk	1 Free	5	5	10	9
	2 On backrest	53	91	66	87
	3 Slumped	42	4	24	4
Arms	1 Free	6	16	17	32
	2 On armrest	94	84	83	68
Legs	1 Free	39	39	55	57
	2 Knees crossed	30	32	18	20
	3 Ankles crossed	4	9	6	12
	○ Forward	27	20	21	11
N		348	212	470	470

Figuur 7.10 Resultaten van een onderzoek naar het gebruik van ondersteuningsvlakken onder 5000 treinpassagiers (Branton, 1967).

Staan en half staan

Staannd werken was vroeger meer regel dan uitzondering. ‘Klerken’ stonden aan een lessenaar te schrijven. Zittend werk heeft nu de overhand en is ook aangenamer bij lange werktijden. Een werktafel voor staand werk wordt nog wel aangetroffen voor kortdurend werk of indien er veel armkracht nodig is. Op de werktafel kunnen de armen of handen soms steun vinden. Bij grove en krachtige handenarbeid dient de hoogte van het werkvlak een 10 cm onder de ellebooghoogte staand te zijn (zie Dined-tabel maat 7, in figuur 6.8). Voor fijner werk, waarbij er goed gekeken en precies gemanipuleerd moet worden, moet het werkvlak echter op ongeveer 10 cm boven die ellebooghoogte worden gesitueerd.

Voor gevallen waar vaak en snel moet worden opgestaan en/of weggelopen, wordt wel eens gebruik gemaakt van een sta-steun. Daarbij wordt een houding tussen staan en zitten ingenomen. De benen staan dan gestrekt schuin naar voren en enigszins gespreid en het zitvlak heeft dan soms de vorm van een fietszadel, om meer greep op de zitting te krijgen. Is bij een werkstoel de verdeling van de ondersteuning voor zitting, voeten en rug ongeveer respectievelijk 60%, 25% en 15%, bij zo’n sta-steun wordt dat ongeveer 50/50/0. Omdat bij een sta-steun de voeten wat meer naar voren staan, is de benodigde oppervlakte ongeveer dezelfde als bij een stoel en is er dus geen oppervlaktewinst.

De opvang van druk bij lichaamsondersteuning komt aan de orde in hoofdstuk 8.

7.6 Ontwerpen van persoonlijke uitrusting (vervolg)

De op het lichaam meegedragen producten, om te beschermen, te bedekken of om bij de hand te hebben, beïnvloeden vanzelfsprekend de lichaamsattitude, locomotie en manipulatie. Bij de statische antropometrie hebben we al gememoreerd dat outfits de ontwerpmaten kunnen vergroten en/of verkleinen. Is voor het ontwerp van een douche-cabine de naakte ledepop met de netto Dined-maten toepasbaar, daarentegen is men in de meeste situaties van mens-product interactie gekleed en staat men verhoogd op hakken. Ook bij functionele maten, zoals de reikwijdte, kan een strak pak het bereik verminderen. Het ziet er naar uit dat elke bescherming of bedekking tevens “een prijs heeft”. In het volgende zullen enkele invloeden van outfits globaal worden behandeld, om daarna wat verder in te gaan op twee productsoorten: helmen en handschoenen.

Het innemen van ruimte

Het is evident dat bedekking als ‘tweede huid’ extra ruimte inneemt. Bij aërodynamische kleding van wedstrijdfietsers is die ruimte gering, maar bij een eskimo op jacht is het netto-volume bijna verdubbeld. In Humanscale, één van de platen uit de veelgebruikte serie van Diffrient et al. (1974, 1981), wordt de kledingtoeslag voor belangrijke antropometrische dimensies gegeven bij verschillende kledingtypen voor mannen en vrouwen. Bij civiele winterkleding bijvoorbeeld kunnen de bruto schouder- en heup-breedte 5 à 7,5 cm toenemen. Bij militaire pooluitrusting zijn die toenamen tweemaal zoveel. Winterschoenen

zorgen ook voor enkele centimeters toename in zowel de lengte als de breedte van de voet. Bij vrouwen zijn die toeslagen gemiddeld uiteraard wat minder, ofschoon hoge hakken de lichaamslengte bij staan en de onderbeenlengte bij zitten, centimeters kunnen verhogen. Zeer hoge hakken zijn overigens niet gezond. Ze zorgen voor overmatige lumbale lordosering, waarvan men ook rugpijn kan krijgen en te hoge belasting van de voorvoet, waardoor de voet op latere leeftijd pijnlijk kan misvormen (halux valgus). Dragen kleine vrouwen relatief vaker hogere hakken dan grote vrouwen? Het moge duidelijk zijn dat banken in een park of in openbaar vervoer met meer toeslagen moeten worden gedimensioneerd dan zitmeubelen in een interieur waar lichtere kleding wordt gedragen. Voor locomotie, en derhalve voor de maatvoering van doorgangen zoals deuren en vluchtluiken, is een toeslag voor 10 cm op de elleboogbreedte raadzaam. Als het kan, dus dimensioneren voor $P_{99,9} \text{♀} + 10\%$!

Massa en ervaren lichaamsschema

Persoonlijke uitrusting weegt iets en de spieren, die zorgen voor het volhouden van houdingen of voor het veranderen ervan, worden daardoor dus extra belast. Bij gewone kleding is die toename van het lichaamsgewicht met enkele procenten (buitenkleding 2 tot 4 kg) nauwelijks merkbaar. Het wordt anders als de uitrusting ondermeer bestaat uit een rugzak van 20 à 30 kg of uit meegedragen grote instrumenten. De spierinzet en de sturing van de beweging passen zich snel aan. De meegedragen extra massa en vormen worden onbewust ervaren als deel van het eigen lichaam. Het te sturen lichaamsschema wordt uitgebreid en aangepast. Naarmate die extra massa zich dichterbij het eigen massa- middelpunt bevindt en minder onafhankelijk beweegt en niet schuift, kost het meedragen minder energie en gaat het dus efficiënter. Toch verricht het lichaam meer arbeid en dat uit zich in eerder vermoeid raken, net zoals dat geldt voor een persoon met een relatief zwaar eigen lichaamsgewicht.

Houdingen

De trage en beperkte bewegingen van personen in duikerpakken bij het diepzeeduiken, of van astronauten in ruimtepakken, maken duidelijk hoe extreme kleding de houdingsveranderingen beïnvloedt. Er zijn pakken, waarin het niet goed zitten is, en tennissen in een rokkostuum is behelpen. Bij het ontwerpen van kleding en outfits moet altijd rekening gehouden worden met de vereiste bewegingsvrijheid. Er is echter ook uitrusting waarmee men het tegenovergestelde van bewegingsvrijheid wil bereiken: dwangbuizen, corsetten en lende-riemen voor gewichtheffers of motorrijders.

Warmte-uitwisseling

Kleding wordt ontworpen en gebruikt afhankelijk van de temperatuur, vochtigheid en luchtsnelheid van de omgeving. De isolerende werking van kleding hangt voornamelijk af van de dikte van de bedekkende weefsellaag. Het is de in het

weefsel gevangen lucht die voor de isolatie zorgt. Daarom isoleert nat weefsel veel minder. Daarom ook is één dik kledingstuk minder effectief dan vele dunne lagen kleding over elkaar heen, waar automatisch meer lucht tussen zit.

Er is een maat voor de isolerende waarde van kleding, de 'clo-unit'. In een normaal geventileerde ruimte met een relatieve vochtigheidsgraad van 50% voelt een ontklede, rustig zittende persoon zich comfortabel bij 30 °C. Met kleding ter isolatiewaarde van 1 clo kan die temperatuur omlaaggebracht worden tot 21 °C. Een dikke trui heeft een clo-waarde van ongeveer 0,34 en schoenen van 0,04. Een persoon in forse poolkleding draagt wel voor 12 clo-waarden kleding. Er bestaan normcurven, om af te lezen met hoeveel clo-waarden aan kleding men het bij een bepaalde omgevingstemperatuur een bepaald aantal uren redelijk kan uithouden. De geschiktheid van kleding hangt echter ook af van de mate, waarin huidvocht in dampvorm naar buiten kan. Er is daarvoor een index van permeabiliteit die loopt van 0 tot 1, waarbij gemiddelde kleding een permeabiliteit van 0,5 heeft. Er bestaan ook watergekoelde vesten, rubber pakken met ingebouwde warmte-elementen, kleding met opgedampt metaal tegen hittestraling en vele andere speciale oplossingen om het binnenklimaat van kleding aangenaam te houden.

Helmen

Helmen vormen een tweede hersenpan en dienen over het algemeen om te beschermen tegen mechanisch geweld. Een helm moet de impact opvangen van een vallend object, projectiel of van het lichaamsgewicht bij zelf vallen of stoten. Meestal is er een verende laag tussen helm en hoofd om de schok te dempen en zo de kans op een hersenschudding te verminderen. Er zijn helmen voor op de bouw, voor in het leger, voor op de motorfiets, voor tijdens het wielrennen of voor personen die ernstig lijden aan vallende ziekte (epilepsie). Er zijn ook helmen die verschillende extra functies hebben, zoals koptelefoons, of voor jachtvliegers zelfs met een vizier waarop wisselende informatie wordt geprojecteerd (HMD: Helmet Mounted Displays). Vanwege de grote verschillen tussen mensen in de vorm van het hoofd (zie bijvoorbeeld de maten in figuur 6.28) moet er bij ontwerpen van helmen grote aandacht aan de juiste afmetingen worden besteed. Een helm zal dus in- of verstelbaar moeten zijn, maar ook enigszins flexibel om de kleinste maat- en vormverschillen te kunnen opvangen. Die flexibiliteit kan meestal worden bereikt met behulp van zachte delen binnen in de helm en niet met de harde buitenschaal. Verstelbaarheid kan worden bereikt met verstelbare kinbanden, of banden rond de kruin (het in- en verstelbaarheidstype). Om de grootste maatverschillen te overbruggen, worden er van harde helmen soms versies van verschillende grootte gemaakt (het product-varianten type van par. 4.2). Naarmate de helm meer oppervlak van het hoofd omsluit, kan het ventilatie-probleem toenemen. Men denke aan de zoëven genoemde permeabiliteits-index. Voor meer bescherming betaalt men gewoonlijk de prijs van meer massa, minder bewegingsvrijheid om het hoofd te roteren en vaak ook een verminderd blikveld. Bij jachtvliegers, die soms aan grote versnellingen worden blootgesteld, kan de relatief zware helm een zware

belasting voor de nekspieren betekenen. Een goed omvattende motorfietshelm kan het achterom kijken soms riskant belemmeren, terwijl ook het waarnemen van verkeersgeluiden er door gehinderd kan worden. Sinds de middeleeuwse ridderhelm is er echter wel veel verbetering te constateren op het gebied van materialen, constructie, passing en comfort.

Handschoenen

De handen zijn de voornaamste natuurlijke middelen voor manipulatie en daarmee zijn ze bij uitstek de mechanische contactpunten met de wereld. Aan de hand- en vingerbewegingen moet daartoe vrijheid worden gelaten, maar de omgeving kan te koud of te heet zijn en de te manipuleren voorwerpen ruw, vuil, scherp of chemisch agressief. We hebben het hier dus niet over de puur decoratieve handschoen, maar vooral over werkhandschoenen. Ook die zijn er in vele soorten, zoals de want, de rubber handschoen van medicus of chemicus, de halve handschoen van metselaars of auto-coureurs, de tuinhandschoen voor de rozenkweker, de dikke handschoenen van base-baller of bokser. De beschermende materialen zijn ook legio: leer, textiel, rubber, kunststof.

De mogelijke belemmerende factoren, die bij kleding in het algemeen werden genoemd, gelden ook bij het dragen van handschoenen: ze kunnen extra ruimte innemen, zodat de monteur niet of nauwelijks bij een machine-onderdeel kan komen; ze kunnen de handhoudingen, zoals het ballen van de vuist of het spreiden van de vingers, beperken; er kunnen ventilatieproblemen ontstaan. De problemen doemen vooral op bij de combinatie van fijne handenarbeid, grijpen en vasthouden met dikke, te ruime, weinig soepele handschoenen. Er is meermalen ergonomisch onderzoek gedaan, dat aantoonde dat verschillende motorische taken minder goed met zulke handschoenen worden uitgevoerd. De hand en de vingers voelen minder van de objecten, men laat vaker iets uit de handen vallen. Ook wordt soms gevonden dat grepen minder krachtig zijn en er tussen hand en object kennelijk in de tussenlaag kracht verloren gaat. Bij het opendraaien van een onwillige jampot-deksel kan daarentegen een tussenlaag helpen door het contactvlak te vergroten, de druk te spreiden en de plaatselijke pijn te verminderen. Het vergt ontwerpervaring en experimenteren om maximale bescherming met een maximum aan manipulatieve mogelijkheden te verenigen. Op de antropometrie van de hand zal in de volgende paragraaf worden ingegaan.

7.7 Ontwerpen van handvatten, verpakking en lasten (grips, packs & loads)

Omschrijving van het type product

Bij de zesdeling van fysiek ondersteunende producten (5.2) werd als vierde producttype genoemd: handvatten, verpakking met lasten (grips, packs + loads). Als functie werd vermeld: het enige tijd vasthouden, of met de hand vervoeren of positioneren, van 'containers'. Het gaat hier bijvoorbeeld om handvatten, grepen,

beugels, lussen en dergelijke aan koffers, dozen, kratten, vaten en potten. Dit is een producttype, of eigenlijk een productonderdeel, dat voor de productergonomie waarschijnlijk minder belangrijk en gevarieerd is dan de eerder en later te behandelen typen, maar dat desalniettemin diverse ergonomische ontwerp-problemen kent.

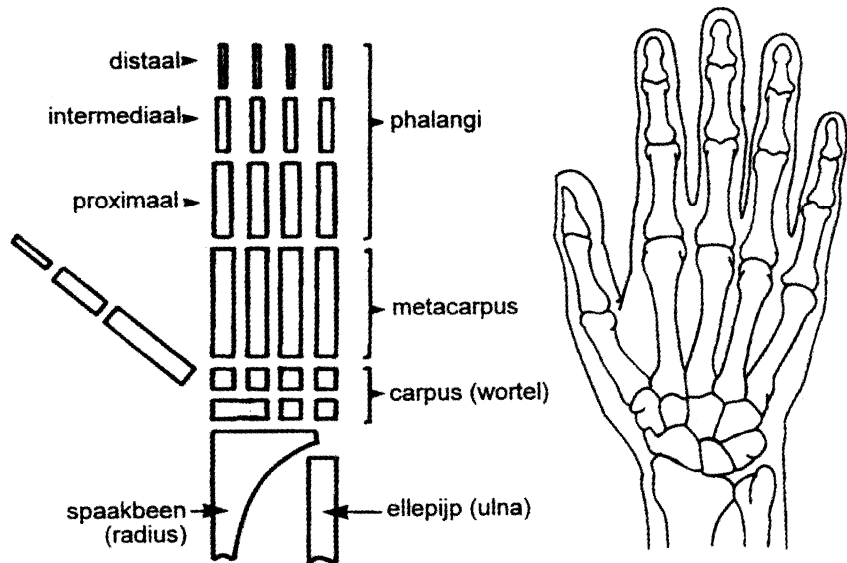
Omdat te gebruiken en verbruiken zaken nu eenmaal ongelijk in de wereldruimte gespreid zijn, valt er veel te vervoeren. Mensen kunnen vele objecten zonder verdere hulpmiddelen oppakken en dragen, zoals men bij verhuizingen merkt. Draagmiddelen zoals jukken, netten en draagbaren voor zware en/of onhandig vervoerbare objecten behoren echter al tot de oudste menselijke artefacten. Voor verzamelen, vervoeren en bewaren ontstaan er in de menselijke culturen ook al vroeg potten, bakken, kisten, vazen en dergelijke. De bedoeling van deze containers is meestal dat deze handelbaarder zijn qua afmeting, vorm en gewicht, dan de inhoud op zichzelf. Een fles van niet te groot formaat, of een luciferdoosje, vergen geen bijzondere greepvoorziening. Grote vazen krijgen echter oren, kisten krijgen uitsparingen en koffers krijgen handvatten om het één- of tweehandig verplaatsen te vergemakkelijken. Het tillen van lasten zal in hoofdstuk 9 nader worden geanalyseerd als onderdeel van de actieve krachtuitoefening. In deze paragraaf wordt echter meer ingegaan op de handvatten, op het fysieke, mechanische contactvlak. Het dragen op het hoofd, of door middel van hulpmiddelen zoals schouderjuk, draagbaar of voertuig, zal hier niet aan bod komen. Het onderwerp van deze paragraaf is de antropometrie van de hand en de greepvormen.

Anatomie van de hand

Een hand vormt slechts 0,8% van de lichaamsmassa, maar is een uitermate belangrijk motorisch en zintuigelijk orgaan. De evolutie tot rechtopgaande gang heeft de mogelijkheid geschapen vele functies bij de handen onder te brengen. Motorisch: grote variatie in arm-, hand- en vingerhoudingen en mogelijkheid tot het uitoefenen van kracht op externe objecten met grote vormvariatie en op ons eigen lichaam. Zintuigelijk: het voelen met de vingers en handen, om oppervlakken, vormen, weerstanden en bewegingsmogelijkheden in de wereld te verkennen en om ons eigen handelen te sturen. De hand is ook een orgaan voor non-verbale communicatie door gesticuleren, aanraken en gebarentaal.

De hand is bevestigd aan de onderarm (figuur 7.11) vooral aan het spaakbeen (radius) en in mindere mate aan de ellepijp (ulna). Vanuit de elleboog kunnen de ellepijp en het spaakbeen min of meer om elkaar heen draaien en maken op deze wijze een hand-pols rotatie (pronatie en supinatie) mogelijk.

Vervolgens is er de overgang van pols naar hand in de vorm van kleine botjes (handwortelbeentjes). Deze botjes zijn wel met elkaar verbonden, maar zijn niet geheel star. Met het groeien tot volwassenheid wordt de onderlinge verbondenheid van deze botjes groter en verliest dit deel zijn beweeglijkheid. Aan de handwortelbeentjes zitten de middenhandsbeentjes bevestigd (middenhand heet 'meta carpus'). Deze zijn beweeglijker dan de handwortelbeentjes. Aan deze middenhand



Figuur 7.11 Botstructuur van de hand.

zitten de vier zeer beweeglijke vingers bevestigd (phalangi), die opgebouwd zijn uit kootjes. Voor het onderscheid tussen de kootjes hanteert men de aanduiding proximaal (dichtst bij de romp gelegen), intermediaal (middengebied) en distaal (verst van de romp gelegen). De duim is niet bevestigd aan de middenhand, maar aan de handwortelbeentjes (min of meer aan de zijkant).

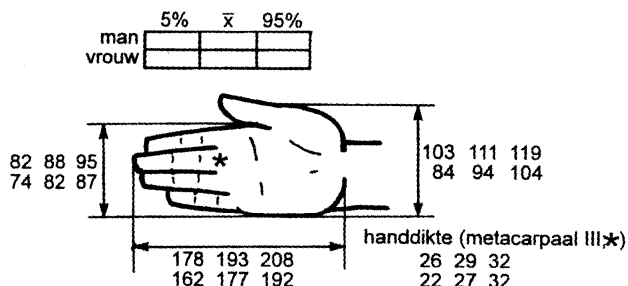
Een belangrijke bewegingskarakteristiek van de menselijke duim is dat deze 'geopponeerd' (§ 7.2) kan worden. Naast de flexies in de duimkootjes is in zekere mate ook een verplaatsing/rotatie van de muis van de duim mogelijk.

Maten van de hand

Voor de hand kan men vier hoofdmaten onderscheiden:

- handbreedte met duim (bruto handbreedte);
 - handbreedte zonder duim (netto handbreedte);
 - handlengte;
 - handdikte (en wel op standaardplaats: overgang middenhand naar middenvinger).
- In figuur 7.12 worden deze maten gegeven voor een volwassen mannen- respectievelijk vrouwenhand.

De meeste waarden zijn uit de Dined-tabel gehaald (zie figuur 6.8). Het zijn de gemiddelde (\bar{x}) waarden, de P_5 - en P_{95} -waarden voor mannen en vrouwen. De percentielwaarden kunnen berekend worden uit de gemiddelde waarden en de standaardafwijking. De vier genoemde hoofdmaten kunnen aangevuld worden met een groot aantal detailmaten. In de U.S.A. heeft Garrett in 1971 de voornaamste handmaten gemeten, er enkele functionele en excursie-maten aan toegevoegd en deze in een tabel gezet.



Figuur 7.12 Hoofdmaten van een volwassen hand (mm).

1 t/m 9 in cm 10, 11, 12 in booggraad	♂		♀		♂ met handschoen	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
1. handlengte	19,7	0,9	17,9	0,9		
2. handbreedte - duim	10,4	0,5	9,1	0,6		
3. handbreedte - 4 vingers	9,0	0,4	7,7	0,4		
4. handdikte metacarpaal 3	3,3	0,2	2,8	0,2		
5. omtrek middenvinger	5,4	0,3	4,5	0,2		
6. omtrek gesloten vuist	29,6	1,3	24,8	1,3		
7. spanwijdte (duim- en pinktop)	21,5	1,5			19,5	1,5
8. interne greep diameter	4,9	0,4			4,4	0,4
9. externe greep diameter	10,6	0,8			10,7	0,7
10. hand - pols rotatie	190	21,4				
11. flexie en extensie	143	8,4				
12. adductie - abductie	55	4,0				

Figuur 7.13 Handmaten uit onderzoek Garrett (1971), rekenkundig gemiddelde en standaarddeviatie voor mannen, vrouwen en mannen met handschoenen.

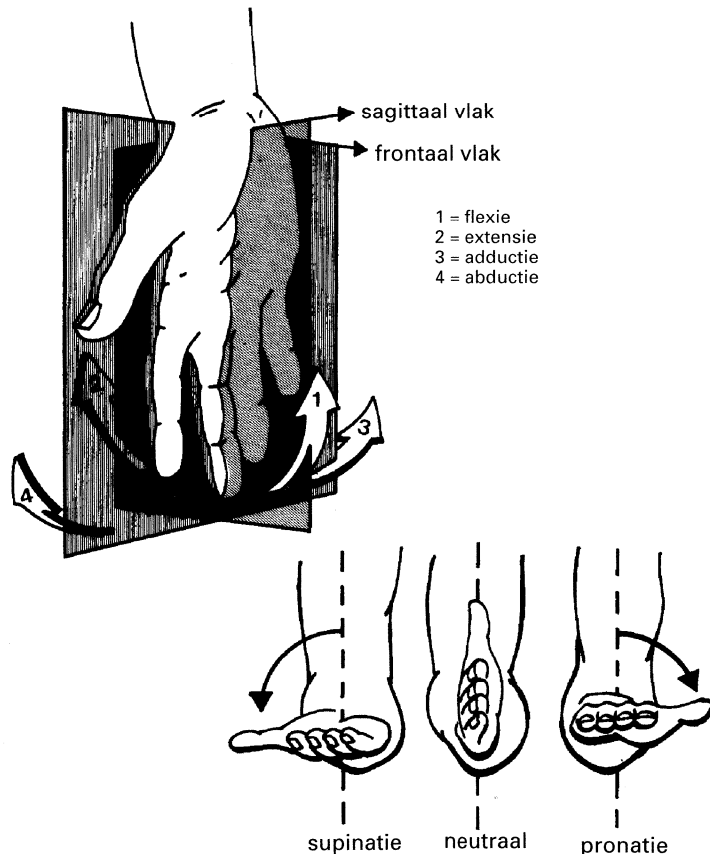
Indien de gebruiker van een product handschoenen draagt tijdens het gebruik, zijn de maten van de blote hand niet van toepassing. Garrett heeft in de tabel verschillende meetwaarden gegeven van de hand met een 'normale' handschoen. Met de term normaal wordt hier bedoeld niet zwaar (dus niet bijvoorbeeld zware leren motorhandschoenen) en niet licht (dunne kunststof operatiehandschoenen). Vergelijkt men de waarden uit figuur 7.12 met die uit figuur 7.13, dan blijken deze niet met elkaar overeen te komen. Dit vindt zijn oorzaak in het feit dat de metingen in verschillende landen uitgevoerd zijn. De lichaamsmaten kunnen van land tot land sterk variëren. De ontwerper zal bij het maken van een productontwerp hiermee rekening moeten houden. In figuren 7.12, 6.8 en 6.9 werden handmaten van Nederlandse consumenten vermeld.

Bewegingen van de hand

In de tabel van figuur 7.14 worden de waarden gegeven voor maximale bewegingsuitslagen, ofwel gewrichtsexcursies. De bewegingen in en van de hand heten dus supinatie, pronatie, flexie, extensie, adductie en abductie (zie figuur 7.14 en 7.3 t/m 7.5). Figuur 7.14 geeft hiervoor de gemeten waarden aan.

(in graden)	P_{10}	\bar{x} σ	P_{90}	\bar{x} σ
Supinatie (exorotatie)	77	113	149	
Pronatie (endorotatie)	38	77	116	
Flexie	78	90	110	104
		(75)		
Adductie (radiaal, pinkrichting)	12	27	42	38
		(15)		
Abductie (ulnair, duimrichting)	35	47	59	58
		(30)		

Figuur 7.14 Gewrichtsexkursies van de pols, de waarden zijn verkregen door externe krachttuioefening op de segmenten, behalve de waarden tussen haakjes: die zijn verkregen door willekeurige beweging.

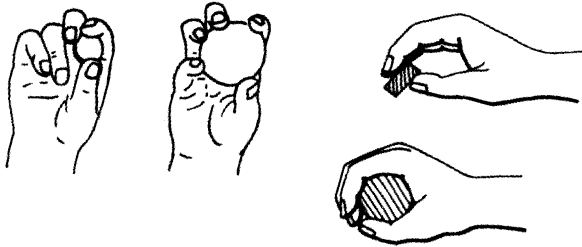


Figuur 7.15 Benaming van bewegingsmogelijkheden van de hand.

Manipulatie

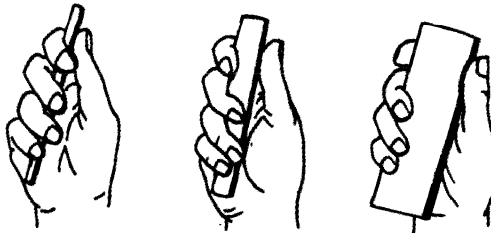
Doordat de handsegmenten afzonderlijk kunnen bewegen, is het mogelijk met vingers, duim en/of handpalm, voorwerpen te omsluiten en/of te omklemmen (vast te houden). De voorwerpen kunnen hierbij grote verschillen vertonen in vorm en

afmeting. De menselijke hand is in het gehele dierenrijk een uitzonderlijk veelzijdig grijporgaan. Figuur 7.16 illustreert dit.



Figuur 7.16 De hand als grijporgaan.

De hand kan het voorwerp losjes vasthouden, terwijl ook een krachtige greep door de hand uitgevoerd kan worden. Figuur 7.17 toont enkele voorbeelden van een mogelijk krachtige greep van soortgelijke voorwerpen van verschillend formaat.



Figuur 7.17 Krachtige handgreep.

Bij inzet van alleen de distale kootjes spreekt men van ‘precisie-greep’, bij het ook nog inzetten van de handpalm van ‘kracht-greep’.

Door het uitvoeren van bewegingspatronen met de vingers, de duim, de pols en/of de onderarm, kan men een voorwerp een beweging laten uitvoeren en in een gewenste positie brengen. Men noemt dit ‘manipuleren’ (hand-bewegen). Tijdens dit manipuleren zullen de grijpkrachten van de hand en de contactvlakken tussen de handdelen en het voorwerp soms variëren in plaats of grootte tijdens het contact. Het manipuleren of positioneren van voorwerpen kan ook geschieden door het voorwerp met delen van de hand bijvoorbeeld te duwen, te schuiven, of te kantelen. In deze gevallen spreekt men echter niet van greep, maar betreft het hoofdzakelijk enkele beperkte contactvlakken tussen delen van de hand en het voorwerp en een eenvoudig gerichte, uitgeoefende kracht op het voorwerp.

De voet en ‘pedipulatie’

Het verhaal voor de hand geldt in een beperkte mate ook voor de voet. De bewegingsmogelijkheden van de voetonderdelen zijn beduidend minder dan die van de handonderdelen. Een belangrijk verschil is onder andere dat de duim kan opponeren, terwijl de grote teen dit niet kan. De functiemogelijkheden van de voet, vooral geëigend voor staan, lopen en grotere krachttutoefeningen, worden voor de

mens-werktuig interactie echter zelden optimaal ontwikkeld en in het gebruik worden zij vaak onderbenut. Het voetenspel van een organist tijdens het spelen van een moeilijke orgelpartituur, laat zien dat ze complexe motorische bewegingen kunnen maken. Enkele gehandicapten, die het gebruik van handen en armen ontberen, kunnen vele taken met de voeten uitvoeren. De functiemogelijkheden van de voet blijken dan zowel in motorisch als sensorisch opzicht zeer groot. Benen kunnen ook een grotere kracht opbrengen/volhouden dan armen. In het algemeen worden de voeten gebruikt bij de volgende taken: ondersteuning, verplaatsing, voortbeweging, positionering van voorwerpen in de omgeving. Slechts in beperkte mate wordt de voet ingezet bij de bediening van systeemfuncties op apparaten (voetpedalen).

Grepen en greepvormen

Bij het grijpen, vasthouden, tillen of vervoeren is meestal zoveel kracht nodig dat het daarvoor gebruikte handvat een goede kracht-greep moet toestaan. Met een precisie-greep kan nu eenmaal geen maximale kracht worden uitgeoefend.

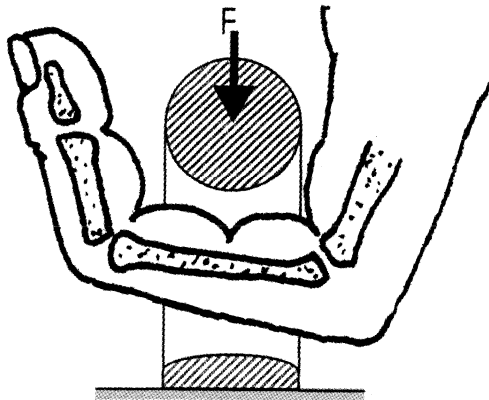
De hand bevindt zich aan het eind van de ledenketting en kan dus iedere positie innemen binnen de reikenveloppen (zie 6.4 'Ontwerpen van kleine verblijfsruimten'). Door objecten in de hand te nemen kan men de ledenketting verlengen en verzwaren. Dragen wordt over het algemeen gedaan met verticale, gestrekte arm, of bij tweehandig dragen met enigszins naar elkaar toegebogen en geheven onderarmen.

De handen kunnen ongeveer 360° roteren indien naast de pronatie-supinatie van de pols ook de bovenarm mee roteert, of wanneer de bovenarm na een elleboogflexie ook ab- of adduceert en indien tenslotte de schouder en romp ook meebuigen. Dergelijke extreme rotatie kan natuurlijk slechts kortstondig worden volgehouden. Bij het dragen van objecten moeten de betrokken gewrichten liefst in comfortabele standen worden ingezet.

Van minstens even groot belang als de positie van de hand en de stand van de hand ten opzichte van de arm, zijn de standen van de handpalm en de vingers. Zoals zoëven benadrukt is, hebben we hier te maken met een kracht-greep, waarbij per definitie ook (een deel van) de handpalm betrokken is. Het tillen met de vingers alleen, door slechts contact met de greep te maken met de middelste vingerkootjes, is alleen bij lichte lasten mogelijk, c.q. aan te raden. Bij grepen en greepvormen hebben we dus te maken met een weliswaar veel voorkomende, maar toch specifieke vorm van krachttuioefening door de hand. Verderop, waar tools en controls behandeld worden, zullen andere vormen van manipulatie aan bod komen, variërend van duwen met de wijsvingertop tot een complex ballet van vingers, duim en handpalm aan een object.

Het handcontactvlak bij grips + loads bevindt zich voornamelijk bij de proximale vingerkootjes van de vier vingers en in tweede instantie bij de metacarpus en mediale phalangi (figuur 7.18). De sluitvormen van vingers en greep kunnen verschillend zijn. Bij een L-vormige greep zijn de vingers gestrekt onder een rechte

hoek met de handpalm. Daarbij is de grip relatief los. Bij een U-vormige greep sluiten de vingers zich al meer om de greep, zodat die steviger is dan de L-vorm. Bij een volledige omsluiting van de handgreep, in een O-vorm, raken de vingertoppen de handpalm, vooral op de muus van de duim. De stand van de duim is betrekkelijk vrij. Naarmate de behoefte aan een stevige greep groter wordt, wegens de massa van de last of doordat arm en last nogal bewegen en de last daardoor uit de vingers kan glippen, zal de handvorm van een gebruiker overgaan van een L-vorm naar een O-vorm. Bij langdurig dragen zal de handhouding af en toe gewisseld worden, net zoals er bij éénhandig dragen zo nu en dan van hand gewisseld zal worden indien dit mogelijk is.



Figuur 7.18 Doorsnede van vingers in een U-vormige greep om een handvat.

Ontwerpparameters bij grips, packs & loads

De volgende factoren zijn van invloed op de moeite die de gebruiker moet doen om een container of andere last te tillen of te dragen en waarmee men dus als ontwerper van grepen rekening houdt.

Te verrichten arbeid

Het gewicht van de last en de duur en het traject van het tillen en dragen bepalen uiteraard in de eerste plaats hoeveel moeite de drager moet doen voor het dragen. Deze bepalen in hoeverre er door de ontwerper extra aandacht aan het handvat moet worden gegeven. Dat daarbij rekening moet worden gehouden met de kracht en vaardigheid van de drager is evident. Hierop wordt verder ingegaan in hoofdstuk 9 'Actieve krachtuitoefening'.

Afmetingen van de last

Bij het pakken en vervoeren zullen de spieren een moment moeten overwinnen, dat liefst zo klein mogelijk moet zijn. Afwezigheid van volume is ideaal, maar ondenkbaar. Een koffer die zo hoog is dat hij de grond raakt bij het dragen met gestrekte arm, moet met gebogen arm gedragen worden. Dat geeft een ongunstig

moment en vergt dus extra kracht van elleboog en romp. Het torsen van een pakket dat zo breed is dat het tegen de zijkant van het lichaam aankomt of dat bij elke schrede tegen het lichaam stoot, maakt extra spierinspanning noodzakelijk voor de abductie van de arm. Bovendien is dat irritant. In het algemeen moet het massamiddelpunt van de last zo dicht mogelijk bij het lichaam zijn om makkelijk gedragen te worden. Bij éénarmig dragen kan het massamiddelpunt dus het best in het verlengde van de verticale, gestrekte arm liggen.

Oriëntatie van handgreep

Veel grepen aan lasten zijn er om een til-beweging of een horizontale verplaatsing te bewerkstelligen. Men denke aan kisten of kratten met grepen aan weerszijden. De grepen bij kratten zijn meestal horizontaal georiënteerd. Dat is voor heffen vanaf de grond weliswaar juist, maar voor dragen met horizontale onderarmen bepaald niet ideaal. Als zowel greep als onderarm horizontaal zijn, dan worden de polsen immers ge-abduceerd. Bij het op deze wijze verplaatsen van zware kisten of bij het langdurig of frequent dragen van lichtere lasten kan dit leiden tot pijn en ontstekingen. Ook een geroteerde houding van de pols tijdens krachtoefening moet men zoveel mogelijk vermijden. De horizontale greep is hierbij dus niet ideaal, maar die wordt wel vaak gebruikt omdat het handvat dan van twee kanten te gebruiken is (zodat de oriëntatie van de doos er dan niet toe doet) en omdat er bij schuine handgrepen extra schuifkracht zal optreden, wat ook niet gewenst is. Een rond gat als greepvorm zonder oriëntatie, of een verticale greeporiëntatie, zijn zelden geschikt voor tillen en dragen.

Meer greepmogelijkheid

Het voorbeeld van de kist die aan weerszijden handvatten heeft, geeft al aan dat handvatten op meer dan één positie op een last kunnen worden bevestigd. Er kunnen bijvoorbeeld verschillende handvatten worden gegeven voor tillen en, na overpakken, weer andere voor horizontaal verplaatsen. Soms wordt het dragen nog extra lichter gemaakt door een schouderband of polsband.

Greepbreedte

De greep moet zijn afgestemd op krachtig contact met vooral de proximale kootjes van de vier vingers. Daarom is die 'netto' handbreedte het criterium voor de breedte van de handgreep. Een goede breedte van een handvat kan als volgt worden berekend. Men neme de breedte van de hand (bron: Dined 23, figuur 6.8) voor het 99ste percentiel mannen, dat is 122,6 mm; en dan voor vier vingers, is maal $4/5 = 98$ mm. Vervolgens telle men daar twee tot vier centimeter bij op, om de hand wat bewegingsvrijheid te geven. Het is belangrijk dat de hand kan bewegen, want een handvat dat precies past zal aanvoelen alsof het te klein is. Zo verkrijgt men de minimale breedte van de greep, maar er is weinig bezwaar tegen een nog breder handvat. Dat wil zeggen, zolang het duidelijk is waar de hand geplaatst moet worden en zolang het massamiddelpunt van de last gunstig blijft liggen. Het

verdient daarom soms aanbeveling de greep met diameter (dus niet een 'uitgespaarde' greep in een kist) aan beide uiteinden via een afgeronde overgang wat te verdikken. Bij de bepaling van de maat zal soms ook rekening moeten worden gehouden met handschoenen, waardoor er een handschoen-toeslag nodig is.

Greepdiameter

Bij een cirkelvormige doorsnede van een handgreep wordt de hand meestal in een U- of een O-vorm gehouden. Een optimale greepdiameter voor tillen is ongeveer 30 mm (Drury, 1980). Voor kinderknustjes gaat die maat uiteraard niet op en dient men in de tabel van Steenbekkers (figuur 6.9 en 6.10) de maat no. 30 (handbreedte netto) te interpreteren. Bijvoorbeeld de netto handbreedte van P_3 (2-5 jr.) = 47 mm, en P_3 (volwassenen m+v) = 67 mm; dus de optimale greepdiameter voor 2- tot 5-jarigen is te schatten als $(47/67) \times 30 \text{ mm} = 20 \text{ mm}$.

Greepvorm in de breedte

Voor het ego-ontwerp kan men met een stuk stopverf de contravorm van de binnengreep van de eigen hand in U- of O-vorm bepalen. Dat is echter niet zo'n goed idee om deze vorm met vingerkuiltjes te gebruiken voor massaproductie. De vorm en afmeting van handen in handgreep-houding vertonen grote inter-individuele spreiding. Een handgreep met kuiltjes die specifiek is ingesteld op de vingers van één bepaalde hand, zal voor bijna alle andere handen onaangenaam en op den duur pijnlijk aanvoelen (ook bij de andere hand van de gemeten persoon). Bovendien staat een dergelijk 'tailor made' handvat geen motiliteit van de hand toe, zodat verschuiven en anders vastpakken niet mogelijk is. Het aanbrenge van vier geprononceerde vingerkuiltjes is dus altijd een verkeerde oplossing. Een licht convex (in de richting dwars over de dragende vingers) gekromd handvat, of eventueel een recht handvat, zijn de beste vormen voor een handgreep. Een sterk concaaf handvat moet te allen tijde worden vermeden, aangezien de vingers daarbij tijdens het uitoefenen van kracht naar elkaar toe gedrukt worden.

Greepvorm in diameter

Zoals in figuur 7.18 te zien viel, is er voor het krachtige huidcontact een afgeronde vorm nodig. Aan de draagzijde is een cirkelboog wenselijk, of afrondingen met een straal van ongeveer 3 tot 6 mm. Om een goede O-vormige greep mogelijk te maken, kan de tegenoverliggende zijde smaller zijn, zodat de doorsnede ei-vormig wordt.

Textuur van greep

Vingerribbels zijn dus duidelijk af te raden; door lichte textuur (kleine ribbels of putjes) daarentegen wordt wegglijden bemoeilijkt waardoor de grip, en daardoor de greep, juist verstevigd worden. Een lichte indrukbaarheid kan hetzelfde doel dienen, mits de gelijkmatige drukverdeling gehandhaafd blijft.

Vrije vingerruimte

Handvatten plaatse men dicht op de last, maar de vingers moeten voldoende ruimte hebben om tussen greep en last te worden geplaatst en om bij het tillen en vervoeren niet beklemd te raken. De maat voor deze afstand kan bijvoorbeeld afgeleid worden uit figuur 7.12, waar de dikte van de handpalm bij de middelvinger (metacarpaal III) staat aangegeven. Rekening houdend met de maten van de P_{99} man wordt de minimale vrije vingerruimte 33 mm (Drury, 1980).

Beweeglijkheid van de greep

Bij veel koffers scharniert het handvat in de lengte-as van de last. Een scharnier-as in een andere richting maakt het dragen lastig. Het scharnier in de lengte-as geeft een goede bewegingsmogelijkheid en zorgt ervoor dat de last zichzelf gunstig kan positioneren. Het is handig als door neerklappen van die greep de opbergruimte kleiner wordt. Een zware last dragen aan een touw heeft tot gevolg dat de last niet goed te controleren is en kan gaan slingeren. De last kan dan een 'eigen ballet gaan uitvoeren', zodat extra sturing en kracht nodig zijn. Dit komt omdat de kinematische keten van arm, hand, greep, touw en last, dan niet alleen open, maar bovendien te flexibel is. Daar komt bij dat de arm en het lichaam al lopende ook sinusoïdaal bewegen, zoals in 7.4 'Lopen' werd behandeld. Een onbeweeglijke, of een hooguit in één richting scharnierende, verbinding tussen greep en last verdient de voorkeur.

Handgrepen kunnen dus via eenvoudige ontwerprichtlijnen ergonomisch worden geoptimaliseerd. Helaas vindt men nog te vaak dat er alleen wordt afgestemd op de krachtige grote man, ofschoon het kinderhandvat ook wel eens aan volwassenen wordt opgedrongen. De voorgaande richtlijnen hebben ook implicaties voor de handvatten op voertuigen, zoals (motor-)fiets, of duwstangen van karretjes en greepeinden van hendels. Enkele principes (zoals textuur, vingerruimte, beweeglijkheid en oriëntatie) kunnen ook gelden voor vingergrepen, zoals bij deksels of tuimelschakelaars.

Ook uit dit hoofdstuk blijkt weer, hoe het denken in en vanuit menselijke functies voor het bedenken en ontwerpen van duurzame gebruiksgoederen wezenlijk is om de gebruikskwaliteit te verzekeren.

Begrippen

Beweging:

- k1 attitude
- k1 locomotie
- k1 manipulatie

Gewrichten:

- k2 diverse vormen
- k2 diverse bewegingsrichtingen

k2 synoviale gewrichten

Namen van bewegingsrichtingen:

k2 flexie en extensie

k2 endo-rotatie en exo-rotatie

k2 adductie en abductie

k2 pronatie en supinatie

Gewrichtsexcursies (parameters):

k3 leeftijd

k3 geslacht

k3 passieve of actieve kracht

k3 training

k3 nevengerichten

Bewegingsparameters:

k2 vrijheidsgraden

k2 individualiteit

k2 kritische bewegingen

Ontwerpen van supports:

t2 lumbale kyfoserig

t2 lumbaalsteun bij zitten

t2 sta-steun

Ontwerpen van outfits:

k2 ervaren lichaamsschema

t3 kledingtoeslag

t3 gewicht

t3 houdingen

t3 warmte-uitwisseling

t3 clo-unit

t3 permeabiliteit

t3 helmen

t3 handschoenen

Ontwerpen van grips:

t2 maten van de hand

t2 bewegingen van de hand

t2 manipulatie

t2 pedipulatie

t2 handvatten (parameters):

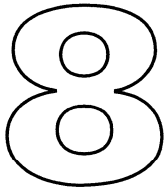
t2 te verrichten arbeid

t2 afmetingen van de last

t2	richting van krachtoefening
t2	meer greepmogelijkheden
t2	breedte
t2	diameter
t2	vorm
t2	textuur
t2	vrije vingerruimte
t2	bewegelijkheid

Vragen en suggesties

- 7.1. Uit welke onderdelen is de wervelkolom opgebouwd? Hoe worden de verschillende groepen wervels genoemd en wat kan gezegd worden over de wervingen in deze kolom?
- 7.2. Welke functies hebben de tussenwervelschijven in de wervelkolom? Aan welke materiaaleigenschappen ontleen zij deze kwaliteiten?
- 7.3. Wat verstaat men onder een lumbale kyfoserig? Is dit een gevaarlijk verschijnsel voor de wervelkolom en wanneer moet dit nadrukkelijk vermeden worden?
- 7.4. Wat verstaat men onder een hernia? Welke kwalijke gevolgen kunnen optreden als het gaat om een hernia?
- 7.5. Kuipstoelen in sportauto's hebben veelal een omsluitende vorm (voor billen, bekken en bovenbenen). Waarom is een dergelijke stoel voor het langdurig zitten niet aan te bevelen?
- 7.6. Registreer hoe vaak u verzit tijdens een college-uur. Vergelijk dit met wanneer u een uur tv kijkt.
- 7.7. Welke stangenstructuur is in de hand aanwezig en hoe luiden de namen van de verschillende onderdelen?
- 7.8. Waarom is de duim voor de functiemogelijkheden van de hand een zo belangrijk onderdeel?
- 7.9. Geef aan welke (segment)bewegingen in en van de hand mogelijk zijn. Hoe noemt men deze bewegingen?
- 7.10. Welke kwaliteiten bezit de hand als (sensorisch) inputorgaan? Waarom zijn deze kwaliteiten zo belangrijk?
- 7.11. Noem enkele situaties waar een sta-steun een welkom hulpmiddel zou kunnen betekenen.
- 7.12. Is het gebruikelijke handvat van een wandelstok ergonomisch te verbeteren?
- 7.13. Welke ontwerpergonomische verschillen kunt u bedenken tussen een handvat van een last en een handvat om een deur(slot) te openen/sluiten?
- 7.14. Fietsen is een zeer complex bewegingspatroon. Observeer eens bij uzelf in welke gewrichten buigingen en strekkingen dan optreden.



Passieve krachtopvang

Samenvatting

Er werken in het dagelijks leven allerlei krachten vanuit de omgeving op het menselijk lichaam. Dat zijn de natuurlijk altijd aanwezige atmosferische druk en zwaartekracht en de door (middel van) producten uitgeoefende krachten, versnellingen en trillingen. In dit hoofdstuk worden hun invloed op het menselijk gestel besproken en de gevolgen voor productontwerp. Bij het ontwerpen moet men ook rekening houden met deze krachten, omdat zij bij een verkeerd ontwerp soms tot pijnlijke en slepende aandoeningen van het spier-skeletstelsel kunnen leiden.

De lichaamsondersteuning wordt voor de laatste keer onder de loep genomen, waarbij een ergonomisch ideale maatvoering voor een werkstoel wordt beargumenteerd. Het ontwerpen van handvatten wordt vervolgd, waarbij het ontwerpen van een duwstang en een bus-lus wordt behandeld.

Er wordt een begin gemaakt met het ontwerpen van handwerktuigen. Zij worden omschreven en ingedeeld en de belangrijkste ontwerpparameters worden toegelicht. Als laatste wordt er een overzicht gegeven van een aantal verkeerde ontwerp oplossingen voor handwerktuigen en de gevolgen daarvan voor de gebruikers.

8.1 De krachten op en in het lichaam

In beide voorgaande hoofdstukken van de fysieke ergonomie werd de nadruk gelegd op de structurele eigenschappen van het menselijk lichaam, waarvan vooral de buitenzijde, en vervolgens op de verschillende standen en bewegingen van het lichaam en zijn segmenten. Dat gebeurde niet geheel zonder rekening te houden met krachten, maar de biomechanische aspecten kregen weinig aandacht. In dit en het volgende hoofdstuk zullen zowel de krachten die op het lichaam kunnen werken als de krachten die het lichaam zelf genereert, nader worden behandeld.

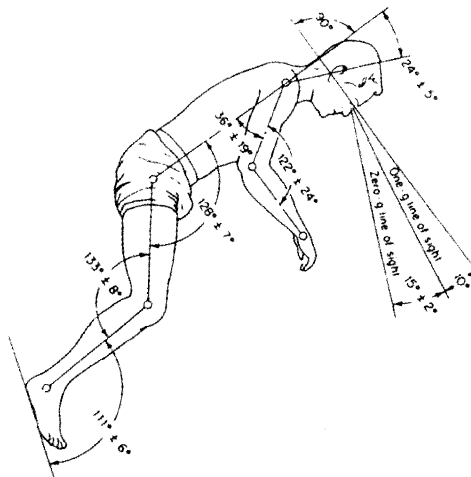
Dat zal meer in antropometrische en fysiologische dan in mechanische termen gebeuren. Er zal vooral een algemeen inzicht in de invloed van krachten worden gegeven en niet zozeer de kennis over biomechanisch modelleren en rekenen. Achtereenvolgens zullen de volgende onderwerpen de revue passeren: zwaartekracht en oriëntatie, druk op de huid door objecten, versnellingen en tenslotte trillingen. Daarna kunnen de ontwerpoverwegingen voor de producttypen supports en grips weer worden opgenomen en uitgebreid en wordt begonnen met die voor het producttype tools.

Atmosferische druk

Vertoevend op onze planeet ondergaan we continu de allesomgevende atmosferische druk en de aantrekkingskracht van de aarde. Die aantrekkingskracht geeft gewicht aan de massa van lichaamssegmenten en producten. Die omgevingskrachten hebben plant, dier en ons mede gevormd tot wat we nu zijn en kunnen. Zij zijn natuurlijk en vanzelfsprekend. We worden ons pas bewust van hun invloed als ze veranderen of afwezig zijn. Hoog in de bergen is de luchtdruk minder en tezamen met de lagere zuurstofconcentratie heeft dat een negatieve invloed op het menselijk functioneren. Het lichaam past zich overigens na enige tijd aan. Ter voorkoming van hoogteziekte verblijven bergklimmers eerst enkele weken op 2000 meter om te acclimatiseren, voordat zij hoger klimmen. Waterdruk stijgt lineair met de diepte van het water; hoge druk, zoals ondergaan wordt tijdens duiken, heeft allerlei effecten op het lichaam. Er is een limiet aan de snelheid van drukverandering die een mens kan ondergaan. Na een verblijf op grote diepte moet een duiker langzaam, aan de hand van een druk-tijd tabel, naar de oppervlakte stijgen (of boven in een autoclaaf acclimatiseren), om de beruchte caissonziekte of duikersziekte te voorkomen. Bij die aandoening gaat de stikstof, die onder de druk in het bloed was opgelost, over in gasbelletjes die de bloedstroom kunnen afsluiten en dodelijk kunnen zijn.

Zwaartekracht en oriëntatie

De zwaartekracht trekt aan het lichaam, en wel zo dat het in vrije val versneld wordt met $9,81 \text{ m/s}^2$, ofwel 1 g. Op de maan is de zwaartekracht kleiner, waardoor bewegen en lopen lichter gaan en er ook hogere sprongen kunnen worden gemaakt dan op aarde. In een 'zero-gravity environment', bij 0 g, is dat effect nog sterker: ruimtevaarders zijn gewichtloos, zweven dus en moeten een nieuwe motoriek leren.



Figuur 8.1 Ontspannen lichaamshouding bij gewichtloosheid ('zero-gravity'), figuur van Thornton (uit: Sanders & McCormick, 1993).

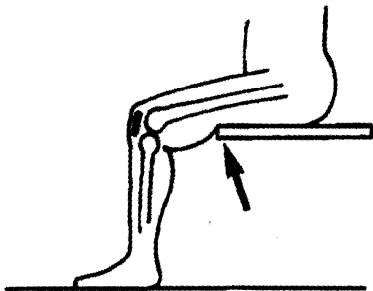
Op het aardoppervlak, waar de meeste gebruikers en producten zich bevinden, zorgt de ongeveer 101,3 kPa (1 bar = 10^5 Pa) van de atmosferische druk voor minder variatie in ons gedrag en dat van onze producten, dan de 1 g doet. Atmosferische druk heeft geen richting, zwaartekracht wel. Bij variërende houding veranderen als gevolg van die zwaartekracht ook de krachten in het lichaam, maar de kracht ten gevolge van de atmosferische druk verandert niet. De zwaartekracht draagt door zijn richting bij aan onze ruimtelijke oriëntatie en zorgt ervoor dat de segmentmassa's in de ledenketting op elkaar drukken, afhankelijk van de lichaamshouding. Die 1 g heeft tot gevolg dat het sturing en spierarbeid kost om een evenwichtige houding te handhaven, willen we niet vallen. Vallen, bijvoorbeeld van een trap op een harde vloer, is een zeer belangrijke doodsoorzaak en oorzaak van veel verwondingen.

Drukverdeling bij staan

Bij staan drukt het totale lichaamsgewicht via de voetzolen op de ondergrond. Dit geeft bijvoorbeeld bij 75 kg lichaamsgewicht en een voetoppervlak van 150 cm² per voet een gemiddelde druk op de voetzolen van 2,5 N/cm². Door de bouw van de voet wordt die druk evenwel geconcentreerd onder de hiel en op twee gebiedjes naast de grote en kleine teen. In die gebieden is de druk een veelvoud van die 2,5 N/cm². Door een binnenzool van een schoen wordt die druk wat gelijkmatiger gespreid. Door af en toe de voet te ontlasten (door optillen) en door het massamiddelpunt regelmatig te verplaatsen (door body-sway) en zo de spieren wat te wisselen tijdens het staan, kunnen we langer blijven staan.

Drukverdeling bij zitten

Bij het zitten is er een soortgelijke situatie. De voeten dragen dan minder lichaamsgewicht ($\approx 25\%$), en dat gaat ten koste van de billen, die de meeste kracht ($\approx 60\%$) opvangen op het zitvlak. Het zal vooral afhangen van de vorm van dat zitvlak, en van de lichaamshouding en het huidcontact, hoe groot de druk en hoe de drukverdeling is. De druk wordt hier geconcentreerd onder de twee zitbeenknobbels, zoals al in 6.5 'Ontwerpen van middelen voor lichaamsondersteuning' behandeld werd. Onder deze zitbeenknobbels is de druk in de orde van grootte van



Figuur 8.2 Drukcentra op bovenbeen (Åkerblom, 1969).

1 tot 2 N/cm². De grootte van het contactoppervlak en de drukverdeling aldaar worden beïnvloed door onder andere de individuele anatomie van de zitter, de helling en indrukbaarheid van het zitvlak en het eventueel dragen van extra gewicht. Een goed voorbeeld wordt gegeven in figuur 8.2. Door een scherpe voorrand aan het zitvlak kan de weke massa onder het dijbot ver, wel tot op 1/3 van de onbelaste afstand, worden ingedrukt. De doorstroming van bloed en de

geleiding van zenuwsignalen worden daardoor aanmerkelijk belemmerd of zelfs 'gestopt'. We zullen daarop straks bij het ontwerpen van supports weer terugkomen.

Drukverdeling bij liggen en decubitus

Het derde type van houding na staan en zitten, het liggen, kent soortgelijke ergonomische voorwaarden en ontwerpproblemen. Men kan daarbij de 0 g ('zero gravity', figuur 8.1)-houding als ideaal verwachten, ofschoon het totale lichaamsgewicht wel dient te worden opgevangen. Bij liggen wordt een groter deel van het lichaam ondersteund dan bij zitten of staan. Daardoor is het betrokken huidoppervlak groter en daarmee de druk lager. De indrukbaarheid van de matras zorgt voor vergroting van het steunvlak en maakt ook vele lighoudingen comfortabel. Bij liggend rusten en slapen is er ook sprake van motiliteit, door verliggen en veranderen van houding. Bij een doorgelegen matras, met een kuil in het midden, wordt de wervelkolom van een slaper gebogen. Daardoor zal men in zijn slaap frequent gaan verliggen, tot aan het onrustige toe.

De wetmatigheden zijn dezelfde als bij zitten en staan, alhoewel de gevolgen van te hoge druk pas op langere termijn merkbaar worden. Dat die gevolgen er wel degelijk zijn, kan men zien aan mensen die lange tijd in bed doorbrengen en niet uit zichzelf kunnen gaan verliggen. Zij krijgen last van doorliggen of 'decubitus'. De druk op de stuitregio en ook wel op schouders, hielen en achterhoofd zorgt voor verminderde doorbloeding van de weefsels en daardoor voor een zuurstoftekort bij de cellen. Ook worden er cellen vernield door schuifspanningen. Dit alles leidt tot rode plekken en als het proces verder gaat zelfs tot afsterving van onderliggende weefsels en de huid. Decubitus is de schrik van de verpleging. Het kan voorkómen worden door het gebruik van bedden die, meestal automatisch, regelmatig kantelen of waarbij de druk op verschillende plaatsen wordt afgewisseld met behulp van luchtkussens. Ook bij langdurig immobiel zitten, bijvoorbeeld in een rolstoel, kan decubitus optreden onder en rond de zitbeenknobbels. De druk op zolen en zitvlak bij respectievelijk het neerkomen na een sprong en het ploffen in een stoel, is aanzienlijk hoger. Het moge echter duidelijk zijn dat deze druk van zo'n korte duur is dat er misschien wel pijn, maar geen decubitus optreedt.

Versnelling

We hoeven ons geen zorgen te maken over de versnellingen die we zelf bij lopen en rennen kunnen bereiken. Deze zijn niet groot genoeg om ergonomische problemen te veroorzaken. De locomotie-hulpmiddelen met extra krachtbronnen, variërend van motorfiets tot bemenste raket, kunnen echter wel zorgelijk grote versnellingen op het lichaam uitoefenen. Versnelling of snelheidsverandering wordt uitgedrukt in m/s^2 of in g ($1 g = 9,81 m/s^2$). Snelheidsverandering wordt daarnaast gedefinieerd gedurende een bepaalde tijd, bij een bepaalde lichaams-houding en in een bepaalde richting. Deze richting wordt uitgedrukt in de drie assen X, Y en Z, en dus in 6 richtingen. Het levende lichaam reageert dan in

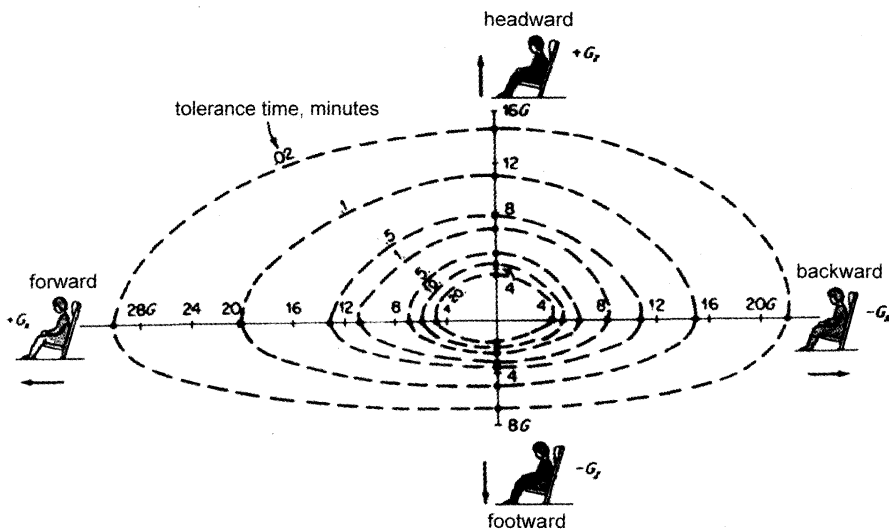
verschillend opzicht als een hydrodynamisch systeem, met de vloeistofmassa's en bloedvaten, ingewanden en ogen. De zachte weefsels worden dan verplaatst en deels vervormd. Het lichaam kan kortdurende versnellingen, in de orde van één seconde, tot 1 à 2 g goed verdragen en ondervindt daar nauwelijks effecten van. Bij acceleratie en deceleratie van dezelfde lichaamshouding treden ongeveer dezelfde verschijnselen op. De versnellings-tolerantie-limieten in verschillende richtingen zijn niet gelijk en verschillen ook nogal tussen individuen. De versnellings-tolerantie is door training enigszins op te voeren, zoals gebeurt bij militaire piloten en ruimtevaarders.

Richting van versnelling

Bij een versnelling in de richting van het hoofd (Z^+ -richting) van 2 g, dat wil zeggen dat het lichaam gevoelsmatig twee keer zo zwaar weegt, vertrekken de gezichtsspieren al. Bij 2,5 g is het moeilijk opstaan en de armen te bewegen; bij 3,5 g wordt het zien belemmerd en bij 5 tot 6 g treedt na enkele minuten bewusteloosheid in.

Bij voorwaartse versnelling (in X^+ -richting) zien we overeenkomstige effecten en daarnaast gaat het ademen moeilijker. Een zittend lichaam wordt dan met forse kracht tegen de stoel geperst.

De invloed van richting en tijdsduur wordt geïllustreerd door figuur 8.3. In de X -richtingen is de tolerantie het grootst. De stoel in een raket kan dus het best gekanteld worden, opdat de ruimtereiziger een versnelling van bijvoorbeeld zes seconden tot aan 20 g zo goed mogelijk kan weerstaan. Indien bij grote



Figuur 8.3 Gemiddelde lineaire versnellingen die in verschillende richtingen vrijwillig kunnen worden verdragen gedurende de aangegeven tijd. Iedere contour representeert een g-waarde bij een bepaalde tijd. Metingen zijn verricht op de assen, de contouren zijn geëxtrapolleerd. Chambers (1963), aangepast door Sanders & McCormick (1993).

versnellingen enigszins voorovergebogen wordt gezeten, zoals de aanbevolen positie is voor vliegtuigpassagiers tijdens noodlandingen, dan is de versnellings-tolerantie ook groter dan bij andere lichaamshoudingen. De motorfietser zit wat dat betreft beter dan de automobilist. Airbags in auto's vormen bij grote deceleratie een luchtkussen dat energie van het voorwaarts schietende lichaam absorbeert en zijn remtijd verlengt. Het kussen vermindert dus de versnelling en zorgt door zijn grote indrukbaarheid tevens voor een zachtere opvang dan gordels of dashboard.

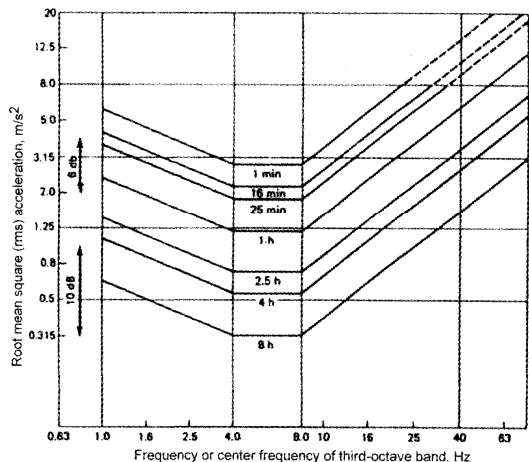
Trilling

Bij het besturen van een slecht afgeveerde tractor op een hobbelig land, of bij het hanteren van een drillboor, worden externe krachten van snel wisselende en omkerende richting naar het lichaam doorgeleid. Het lichaam is te beschouwen als een massa-veer systeem, waarbij de verschillende segmenten verschillen in eigenfrequentie. Trillingen kunnen verschillen in amplitude, frequentie, in versnelling (m/s^2) en vaak ook in m/s^3 (bij een ruk of 'jerk'). De plek van aangrijpen op het lichaam, de lichaamsstand, de spanning en veerkracht van spieren, pezen en gewrichten, krijgen dus een bepaalde mate en duur van trillingsenergie te verwerken (Industriebond, 1979).

Omdat trillingen meestal sterk wisselen in amplitude, frequentie en energie, is er een samengestelde maat ontwikkeld om een beeld te krijgen hoe het lichaam door trilling wordt belast. Die maat heet Power Spectrum Density (PSD). Bij auto's bijvoorbeeld vindt men bij analyse van PSD's energiepieken rond 1 en 15 Hz. Bij autobussen vindt men opvallend zwaardere en vooral zijwaartse trillingen. Het gehele menselijk lichaam heeft een eigenfrequentie tussen de 4 en de 8 Hz. Bij trillingen met die frequenties doet het lichaam dus het meest mee met de bewegingen en dat veroorzaakt een onplezierig gevoel en belemmert het functioneren. De oogbollen hebben echter een eigenfrequentie tussen de 10 en de 25 Hz. Het zal dus afhankelijk zijn van de frequentie van de uitwendige kracht en van de demping of versterking daarvan, of het zien belemmerd wordt. Zo mogelijk zal men dus bij het ontwerpen proberen de intredende frequentie gunstig te beïnvloeden, of eerder nog de energie door vering af te zwakken. Een bijna zwevende tractorstoel of een zachtrubber handvat van de drillboor zijn dus niet te versmaden. Er bestaan normen (onder meer ISO 2631) voor de aanvaardbare duur van trillingen van een bepaalde intensiteit en frequentie die personen ondergaan. Die normen tonen de grote gevoeligheid van mensen bij 4 tot 8 Hz. Als men bijvoorbeeld in dat frequentiegebied een bepaalde intensiteit slechts 1 minuut kan volhouden, blijkt dat voor 30 Hz wel 2,5 uur te zijn. De energie-limiet voor 1 uur onder 4 - 8 Hz ligt dubbel zo hoog bij 1 Hz, zie figuur 8.4.

Kinetose

Een speciaal onderwerp wordt gevormd door de langzame bewegingen, vooral in Z- en Y-richting, die bij schepen kunnen optreden, maar ook bij het rijden op dromedarissen en in vliegtuigen en auto's. Zeeziekte, luchtziekte, rijd-ziekte en



Figuur 8.4 Verticale vibratie-intensiteit en genormaliseerde maximale blootstelduur. Om comfortabele waarden te krijgen, moet er 10 dB worden afgetrokken, d.w.z. iedere waarde door 3,15 delen (Sanders & McCormick, 1993).

reisziekte vatten we samen onder de naam ‘bewegingsziekte’ (kinetose). De symptomen zijn achtereenvolgens slaperigheid, apathie en misselijkheid. De verklaring wordt gezocht in het gedurig voelen van lichaamsverplaatsing en het verschil daarbij tussen de oriëntatie volgens het evenwichtsorgaan en de oriëntatie volgens lichaam en ogen, waardoor de waarnemingen onderling niet altijd overeenstemmen. Bewegingsziekte treedt voornamelijk op bij ongeveer 0,2 Hz, een meest kwetsbare frequentie, waarbij de lichaamssignalen elkaar kennelijk het meest tegenspreken. Vandaar dat een berijder van de langzaam stappende en flink zwaaiende kameel er veel eerder last van heeft dan een ruiter te paard. Het paard genereert een andere frequentie. Ook hier is de inter-individuele spreiding groot en kan de trillings-tolerantie van een persoon in de tijd veranderen. Sommige zeelieden zijn steeds de eerste uren van een ruwe vaart zeeziek. Vanzelfsprekend bepaalt ook de versnellingsenergie mede het effect. Drenkelingen lijden er in de oceaan, met grotere golfamplitude en lagere frequentie, meer en eerder onder dan in een zee bij weinig wind. Op een schip helpt het om zo dicht mogelijk bij het rotatie-centrum van het vaartuig te blijven en in bussen is de beste plaats in het midden tussen de wielen. Helemaal voorin en achterin is niet de meest comfortabele plek.

8.2 Ontwerpen van middelen voor lichaamsondersteuning (slot)

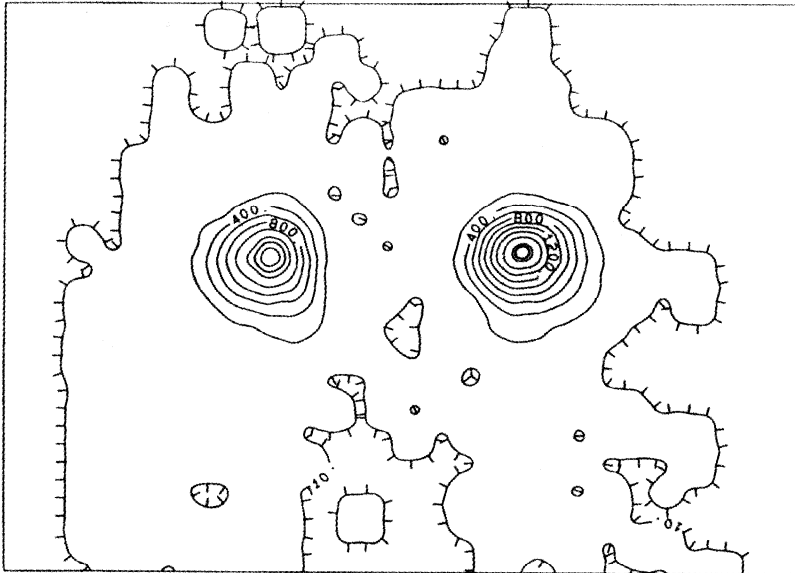
De variatie van supports en gebruik

Bij de voorgaande behandelingen van supports (in 6.5 en 7.5) werd via voorbeelden verduidelijkt dat er vele manieren en oplossingen zijn van lichaams-ondersteuning. Nu de belangrijkste ergonomische aspecten en ontwerpachter-

gronden zijn aangesneden, kan een nadere ordening worden aangebracht en kunnen de belangrijkste richtlijnen worden samengevat. Indien we ons in het volgende grotendeels beperken tot zitoplossingen en we bedden, sta-steunen en houdgrepen in openbaar vervoer achterwege laten, blijft er nog een brede variatie van zitoplossingen over. De 'stoelergonomie' kent dan ook een uitgebreide literatuur en het aantal zit-ontwerpen is bijna eindeloos (Fiell, 1997). De westerse mens brengt een belangrijk deel van zijn wakend leven zittend door. Veel stoelen zijn niet goed ontworpen, waardoor een groot deel van de mensheid slecht zit en last krijgt van discomfot en rugpijn. Mensen zijn zich weinig bewust van hun lichaamshouding. Door onbewust vaak van houding te veranderen, kan het (bewuste) discomfot enige tijd worden uitgesteld. Essentieel bij het ergonomisch ontwerpen is de juiste inschatting van de zitduur. Indien een gezond mens slechts enkele minuten hoeft te zitten onder normale omstandigheden, behoeven de ergonomische aspecten maar weinig aandacht. Een bankje in eenabri of een klantenstoel in een winkel zijn minder kritisch dan een bank in een intercity-trein of dan een rolstoel. Ergonomische aandacht voor het zitvlak is zeer belangrijk als er uren lang gewerkt (gezet) wordt, of als er grote krachten, trillingen of versnellingen zijn. Nog kritischer wordt het als er slechts beperkte mogelijkheid is om van houding te wisselen, zoals in feite vaak blijkt op te treden bij tekstverwerken. De tijdsduur gedurende welke een stoel beproefd wordt, zou gelijk moeten zijn aan de verwachte maximale of gemiddelde zitduur in de praktijk. Te vaak meent een koper ten onrechte na een zit-test van een halve minuut het comfort van een stoel te kunnen voorspellen. Over het meten van comfort zal in 20.5 'Comfot en discomfot' meer worden gezegd. In het volgende zullen de kritische ontwerp-aspecten voor langdurig zitten op een rij worden gezet.

Drukverdeling

In 6.5 'Ontwerpen van middelen voor lichaamsondersteuning' werd er op gewezen dat de druk bij het zitten voornamelijk wordt opgevangen door de zitbeenknobbels, terwijl de druk op de dijen laag dient te zijn, vooral in de buurt van de knieholte. Desondanks voldoen bijvoorbeeld twee jampotdoksels niet als zitting. Ook de meer perifere gebieden dragen een deel van de last en een groter zitvlak is tevens nodig om te kunnen verzitten. Er is dus een drukverdeling, die bij de twee zitbeenknobbels maxima (of 'toppen') vertoont en die dan geleidelijk afloopt naar de randen van het zit-contactvlak. In figuur 8.5 wordt zo'n zit-landkaart getoond, waarin de 'hoogtelijnen' van druk te zien zijn. Puntbelasting of lijnbelasting (bijvoorbeeld een naad of dubbele vouw in de stoffering) dienen te worden voorkomen. Het gaat echter niet alleen om de normaalkracht, maar ook om het voorkómen van schuifspanningen (figuur 8.6). Schuifspanningen trekken aan kleding en huid, waardoor een voorover hellend zitvlak zelden langdurig comfotabel zit. In figuur 8.7 is een sagittale doorsnede getekend van een door een zitter onbelaste en een belaste stoel. De contouren van de stoel zijn duidelijk verschillend. Die indrukbaarheid of 'stramheid' heeft een optimum gebied. Bij te



Figuur 8.5 Drukverdeling onder het zitvlak. De grootste druk bevindt zich onder de zitbeenknoobbels. De waarden in de figuur moeten nog worden omgerekend in N/cm^2 (Moes, 1994).

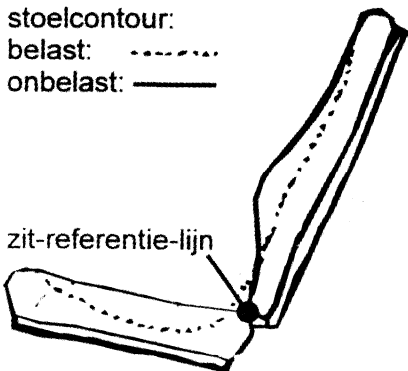
diep inzakken wordt de motiliteit belemmerd, treden er schuifspanningen op en kan de harde onderlaag weer te voelbaar worden. Bij nauwelijks inzakken wordt de contravorm te weinig gerealiseerd. De stramheid dient bij een rechtopzittende persoon met een lichaamsgewicht van 75 kg zodanig te zijn dat het materiaal ongeveer 2,5 cm inzakt bij de zitbeenknoobbels. Stramheid is een maat voor indrukbaarheid, en wordt vaak uitgedrukt in N/dm^2 . De stramheid is in dit voorbeeld ongeveer $80 N/dm^2$.

Ventilatie

Wie opstaat na enige tijd zitten op een plastic zitting, laat vaak een vochtige zitafdruk achter (vooral in de zomer als kleding dun en het weer zweterig is). Een zittende volwassene heeft een contactoppervlak van zo'n 500 tot 900 cm^2 met de zitting. Dat is 2,5 tot 4,5% van het totale huidoppervlak. De warmte-wisseling wordt met de hele huid geregeld, dus ook met het deel waar men op zit. Om deze functie van de huid niet te belemmeren, wordt het aangeraden een fijnmazig netwerk of ademend weefsel als oppervlak voor een zitting te gebruiken. Een dergelijke textuur kan ook het afschuiven enigszins tegengaan.

stoelcontour: —
 belast: - - - - -
 onbelast: —

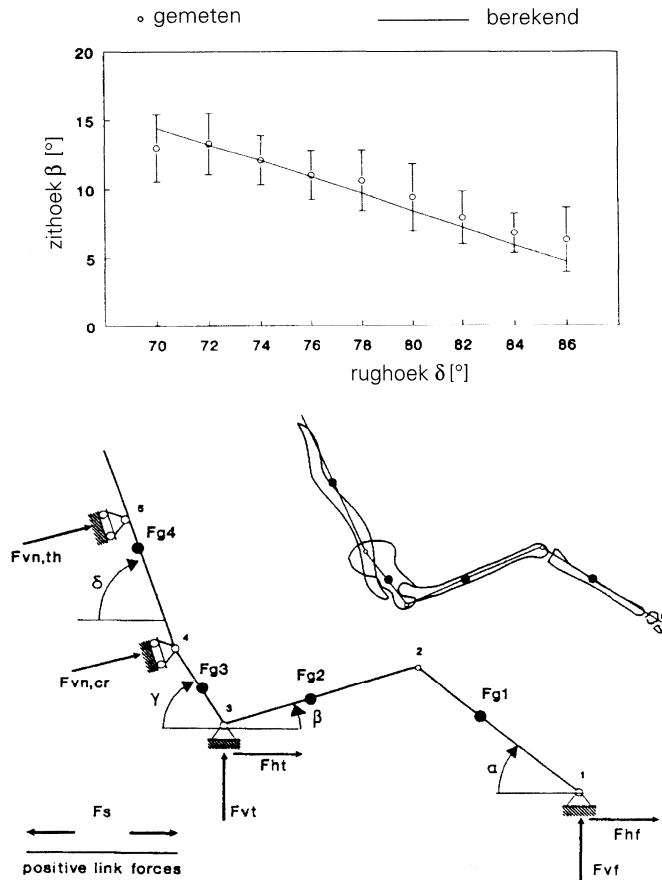
zit-referentie-lijn



Figuur 8.7 Stoelcontour belast en onbelast.

Anti-kyfoserig

Zoals eerder in 7.5. ‘Ontwerpen van middelen voor lichaamsondersteuning (vervolg)’ werd uitgelegd, moet de natuurlijke lumbale lordose bij zitten zoveel mogelijk behouden blijven en mag die zeker niet veranderen in een kyfose. Het is dus nodig om een horizontale reactiekracht te geven vanuit een onderrugsteun, waaraan soortgelijke eisen van drukverdeling en indrukbaarheid worden gesteld als aan het zitvlak. Een bijdrage aan de zijwaartse stabiliteit wordt geleverd door een, in bovenaanzicht, enigszins concave vorm (zie ook de maatschets in figuur 8.9), die de horizontale ronding van het bekken wat volgt. Het verdient ook aanbeveling de lumbaalsteun in het sagittale vlak in onbelaste toestand convex te vormen, waarbij het voorste punt zich ongeveer ter hoogte van de tweede of derde lumbale wervel bevindt, zoals al in 7.5 werd aangeduid. Gezien de spreiding bij volwassenen van die ‘L2/3-hoogte’ (\approx navelhoogte) kan dat voorste punt ergens op 20 – 25 cm loodrecht boven de zitreferentielijn liggen. De druk op de tussenwervelschijven, die daar bij rechtop- en vooroverzitten toch al respectievelijk 40% en 90% hoger is dan bij staan, neemt dan niet nog verder toe door extra kyfoserig.



Figuur 8.6 Hoekcombinaties van rughoek en zithoek volgens Goossens (1994), waarbij de afschuifkracht op het zitvlak minimaal is.

Armsteunen

Zoals eerder aangegeven, doet het gewicht van de armen de schouders wat zakken. Armsteunen zijn daarom wenselijk, zeker als handen of onderarmen niet op een tafel steunen. Voor het opstaan uit een fauteuil kunnen de voorzijden van de armsteunen worden gepakt om zich aan op te trekken. Vooral voor ouderen is dat wenselijk. De armsteunen zullen daarvoor moeten doorlopen tot aan het frontale vlak van de voorkant van de zitting. Bij werkstoelen is echter een korte elleboogsteun voldoende, zodat de armsteunen niet in de weg zitten als de stoel onder de tafel wordt geschoven. De elleboog-zitvlakhoogte (Dined-maat 13, zie figuur 6.8) is nogal variabel en, vreemd genoeg, nauwelijks gecorreleerd met de lichaamslengte (figuur 6.17). Een minimale hoogte-instelbaarheid van 20 tot 30 cm zou derhalve wenselijk zijn, ware het niet dat instelbaarheid ook zeer vaak tot verkeerd instellen leidt. Een redelijk compromis is dan te kiezen voor het ontwerptype van het gemiddelde en de armsteun 24 cm boven de zitreferentielijn te situeren. Voor bezigheden waarbij armsteunen erg belangrijk zijn, bijvoorbeeld bij typen of bij precisiewerk, moet men ze wel instelbaar maken. Voor de horizontale afstand tussen beide armsteunen dient vanzelfsprekend het ontwerptype van het hogere percentiel te worden gevolgd. Dat leidt bij een armsteun-breedte van 4 tot 6 cm tot een hart-tot-hart afstand van 50 tot 55 cm (figuur 8.9).

Extra's

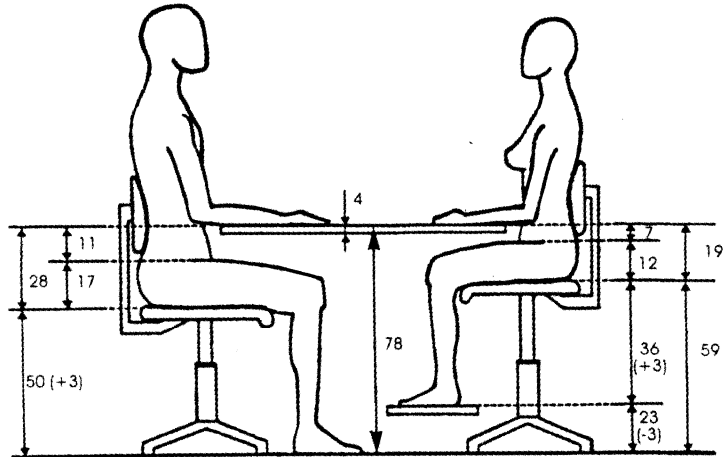
Kantoorstoelen hebben vaak meer extra's dan echt nodig is. Een kantelende lumbaalsteun, een kantelend zitvlak, een roterend zitvlak en wielen onder de (5 verplichte) poten, vormen luxe toevoegingen die voor de meeste werkzaamheden ergonomisch niet strikt noodzakelijk zijn. Ingeburgerd als ze zijn in onze zitcultuur, schaden ze echter zelden het comfort. Ze werken wel verkoop-bevorderend en suggereren extra aandacht voor de werkomstandigheden. Dat is anders gesteld bij de 'zitmachines' die ontworpen worden voor het zeer langdurige zitten van piloten en vrachtwagenchauffeurs. Bij hun stoelen is het terecht dat lumbaalsteun, rugvlakhoek, hoofdsteun en soms zelfs temperatuur kunnen worden inge(ver)steld.

Overige steunvlakken

Een luie stoel heeft een groter steunvlak nodig dan alleen een lumbaalsteun. Er is bij luie stoelen dan ook sprake van een langer en meer naar achter hellend rugvlak. De hoogte en vorm van dat vlak kunnen echter met een zekere vrijheid worden gekozen. Daarbij is het van belang welke standen de nek verwacht wordt in te nemen. Een wat achterovergebogen nek kan door een kussentje, dat in hoogte instelbaar is, worden gesteund (zie Dined maat no. 11, figuur 6.8, en Steenbekkers maat no. 16, figuur 6.9).

Een voetensteun is onontbeerlijk voor personen met korte onderbenen die aan een tafel met standaardhoogte zitten. In figuur 8.8 is de belangrijkste maatgeving aangeduid van een werktafel waaraan zowel de gemiddeld geproportioneerde P_5

als de dito P_{95} comfortabel kunnen werken. Hierbij kan er theoretisch gekozen worden voor verstelbaarheid van hetzij de tafelhoogte, hetzij de zitvlakhoogte plus het vloerniveau (met behulp van voetensteun te veranderen). Omdat zowel technisch als visueel het verstellen van de tafelhoogte geen voorkeur verdient, is het beter voor het alternatief van variabele zit- en vloerhoogte te kiezen. Op de overige maat-gegevens zal straks worden doorgedaan.



Figuur 8.8 Een 90% oplossing voor werkmeubilair (maten in cm volgens DIN 91300, 1986).

Het werkvlak werd al genoemd als handensteun, maar naast de motorische functies is er ook meestal visueel werk te verrichten. Het is waarschijnlijk dat de leesafstand en de invalshoek bij lezen en visueel inspecteren gediend zijn met een schuin werkvlak. Een werkvlak met een hellingshoek van ongeveer 15° veroorzaakt bij langdurig zittend en visueel werk inderdaad minder voorovergebogen houdingen en minder flexie van de nek. Op den duur wordt daardoor het comfort verbeterd. Van een hellend werkvlak kunnen echter objecten afglijden of afrollen. Het kan een oplossing zijn om slechts een deel van het werkvlak hellend te maken, bijvoorbeeld via een apart opzetstuk.

Ontwerpvolgorde

Bij het ontwerpen van een zittende werkplek dient men dus rekening te houden met motorische en visuele taken. Bij de analyse vooraf dient gewoonlijk begonnen te worden met de ondersteuning van de visuele keten: de stand van de ogen, daarna die van het hoofd en nek, en vervolgens de stand van de romp. In de tweede plaats moet er rekening gehouden worden met de motorische keten: de stand van de handen en onderarmen, daarna die van de bovenarmen en vervolgens weer de stand van de romp. Zodra de werkondersteuning, bliklijnen en handelingslijnen tot een ergonomisch aanvaardbare houdingscombinatie zijn gebracht, kunnen de steunvlakken van billen, voeten en onderrug worden bepaald. Soms zal het nodig zijn die reeksen een paar maal te doorlopen om een goede oplossing voor de hele

situatie te vinden. Een autobestuurder of piloot verricht naast visuele taken ook arbeid met handen en voeten. Bij het ontwerpen van ondersteuning voor dergelijke taken gaat men uit van de positie van ten eerste een 'design eye point' (waar de ogen zich moeten bevinden voor de juiste bliklijnen en hoofdstand) en ten tweede een 'design heel point' (in verband met pedaal-bediening). Daarna komen pas het zitreferentiepunt en de bepaling van de lichaamsondersteuningsvlakken.

Geometrie van de werkstoel

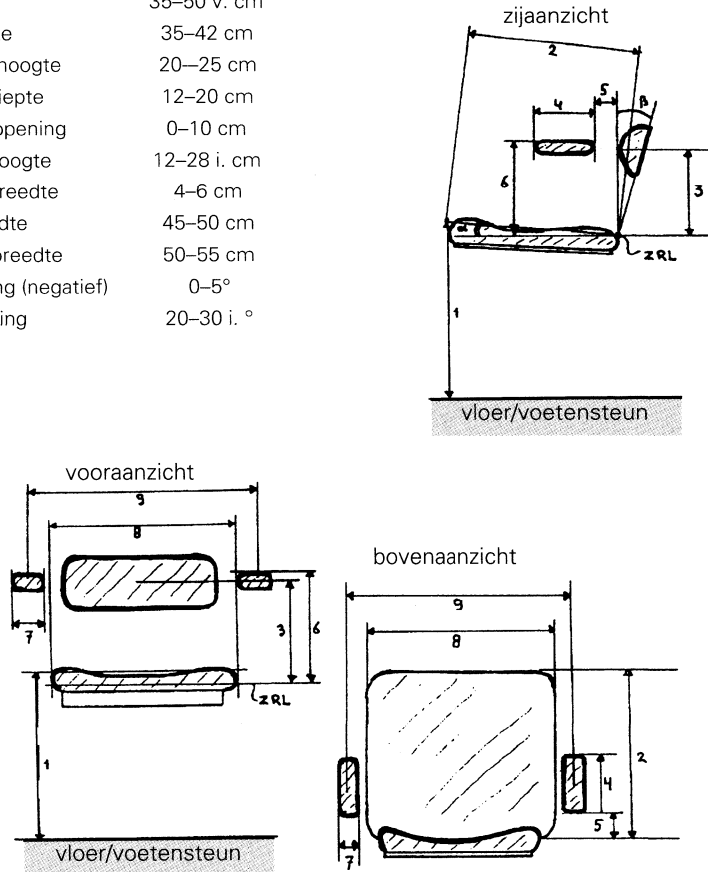
Veel van het voorgaande dat over werkstoelen is gezegd, kan worden samengevat in een schets met ideale maten (zie bijvoorbeeld ook: Dempster, 1955). In figuur 8.8 werden al belangrijke maten gegeven voor een 90%-oplossing. Uiteraard kan ook een oplossing voor een kleiner deel van de populatie worden gemaakt. Een oplossing voor een groter deel van de populatie dan P_5 - P_{95} is bij de werktafel-stoel combinatie echter niet goed mogelijk. In figuur 8.9 volgt hierna daarom een maatschets van een 90%-oplossing voor de werkstoel. In de figuur zijn in drie aanzichten de maten en posities weergegeven van de vier steunvlakken: zitsteun, lumbaalsteun, vloer of voetensteun en armsteunen. De dimensionering is zoveel mogelijk gebaseerd op de Dined-maten (figuur 6.8) voor volwassenen en op de overwegingen die behandeld zijn in 6.5, 7.5 en 8.2 ('Ontwerpen van middelen voor lichaamsondersteuning'). Sommige maten hebben een bepaald bereik, dat tijdens het zitten kan worden versteld, of daaraan voorafgaand kan worden ingesteld. Bij de zitting en de lumbaalsteun, die in onbelaste toestand zijn weergegeven, wordt een zekere samendrukbaarheid (ongeveer 80 N/dm^2) verondersteld. De zitreferentielijn is het snijpunt van twee vlakken die bij benadering door onbelaste zitting en rugvlak worden gedacht. De voorkant van die zitting bepaalt de zittinghoogte, ingesteld op de (geschoeide) knieholte-hoogte minus 3 centimeter. Binnen de ergonomische, hier aangegeven, marges zijn er nog vele maten die ontwerprijheid geven zonder het comfort van de P_5 of de P_{95} aan te tasten. Bijvoorbeeld vorm en afmetingen van de in de schets weggelaten verbindingen tussen de steunvlakken onderling en tussen steunvlakken en de vaste wereld.

De maatschets geeft de ergonomische waarden weer voor een gemiddelde werkstoel bij een tafelblad. Voor de zitoplossingen met een ander doel en in een andere situatie zal men dus andere keuzen maken. Met behulp van de behandelde principes en een test met een prototype en proefpersonen kan er richting worden gegeven aan het ontwerp en de evaluatie van andere zit-producten.

8.3 Ontwerpen van handvatten (vervolg)

In het kader van de passieve krachtopvang vervolgen we de analyse van grepen annex lasten. In 7.7 werd het producttype omschreven en werden antropometrie en gewrichtsexcursies van de hand behandeld. Daarna werden verschillende mogelijke handhoudingen rondom een greep besproken (L-, U- en O-vorm) en de belangrijkste ontwerpparameters werden aan de orde gesteld. Deze paragraaf kan kort zijn, omdat de actieve krachttuitoefening door de spieren op grepen in hoofdstuk 9

1. zithoogte	35–50 v. cm
2. zittingdiepte	35–42 cm
3. lumbaallijnhoogte	20–25 cm
4. armliggerdiepte	12–20 cm
5. armligger opening	0–10 cm
6. armliggerhoogte	12–28 i. cm
7. armliggerbreedte	4–6 cm
8. zittingbreedte	45–50 cm
9. ellebogenbreedte	50–55 cm
a. zittinghelling (negatief)	0–5°
b. rugvlakhelling	20–30 i. °



Figuur 8.9 Maatschets van een werkstoel (i = instelbaar, v = verstelbaar, ZRL = zitreferentielijn).

zal worden uitgelegd en omdat handvatten ook in 8.4 ‘Ontwerpen van handwerktuigen’ aan de orde komen. Deze paragraaf vormt een overgang tussen handvatten voor het dragen van (eventueel verpakte) lasten en handvatten voor het manipuleren van handwerktuigen. Dat tweede is een complexer onderwerp.

Weefselbeschadiging

Het is een bekend verschijnsel dat het langdurig dragen van een last aan één of twee grepen de hand zwaar kan belasten, waardoor de huid van palm en vingers geïrriteerd raakt. Gevoeligheid, pijn en blaren kunnen het gevolg zijn. Een blaar is een opeenhoping van weefselvocht, die ontstaat door wrijving op de huid waardoor de lymfevaten die het weefselvocht moeten afvoeren, beschadigen. Blaren kunnen ook optreden bij knellende schoenen en bij krachtoefening op werktuigen, zoals tangen of een roeispaan. Door oefening ontstaat er een verdikking van de hoornhuid (eelt), zodat blaarvorming minder snel optreedt. Blaarvorming treedt alleen op bij interactie van langere duur en zowel mens- als

productfactoren zijn daarop van invloed: de conditie, de vorm, het gebied en de grootte van het contactoppervlak bij de mens enerzijds en dezelfde aspecten van het handvat anderzijds. Een zware last die wordt vastgehouden aan een touw, snijdt in de hand omdat het contactoppervlak te klein is en daardoor de druk te hoog. Een handvat met scherpe ribbels of punten zorgt ook voor ongewenste puntbelastingen. Een enigszins indrukbaar materiaal stelt de drager in staat de handhouding ten opzichte van het handvat te wisselen en toch een goede, drukverdelende contra-vorm te handhaven. Als er schuifspanningen in het contactvlak optreden, wordt de huid plaatselijk meer opgerekt en worden de onderliggende weefsels nog meer verplaatst, waardoor blaarvorming eerder optreedt. Weefselbeschadiging is te voorkomen door een goed ontwerp, maar ook door een verstandige aanpak van het dragen: niet te lang achtereen en af en toe van belaste arm of van handpositie veranderen.

Hygiëne

Het hoeft weinig betoog dat het ontstaan van blaren en het optreden van ontstekingen ongewenst is uit (arbeids)hygiënisch oogpunt. Een ander hygiënisch aspect is de hygiënische reinheid van handvatten die door (vele) vuile handen worden gehanteerd. De hand, als mechanisch contactorgaan met de buitenwereld bij uitstek, is zelden bacterie-arm. Bij het aanbrengen van texturen met kleine putjes en gleufjes om de greep vaster te maken, zal het handvat minder makkelijk echt schoon te maken zijn. Als deze gedeeltelijk tegenstrijdige eisen allebei belangrijk zijn, zal er een goede oplossing gezocht moeten worden, bijvoorbeeld een textuur die goed grip geeft en toch grondig schoon te maken is. Enige tijd terug was het de gewoonte deurklinken en -knoppen van koper te vervaardigen. Dat materiaal heeft een bacterie-dodende werking. Dat gebruik is verdwenen vanwege de doordringende koper-geur aan de handen na het hanteren. Metalen deurknoppen worden in een winterse buitenlucht bovendien onaangenaam koud.

De duwstang

Hoe moet een horizontale stang ontworpen worden als men er een voertuig(je) mee wil duwen, zoals een kinderwagen, een supermarkt-kar, een koffiewagen, een bagage-kar of een duw-rolstoel? De vragen over de breedte en diameter zijn al beantwoord in 7.7 'Ontwerpen van handvatten, verpakking en lasten'. Nog niet beantwoord zijn de vragen over ruimtelijke positie, waarvan vooral de hoogte belangrijk is. De belangrijkste taken van de horizontale stang zijn het overbrengen van de duwkracht die met beide handen wordt uitgeoefend en tegelijkertijd het overbrengen van de krachten die nodig zijn om het karretje te sturen. Ook worden er stoten en acceleraties opgevangen bij de duwstang. Voor duwen en sturen is de meest gunstige houding van de armen als volgt: lichte abductie en flexie van de bovenarm, ellebooghoek meer dan 90° en pols ongebogen. De hoogte van een duwstang zal dus iets hoger moeten zijn dan de ellebooghoogte staand (Dined maat 7, figuur 6.8). Een 98%-oplossing (van P_1 tot P_{99} , mannen en vrouwen) resulteert

in een hoogtebereik van 95 cm tot 124 cm. Bij openbaar gebruik zal het misschien nodig zijn een duwstang met verstelbare hoogte te maken. Meestal hebben overwegingen van kostprijs, betrekkelijk korte gebruiksduur, mogelijkheid tot onjuist instellen, kwetsbaarheid en daardoor kortere levensduur, tot gevolg dat er toch voor een vaste stang gekozen wordt. De gemiddelde waarde zou 109 cm zijn en men zou die hoogte nog kunnen corrigeren tot de P_{30} (m+v) hoogte van 106 cm, waarbij de achterliggende gedachte is dat hoog duwen voor de kleineren wat minder comfortabel is dan laag duwen voor de groteren. Onder de duwstang dient voldoende ruimte te zijn voor de stappende voeten. Voor een ongebogen pols zou een duwstang met een lichte convexe vorm in het transversale vlak enige voorkeur verdienen. Duw-handvatten aan weerszijden, die in de sagittale richting zijn gemonteerd, veroorzaken een slechte pols-houding.

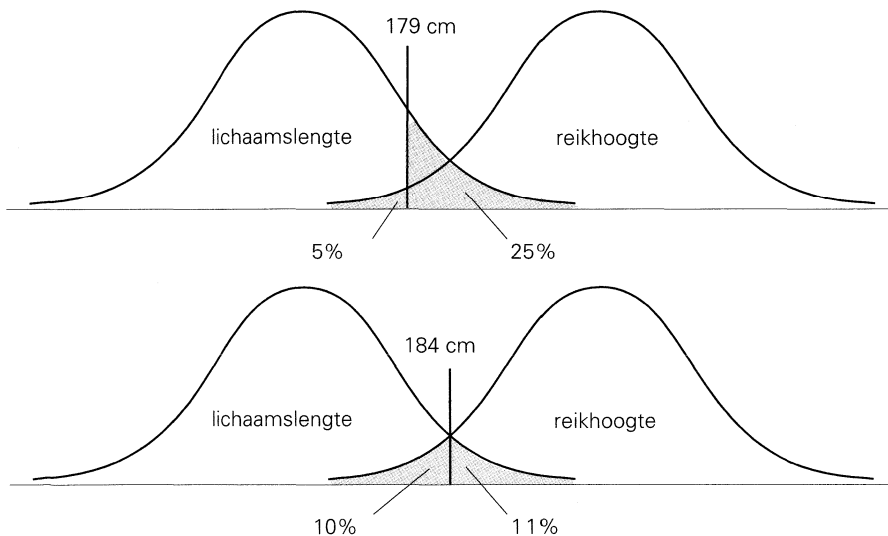
De bus-lus

De handvatten om zich staande te houden in het openbaar vervoer, dienen vooral om schokken en acceleraties te kunnen opvangen, als dat niet via de zitplaatsen kan. Indien men op hoofdhoogte of daarboven met de hand houvast heeft, wordt de kinematische keten gesloten. Ook hier moet men zich afvragen wat de optimale hoogte is. Hiertoe is de reikhoogte staand, met gesloten vuist, de relevante maat (Dined maat 4, zie figuur 6.8). De hoogte van de houdstang of houdlus zal voor passagiers van verschillende lengte geschikt moeten zijn. Een verticale stang is niet de ideale oplossing, omdat die slechts op een beperkt aantal plaatsen te installeren is en bovendien een gebogen pols vereist. Een doorlopende horizontale stang voor een stevige (O-vormige) greep en/of een rij lussen is dus beter. Lange lussen hebben echter grotere bewegingsvrijheid en geven daardoor minder vastigheid. De hoogte van de greep kan men het beste afstemmen op het laagste percentiel van de doelgroep. Hierbij past men dus het lage percentiel-type van ontwerpen toe, opdat de kleinsten er met gestrekte arm bij kunnen en de grootsten dat met elleboogflexie kunnen doen. Bij een dimensionering voor de P_5 van vrouwen en mannen resulteert dat in een hoogte van 179 cm. Dat betekent echter wel dat de langste 25% van de bevolking het hoofd kan stoten tegen de stang of de onderzijde van de lus, zoals geïllustreerd in figuur 8.10. Bij dimensionering voor P_{10} vrouwen en mannen wordt de hoogte 184 cm en dat zou slechts voor de langste 11% een kopzorg zijn. Die tweede oplossing, waarbij 79% van de volwassen populatie probleemloos met de bus mee kan, waarbij de kleinste 10% zich op andere wijze moeten vasthouden en de grootste 11% wat meer moet opletten, lijkt iets rechtvaardiger dan de 5% – 75% oplossing (70% potentieel tevreden).

8.4 Ontwerpen van handwerktuigen

Omschrijving van het type product

In 5.2 werden bij de zesdeling van typen van fysiek ondersteunende producten de ‘tools’ als vijfde en voorlaatste categorie genoemd. De korte aanduiding van de te



Figuur 8.10 Illustratie van het effect van bus-lus hoogte op het percentage mensen dat niet bij de bus-lus kan vanwege hun te lage reikhoogte en het percentage mensen dat het hoofd er tegen stoot vanwege hun grote lichaamslengte.

vervullen functies luidde als volgt: voor het verbijzonderen van de functies van vingers, handen en armen. Bijvoorbeeld pincet, schaar, hamer, koevoet, aanwijstok, boor, mes en zaag. We zijn hier inderdaad aangeland bij de belangrijkste categorie van duurzame gebruiksgoederen en professionele apparatuur. De handwerktuigen vormen een kerngebied van het industrieel ontwerpen. Het is niet verwonderlijk dat artificiële opzetstukken van de bovenste extremiteiten zulk een belangrijke en brede categorie vormen. Het is immers bij uitstek de hand, die vrijgekomen is van de locomotie-taak en zich tot een bijzonder manipulatie-orgaan ontwikkelde. De handen kunnen op diverse wijzen allerlei objecten vasthouden en bewegen. De zintuigen en het brein maken die grote variëteit en vrijheid van handelen mede mogelijk. Verlengstukken kunnen dus het beste met de handen worden vastgehouden en bestuurd. Wat is er vanzelfsprekender dan het ontwikkelen van bijvoorbeeld gereedschap dat de zachte huid vervangt en verbetert om materiaal te kunnen bewerken (vuistbijl); gereedschap dat de korte arm verlengt (hark); dat de knijpkracht van vingers versterkt (nijptang); dat de greep mogelijkheid van duim-wijsvinger precieser maakt (pincet) of gereedschap dat handkrachten versterkt voor het uiteenwrikken van objecten (koevoet)?

We hebben hier dus van doen met producten die ter hand worden genomen, enige tijd gedragen worden en die bewust (en met handigheid) gericht worden op externe objecten, teneinde een bepaald effect te bereiken. Soms kan dat 'externe object' ook het eigen lichaam zijn, zoals bij gereedschap voor lichaamsverzorging (nagelschaar) of bij het zich voeden (bestek). Soms zijn er ook werktuigen die ook met andere lichaamsdelen dan de hand kunnen worden gehanteerd, zoals de spade met armen en voet, of het met de mond schilderen, maar dat is uitzonderlijk.

De relatieve plaats van handwerktuigen onder de fysiek ondersteunende producten

De tools zijn geplaatst (zie figuur 5.7)) tussen de grips en de controls. De volgorde bij de zesdeling van fysiek ondersteunende producten werd gedeeltelijk ingegeven door de grootte van de objecten en door de omvang van het lichaamscontact (of bij cabins: van de omhulling). De relatie met de grips is, dat handwerktuigen vanzelfsprekend ook vastgehouden moeten worden, en dus een mogelijkheid daartoe moeten bieden. Bij lasten is de handactiviteit echter betrekkelijk eenvoudig en constant. De vergelijking met de laatste categorie van de zesdeling (controls: bedieningselementen op machines) is complexer. Machines zijn relatief immobiele constructies die in hun functioneren vaak overeenkomen met handwerktuigen. Vaak hebben ze een extra krachtbron nodig. Door hun omvang en hun grotere onafhankelijkheid van menselijk hanteren, vervullen ze hun functies vaak uitgebreider, sneller of krachtiger dan de mens met zijn handwerktuig. Machines zijn ook meer gespecialiseerde werktuigen. Ze zijn historisch gezien recenter en vormen een technologisch vervolg op de handwerktuigen. Zoals later uitgebreider wordt behandeld, vormen de controls die onderdelen aan de buitenzijde van machines, die met een eenvoudige translatie of rotatie van de hand commando's doorgeven aan de interne mechanismen, zoals aan/uit, meer/minder, programma-keuze enzovoort. Motorisch sturen en het uitoefenen van kracht geschieden via controls eenvoudiger dan bij de meeste handwerktuigen het geval is. Op die regel zijn wel uitzonderingen te bedenken. Zo is een elektrische boormachine een handwerktuig, waarop controls zitten en waar een externe krachtbron aan gekoppeld wordt. Het is meer een draagbare machine. Een vaste machine vergt soms spierkracht en sturing, zoals een lier die met de hand wordt aangezwengeld om lasten te heffen. Desalniettemin is het in het algemeen zinvol om een onderscheid te maken tussen (hand) tools die uit de losse hand bediend worden (zie figuur 8.11), en (machine) controls die 'nagelvast' zijn opgesteld.

Indelen van handwerktuigen

De indeling binnen de categorie van tools is weinig gestandaardiseerd. Zo geeft het International Labour Office (ILO) van de Verenigde Naties in het boek 'Ergonomic Principles in the Design of Hand Tools' (Fraser, 1980) bijvoorbeeld de volgende indeling:

- Percussive tools: om te slaan (hamer);
- Scraping tools: om te schrapen (zaag, schaaf);
- Drilling tools: om gaten te maken (boor, perforator);
- Screw-drivers: om te schroeven (schroevendraaier);
- Holding tools: om iets, al dan niet op afstand, vast te houden (pincet);
- Cutting tools: om te snijden (mes).

Die indeling is echter meer gericht op beroepsmatig handelen en op de doe-het-zelver dan op huishouden, jacht, strijd of spel. Een zwabber, vossekleem, werpspeer

OUR ACME CARPENTER CHEST OF TOOLS FOR \$13.95.

EACH AND EVERY ARTICLE GUARANTEED TO BE EXACTLY AS DESCRIBED. EVERY TOOL GOOD ENOUGH FOR ANY CARPENTER OR MECHANIC.

\$13.95
BUT A
\$25.00
OUTFIT.

QUALITY. CLASS HIGH GRADE GOODS. To build up the enormous tool trade which we have best goods we could procure; and to hold and still further increase our tool trade, it is necessary that we continue to deal with our patrons as in the past.

READ CAREFULLY THE DESCRIPTION OF GOODS AND REMEMBER THAT EVERY ARTICLE IS GUARANTEED EXACTLY AS REPRESENTED.

No. 3586030 ORDER BY NUMBER.

LIST AND DESCRIPTION OF TOOLS IN OUR ACME CHEST OF TOOLS:

SAWS. We furnish four saws:
1 Hand Saw, 24 inches long, with walnut handle, with steel plate on handle. It is a fair grade saw, but not warranted.
1 Hand Saw, Sears, Roebuck & Co.'s, 24 inches long, with carved handle, fully warranted.
1 Compass Saw, length, 14 inches.
Every Sears, Roebuck & Co.'s saw is etched on blade: "If this saw does not prove as good or better than any saw you ever had, return it to us and money will be refunded."

PLANES. We furnish four planes, all made by The Stanley Rule & Level Co., and no one makes better goods:
1 Stanley Wood Smooth Plane. Length, 8 in., with 14-in. cutter.
1 Stanley Wood Jack Plane. Length, 15 in., with 24-in. cutter.
1 Stanley Wood Face Plane. Length, 15 in., with 24-in. cutter.
1 Stanley Iron Block Plane. Length, 8 in., with 14-in. cutter.

Remember we guarantee that these Planes are genuine, made by The Stanley Rule & Level Co.

MISCELLANEOUS TOOLS. Sears, Roebuck & Co.'s Improved
Morrell's Saw Set. Considered the best made.

Saw Clamp. To hold saws for filing. Jaws are 3/4 inches long, adjustable by a lever.

1 Shim Taper Saw Files. One 3/4 inches long, and one 1 inches long.
1 No. 1 Filed Square. Guaranteed to be equal to any No. 1 square made by anyone. The body of square is 1 1/2 inches wide, 2 inches long. The tongue of square is 1 1/2 inches long, 1/4 inches wide, marked on both sides, spaced to eighth.

1 Carpenter's Placers. Best grade, length, 8 inches.
1 Wire Cutter and Filers. Length, 3/4 inches.
1 Mauried Cup Point Nail Set.

1 Spring Tube Punch, for cutting holes in leather, etc.
1 No. 1 Filed Rivets, assorted lengths, in size 10 to 12.
1 Iron Branch Screw. Length, 18 inches, diameter, 1 inch.
1 Brasswood Improved Marking Gauge. Made by The Stanley Rule & Level Co. Will run a gauge line with accuracy, either straight or around curve of any degree, either concave or convex.

1 Spoke Shave, with double cutter, one straight and one concave.
1 Socket Framing Chisel. Width, 1-inch, with ring on handle to prevent splitting.

1 Socket Firmer Chisel. 1 each, 1/4 and 1-inch chisels, fully warranted.

1 Cold Chisel, made by The Vaughan & Bushnell Mfg. Co., of 1/4-inch octagon steel.

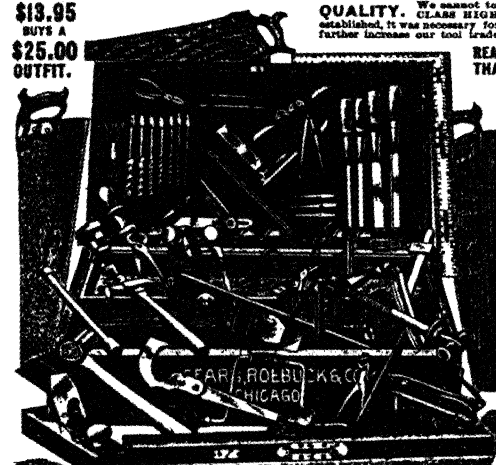
1 Screwdriver, with beech handle and 8-inch blade.
1 Beak of 24 screws, made of 1/4-inch cold iron steel rod. Head and handle of hard wood, 10-in. sweep.

1 Auger Bit. 1 each size, 1/4, 3/8, 1/2, 5/8 and 1 in.
1 German Fattara Gimlet Bit. 1 each size, 1/4 and 1/2-inch.

1 Sizing T Barrel, with rosewood handle, brass tipped, 1/2-inch blade, fixed adjusting screw so barrel can be used right or left hand, either side up. It is made by The Stanley Rule & Level Co.

1 Boxwood Rule. Made by The Stanley Rule & Level Co., two-foot, four-fold, square joints, edge plates, spaced 1/8 in., 1/16 in. and 1/32 in., with drafting scale, 1 inch wide.

1 Shingling Hatchet. Weight, 1 pound 7 ounces, warranted.
1 Nail Hammer. Weight, 1 pound, warranted.
1 Monkey Wrench. Length, 10 inches.
1 Draw Knife. Length of cut, 8 inches.



1 Pair of Wing Dividers. Length, 8 inches, polished cast steel, with adjusting screw.
1 Chalk Line, Head and Awl, as shown in cut.
1 Branded Octagon Chalk Line. Medium size.

15 Cases of Carpenters' Blades. Assorted colors, red, white and blue, and 1 Carpenter's Lead Pencil of good quality.

1 Flush and Level, adjustable. Made by The Stanley Rule & Level Co., polished mahogany, arched top plates, two side jaws. Length, 8 inches.

1 Try Square. Brass lined with rosewood handle, square inside or outside. Length of blade from inside the handle, 6 inches. It is made by The Stanley Rule & Level Co.

We pack the ACME set of Carpenters' Tools in a chest, with one tray, well made, stained and varnished, for shipment, 90 pounds. SEE FREIGHT RATES, PAGES 7 TO 10.

No. 3586030 OUR PRICE FOR ALL THE ABOVE TOOLS PACKED IN THIS CHEST IS ONLY \$13.95.

Figuur 8.11 Een assortiment handwerktuigen (Amory, 1969: Catalogue Sears & Roebuck, 1902).

en tennis-racket vallen niet eenvoudig in de ILO-indeling onder te brengen. De vele gereedschappen in het huishouden, voor voedselbereiding, voeding, reiniging van woning en kleren, en lichamelijke verzorging, vormen het arsenaal van tools voor de leek. In vele ambachten en beroepen vindt men andere arsenalen, bijvoorbeeld bij de zilversmid, de chirurg, de tuinier en de kok. Hun tools zijn herkenbaar als specifiek eigen aan dat speciale vak, maar vertonen zowel onderling als met de tools van de leek soms verwantschap. Het blijven verbijzonderingen van de natuurlijke handfuncties: reiken, bewerken, houden, verplaatsen enzovoort. Handwerktuigen moeten hanteerbaar zijn en vergen handvaardigheid. Men moet er mee leren omgaan, via scholing, het leerlingenwezen, een cursus of als autodidact. Verderop in dit boek zal dat nader worden geanalyseerd. Hier wordt volstaan met de opmerking dat de moderne, zelfstandige mens dagelijks vele handwerktuigen soepel weet te hanteren en daarmee zijn functioneren aanmerkelijk uitgebreid en vergemakkelijkt.

Greep, werkdeel en steel

De tools kennen in principe een deel om vast te houden, een deel om hun verbijzonderde functie uit te oefenen en vaak daartussen een verbindingsdeel. Dat zijn respectievelijk de greep, het werkdeel en de steel. Bij een koevoet is dat alles

één geheel. Bij een mes is er geen afzonderlijke verbinding tussen greep en werkdeel. Soms kan men werkdelen of zelfs grepen en stelen wisselen, zoals bij sommige schroevendraaiers met wisselbare 'bits' en verschillende steellengten. Er zijn ook tools voor tools, zoals hamers en tangen om beitels respectievelijk op de kop te slaan en op veilige afstand vast te houden. De verscheidenheid is groot, maar er zijn wel min of meer algemeen geldende ergonomische ontwerpparameters.

Functionele ontwerpparameters voor tools

De parameters die bediening van handwerktuigen beïnvloeden, zijn de volgende:

- Bedieningskenmerken
- Gewicht en omvang
- Tijdsduur
- Het vasthouden

Deze worden hieronder toegelicht.

Bedieningskenmerken

De motorische handelingen, die met het handwerktuig moeten worden gerealiseerd door hand en arm, kunnen in een viertal belangrijke aspecten verschillen:

- bereik: de grootte van het bewegingstraject om met de tool het doel (object) te bereiken;
- kracht: de grootte van de spierinzet om het handwerktuig vast te houden, te verplaatsen en te positioneren en om het werkdeel te laten functioneren zoals bedoeld;
- precisie: de mate van nauwkeurigheid van bewegen en van het laten werken van het werktuig;
- snelheid: de snelheid waarmee het werktuig moet worden veranderd van plaats, oriëntatie en werkkracht.

Die vier bedieningskenmerken komen veelal voort uit de doelstelling van de taak en de gebruikssituatie. Zij zijn over het algemeen niet onafhankelijk van elkaar. Bereik en kracht gaan veelal samen en precisie en snelheid vormen ook nogal eens een duo. Zo zijn er, als grote kracht en een groot bereik nodig zijn, grote tools nodig waarbij niet alleen de hand, maar ook onder- en bovenarm en soms zelfs romp worden ingezet. Daarbij kan het ook nodig zijn om twee handen te gebruiken. De inzet van de ledenketting is dan zowel distaal (vingers en hand) als proximaal (rest van de arm en eventueel romp). Volgens diezelfde redenering zijn er voor hoge precisie en snelheid gewoonlijk nauwkeurige en kleine bewegingen nodig. Dat gaat het best als de distale segmenten, dus alleen de vingers of eventueel ook de hand, worden ingezet. Dit gebeurt vaak bij kleine tools. De grove tools zijn er dus voor de armen, de fijne tools voor de vingers. Het voorgaande betekent echter niet dat het samengaan van precisie met snelheid, of van bereik en kracht, altijd probleemloos is. Een taak waarbij grote precisie vereist is kan gewoonlijk niet zeer snel worden uitgevoerd (en omgekeerd), en evenzo is ver reiken met een zwaar

gewicht een slechte, of zelfs onmogelijke, combinatie. Als het door omstandigheden onvermijdelijk is om een grove tool voor fijn werk te gebruiken of omgekeerd, kan men problemen verwachten. De menselijke inzet zal dan moeizaam en niet efficiënt zijn en het resultaat zal niet zijn zoals beoogd. Dit is bijvoorbeeld het geval als men een boom moet kappen met een zakmes, of papier moet knippen met een betonschaar. Die afhankelijke relatie tussen de bedieningsaspecten, zoals tussen precisie en kracht, of tussen snelheid en bereik, kunnen dus problematisch zijn. Toch hoeft dit geen belemmering te zijn voor een inventief ontwerper om een goed product te maken. Het is wel noodzakelijk bij het ontwerpen van handwerktuigen eerst een analyse te maken van de voornoemde bedieningskenmerken en hun combinatie.

Gewicht en omvang

Het handwerktuig fungeert als een verlengstuk, zowel letterlijk als in biomechanische zin. De arm en hand bewegen met de tool alsof het een eigen lichaamssegment is. Naarmate het werkdeel complexer moet bewegen, zal de massa van het werktuig bij voorkeur lager worden gehouden. In zekere zin vormen de 'percussive tools' hierop een uitzondering. De zware hamerkop is nodig om effectief te kunnen spijkeren, pletten enzovoort. Een soortgelijke redenering geldt voor de omvang. Een groot handwerktuig verlengt of verbreedt de hand en maakt het sturen moeilijker. Een lange aanwijsstok is moeilijker te richten. Speciale aandacht verdienen die gevallen, waar hand en werktuig slechts beperkte bewegingsruimte hebben. Dat is bijvoorbeeld vaak het geval bij montage, reparatie- of onderhoudswerk binnen in grotere machines.

Tijdsduur

Het hanteren van handwerktuigen kan door een intensieve of langdurige spierinzet vermoeiing veroorzaken. De precisie of complexiteit van het hanteren vergt weliswaar geen spierinzet, maar wel concentratie van handen, ogen en brein, en die verslapt ook na verloop van tijd. Goed zicht op het werkdeel, op de effecten van het werk en op de plaatsing van handen en tool, kunnen de aanvaardbare werkduur verlengen. Bij voorkeur moet alles zich binnen de visueel-manipulatieve comfortzone bevinden (zie 6.4 'Ontwerpen van kleine verblijfsruimten'). Daarbij is de handvaardigheid natuurlijk ook van invloed. Onervaren hanteerders maken gewoonlijk teveel onnodige bewegingen en zetten teveel spieren in, zodat zij eerder vermoeid raken.

Het vasthouden

Bij grepen voor lasten was de motoriek betrekkelijk simpel: vasthouden gebeurt meestal met een handhouding die, naast L-, U- of O-vorm, weinig variatie vertoont. Bij handwerktuigen zijn er echter meer variaties van vasthouden, om te kunnen transleren, roteren, gedoseerd kracht te zetten, te sturen enzovoort. Aan de greep worden dus hogere eisen gesteld. Hand en werktuig dienen tijdens het wisselend

samenwerken toch één geheel te blijven. De vorm van de greep zal een goede handstand moeten afdwingen en dat betekent onder meer dat langdurige of extreme polsbuiging of -rotatie uit den boze zijn. Er wordt eveneens van een contactvlak geëist dat het op de juiste plaats en met voldoende oppervlakte de huid raakt. Afhankelijk van de eerder genoemde functionele parameters zullen niet alleen hoge eisen worden gesteld aan de vorm en de relatieve positie van het handvat ten opzichte van arm, hand, steel en werkdeel, maar ook aan de textuur, warmtegeleiding, schokdemping en hygiëne. Een speciaal geval vormen de werktuigen die speciaal geschikt zijn voor bediening door hetzij de rechter of de linker hand. Deze worden dan door de dominante of voorkeurs-hand bediend. Voor de meeste mensen is dat rechts, maar een niet te verwaarlozen percentage van de bevolking (ongeveer 10%) is linkshandig. De professionele schaar, die speciaal naar de rechterduim en de twee nevenliggende vingers is gevormd, doet pijn als hij met de linkerhand gebruikt wordt. Het zal soms ook nodig zijn het handvat geschikt te maken voor tweehandig werken (voor hamer of boor). Daarvoor kan het handvat bijvoorbeeld langer gemaakt worden, of er kunnen twee handvatten op verschillende plekken worden geplaatst, eventueel met verschillende greepvormen.

De hanteer-risico's voor hand, pols en arm

De gegevens over de antropometrie en bewegingen van de hand zijn al behandeld (zie 7.7 'Ontwerpen van handvatten, verpakking en lasten'). De krachtoefening door arm, hand en vingers en het leren om te gaan met tools zullen in de volgende hoofdstukken worden belicht. In dit hoofdstuk, dat vooral gericht is op de passieve krachtopvang, willen we ter afsluiting enkele ziekte-verschijnselen aan de orde stellen. Deze ziekten kunnen optreden door langdurig verkeerd gebruik van handwerktuigen. Te zware tools, verkeerde houdingen van de pols, te hoge druk op de huid en een te wijde handgreep kunnen naast pijn en blaren ook een 'trekker-vinger', het 'carpale tunnel syndroom' en het 'witte-vinger syndroom' veroorzaken. Door beter ontwerp van deze handwerktuigen zijn ze vaak te voorkomen.

Te zware handwerktuigen

Ook in de productcategorie der handwerktuigen komt men soms het ego-type van ontwerpen tegen. Veel handwerktuigen zijn niet geschikt voor vrouwen, omdat er geen rekening is gehouden met hun handafmetingen en de maximale kracht die ze kunnen uitoefenen. Bekend is het onderzoek van Ducharme (1977), waarvan de belangrijkste resultaten in figuur 8.12 staan. Als zo ongeveer één op de zes monteuses of timmervrouwen door de ontwerper vergeten is, is er alle reden voor een re-design. Grepen kunnen best een kleinere diameter hebben. Bij knijpwerktuigen kan vaak de verhouding van de hefbomen aan de werkszijde (bek) en aan de greepzijde (armen) veranderd worden, of de armen van de tang kunnen worden verlengd. Door andere materialen of door andere vormgeving kan het gewicht meestal omlaag, met behoud van voldoende stijfheid en sterkte. Het mag

niet worden vergeten dat ambachtelijke werktuigen ook emotionele waarden van beroeps-identificatie en -trots hebben, waardoor er wel eens weerstand kan zijn tegen veranderingen.

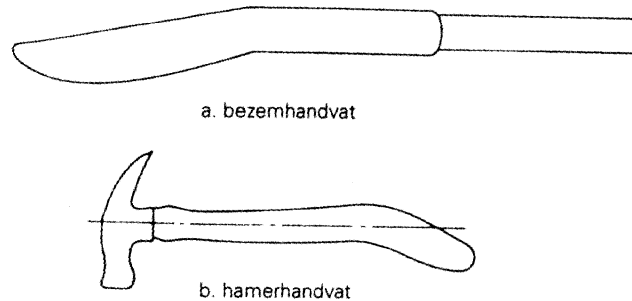
item	%	Reason
Soldering iron	15-17	Too heavy - handle too large
Soldering gun	15	Too heavy - can't reach trigger
Crimping tool	13-25	Handles too far apart
Wire stripper	11-19	Handles too far apart
Metal shears	22	Too large - need two hands
Rivet cutter	17	Too hard to squeeze
8 oz. (1.1 kg) hammer	16	Too heavy
Carpenter tool chest	11	Too heavy
Plane	16	Too big
Goggles	11-100	Poor fit

Figuur 8.12 Resultaten van een onderzoek naar de ontevredenheid met industriële werktuigen bij vrouwelijke werknemers. Weergegeven zijn de percentages ontevreden en de reden van ontevredenheid (Ducharme, 1977).

De verkeerde polsstand

De grote beweeglijkheid van onze bovenste extremiteiten kent toch zijn begrenzingsen, er zijn immers maximale gewrichtsexcursies. Langdurig volhouden van extreme standen kan leiden tot irritatie en ontsteking van pezen, peesscheden en ligamenten (de laatste zijn banden die helpen de gewrichten in de goede posities te houden). Er is een parallel te zien met de lumbale kyfoserig bij tillen en zitten. De vingers worden bewogen door spieren in de arm, die via pezen in de hand aan de vingers vastzitten. Er zitten maar weinig spieren in de hand. Bij deviatie van de hand-pols in de richting van de pink (ulnaire deviatie) kunnen er pezen en de ulnaire slagader en -zenuw beklemd raken. Als de pols bovendien ook nog gebogen en geroteerd is, wordt de beklemming erger. Het is eigenlijk vanzelfsprekend dat bij het vasthouden van en krachtuitoefenen op een handwerktuig de pols zo min mogelijk gebogen moet zijn. Omdat het natuurlijk en het meest efficiënt is, de lijn door het midden van het werkdeel van een tool in het verlengde van de onderarm te houden, wordt bij de klassieke uitvoering van steel of handvat(ten) de pols in een ongunstige werkhouding gedwongen. In figuur 8.13 worden voorbeelden gegeven van een beter ontwerp van steelgrepen. Deze verbeterde uitvoeringen leiden inderdaad tot aanzienlijk minder gevallen van het 'carpale tunnel syndroom' (ontsteking van pezen en ligamenten in de middenhand). Deviatie van de hand naar de duimzijde (radiale deviatie), terwijl de knijpende hand in de richting van de handrug gebogen wordt (dorsaalflexie) en de onderarm tegelijk gepronéerd wordt, kan een irritatie van bindweefsel bij de elleboog veroorzaken. Dat verschijnsel wordt tennisarm genoemd en komt ook voor bij het hanteren van andere tools dan tennisrackets. Ook krachtig uitwringen van een dweil met beide handen kan een

tenniselleboog tot gevolg hebben. Vele tools hebben een lange historische ontwikkeling doorgemaakt, zijn verbonden met tradities en vertonen het eertijdse gebrek aan zorg voor 's mensen gezondheid. Met de ergonomie van de meeste muziekinstrumenten, bijvoorbeeld, is het droevig gesteld.



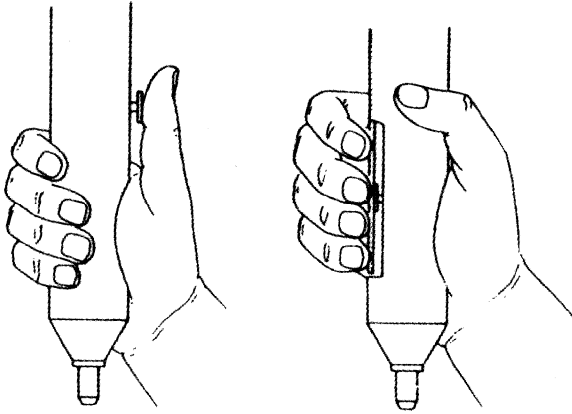
Figuur 8.13 Voorbeelden van de Bennet-handgreep die helpt bij het rechthouden van de pols tijdens gebruik van een handwerktuig (Emanuel, Mills en Bennett, 1980, uit: Sanders & McCormick, 1993).

Te hoge druk op de huid

De onderhuidse ligging van de slagaderen bij pink en duim maken de bloedstroom kwetsbaar voor punt- of lijnbelasting op de handpalm. Handvatten van tools waarmee langdurig kracht wordt uitgeoefend, zoals troffels, schrapers en schaven, zijn derhalve ergonomisch gezien kritisch. Verminderde bloeddorstrooming (ischaemie) maakt de vingers gevoelloos en doet ze tintelen. Een handvat kan zo worden gevormd dat het contactvlak tussen huid en handvat aanmerkelijk groter wordt dan bij een kleine cilindervorm en zo dat het handvat vooral drukt op de stevige weefsels tussen de muis van de duim en de aanzet van wijs- en middelvinger. De betere contravorm kan globaal worden benaderd door te knijpen in een bal stopverf, zolang de ontwerper maar een aantal principes in zijn achterhoofd houdt die al eerder toegelicht zijn in 7.7 'Ontwerpen van handvatten, verpakking en lasten': geen ego-type ontwerp maken; denk bij een rechtshandig product aan de linkshandigen (maak bijvoorbeeld twee uitvoeringen); zo min mogelijk pols-buiging; de werklijn in het verlengde van de onderarm.

De trekker-vinger

Onder deze noemer valt méér dan alleen de kromme wijsvinger rond de trekker van schiettuig. Er zijn vele bekrachtigde handwerktuigen: elektrisch, pneumatisch, mechanisch (met veer), met verbrandingsmotor (bijvoorbeeld een kettingzaag) of met explosie-kracht (geweer). Het bot-spierstelsel moet de eventuele ingebouwde krachtbron torsen en daarnaast ook nog de rotatie, translatie, schokken of vibratie opvangen. De trekker-vinger wordt veroorzaakt door het veelvuldig of langdurig met de vinger (meestal de wijsvinger) bedienen van een drukknop of schuif, terwijl de rest van die hand het werktuig draagt en hanteert. Vooral het strekken van die

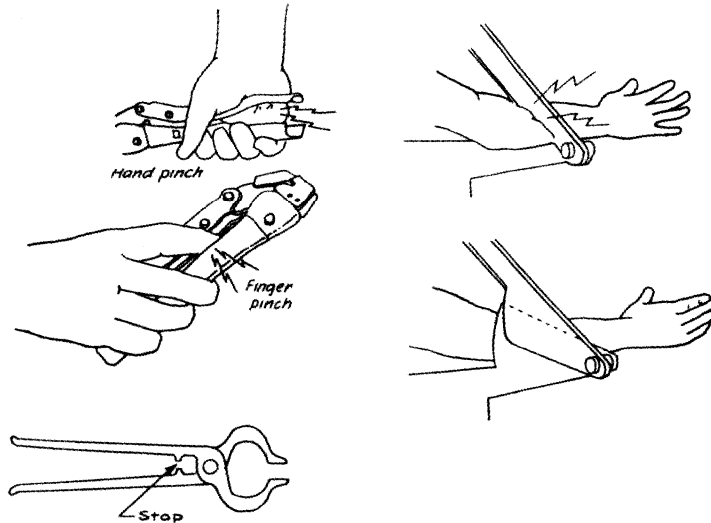


Figuur 8.14 Pneumatisch bedieningswerktuig met duimbediening (links) en vier-vinger bediening (rechts). Bij duimbediening is de duim teveel naar achteren gebogen ('over extension'). Bij vier-vinger bediening wordt de kracht verdeeld over de vingers, terwijl de duim het gereedschap kan vasthouden en sturen (Sanders & McCormick, 1993).

vinger en het bedienen door middel van flexie van het uiterste vingerkootje betekenen risico van een peesontsteking. In veel gevallen is dat te voorkomen door een grotere inzet van de hand bij de bediening van drukknop of schuif en door betere plaatsing van de control op het handvat, zodat bediening door de duimtop of door de vier vingers gezamenlijk kan gebeuren. Sanders geeft daarvan een voorbeeld, te zien in figuur 8.14.

Te wijde handgreep

Bij tangen en scharen wordt door de hand een knijpkracht opgebracht door de tangarmen van een open stand naar een sluitstand te brengen. In de open stand moet de afstand tussen de twee armen van de handgreep zodanig zijn dat de hand de greep gemakkelijk kan omvatten en goed kracht kan zetten. In gesloten stand moet er nog enige afstand zijn tussen de twee armen om maximale knijpkracht mogelijk te maken. De afstand tussen de buitenkant van de twee tangarmen in sluitstand (gemeten bij middelvinger en duim van de muis) is van grote invloed op de maximale knijpkracht. De optimale greep-wijdte ligt in het gebied van 5 tot 9 cm. Die afstand is echter afhankelijk van de handgrootte en de preciese functie van de tang. De greep-wijdte dient dus liefst proefondervindelijk door de ontwerper te worden vastgesteld. Laat het zojuist genoemde onderzoek van Ducharme (figuur 8.12) een waarschuwing zijn. Bij een gesloten pincet kan de afstand tussen wijsvinger en duim wat de knijpkracht betreft nul zijn; bij tweearmige tangen (betonschaar) is de sluitstand uiteraard groter, al was het maar om te voorkomen dat de knokkels van beide handen tegen elkaar botsen. Bij het knijpen met één hand moet men ook aandacht besteden aan het probleem van beknelling, zoals geïllustreerd is in figuur 8.15.



Figuur 8.15 Beknelling van hand en vinger kan worden voorkomen door een 'stop' (Woodson, 1981).

Het witte-vinger syndroom

Bekrachtigde handwerktuigen zoals kettingzagen, schuurmachines, klink- en bikhamers, leiden trillingen door naar de handen en de rest van het lichaam. Op de lange duur kunnen die trillingen de doorbloeding van de hand permanent verstoren. De handen worden daardoor dus bijna bloedeloos, de huid wordt bleker, de gevoeligheid en de vingervlugheid nemen aanzienlijk af en de handen blijven koud. Er kan tenslotte zelfs weefsel afsterven in de vingertoppen. Dit 'witte-vinger syndroom' komt helaas veel voor. Translerende bewegingen van het bekrachtigde handwerktuig zijn gevaarlijker dan roterende bewegingen. De spierkracht zal altijd op de een of andere manier van het gereedschap naar het werkobject moeten worden geleid. Het ontwerp van het gereedschap kan de problemen echter wel verminderen. Een goed ontwerp kan worden gemaakt door reductie van de vibratie-energie die de handen belast, door middel van dempende handvatten en/of handschoenen, of wellicht door een ander type aandrijving. Soelaas kan daarnaast ook worden gevonden in frequentere pauzes en goed onderhoud van het gereedschap.

Tenslotte

In dit hoofdstuk hebben we een overzicht gegeven van de belangrijkste mechanische krachten die op ons lichaam werken. Voor een deel zijn die natuurlijk en onvermijdelijk, zoals de zwaartekracht en de belasting voor het contact van het lichaam met de vaste wereld. Voor een deel zijn die krachten kunstmatig en komen ze voort uit het gebruik van producten (voertuigen, lichaamsondersteuning, grepen en handwerktuigen). In de meeste gevallen hoeft die mens-product

interactie geen probleem te vormen. De artefacten moeten dan wel verstandig zijn ontworpen. Ondanks lange tradities vallen er op het gebied van kracht-opvang nog zeer vele onvolkomenheden te constateren. Er zijn vergeten gebruikersgroepen, en ziekten van het spier-skeletstelsel ten gevolge van productgebruik komen nog veel te vaak voor. Inzicht in de fysieke ergonomie, in de zwakheden en sterkten van lichaamshoudingen, -bewegingen, de huid en onderhuidse weefsels, kan tot nieuwe en verbeterde producten leiden.

Begrippen

Krachten op het lichaam:

- k1 atmosferische druk
- k1 zwaartekracht
- k1 versnelling
- k1 trilling

Ontwerpen voor lichaamsondersteuning:

- t1 drukverdeling en schuifkrachten
- t1 ventilatie
- t1 armsteunen
- t1 lumbaalsteun tegen kyfoserig
- t1 voetensteun
- t1 hoofdsteun
- t1 afmetingen en verstelbaarheid
- t1 ontwerpvolgorde: bepaal
 1. houding voor visuele taken
 2. houding voor motorische taken
 3. zitreferentielijn
 4. lichaamsondersteuningsvlakken

Ontwerpen van handvatten:

- t3 weefselbeschadiging
- t3 hygiëne
- t3 duwstang
- t3 buslus

Ontwerpen van handwerktuigen:

- k2 tools tussen grips en controls
- k2 ILO-indeling
- k2 greep, steel, werkdeel
- k2 functionele parameters:
 - bedieningskenmerken (bereik, kracht, precisie, snelheid)
 - gewicht en omvang
 - tijdsduur

- k3 hanteer-risico' s door:
 te zware tools
 verkeerde handhouding
 te hoge huiddruk
 te grote greep
- k3 gevolgen:
 trekker-vinger
 carpale tunnel syndroom
 witte-vinger syndroom

Vragen en suggesties

- 8.1. Verklaar hoe de richting van de zwaartekracht ons op verschillende manieren helpt ons ruimtelijk te oriënteren.
- 8.2. Welke argumenten zijn er vóór en welke tégen, om de lichaamshouding bij 0 g (figuur 8.1 van Thornton) als de meest natuurlijke te beschouwen?
- 8.3. Geef verschillende redenen waarom ons lichaam geschikter is voor lopen en liggen, en minder voor staan en zitten.
- 8.4. Bedenk redenen waarom langdurende slapen in buikligging minder gunstig is voor het menselijk gestel.
- 8.5. Vergelijk de voor- en nadelen van een driepuntsgordel en een airbag voor de autobestuurder bij een botsing.
- 8.6. Zijn de visuele problemen in een voertuig opgelost als de ogen en het dashboard gelijkelijk trillen?
- 8.7. Waarom is het meest gevoelige gebied voor lichaamstrilling (4 - 8 Hz) niet hetzelfde als de meest kwetsbare frequentie voor kinetose (0,2 Hz)?
- 8.8. Waarom geeft het diep in zitkussens wegzakken alleen gedurende de eerste minuten een weldadig gevoel?
- 8.9. Zijn er belangrijke redenen om de stramtheid van een stoelzitting op verschillende plekken ongelijk te maken?
- 8.10. Welke factoren bepalen de grootte van het huidoppervlak dat contact heeft met een stoelzitting?
- 8.11. Zal het massamiddelpunt van het staande lichaam zich op ongeveer dezelfde anatomische plaats bevinden als bij de rechtopzittende houding?
- 8.12. Beredeneer de voor- en nadelen van een stoelzitting die voor- en achterwaarts meekantelt als de zitter respectievelijk voorover en achterover buigt.
- 8.13. Waarom worden er in de zitpraktijk minder voetensteunen aangetroffen dan ergonomisch gezien nodig is?
- 8.14. Wat zijn de redenen om met de 'kijkpunten' te beginnen bij het ontwerpen van een zittende werkplek?
- 8.15. Meet de zittingdiepte van stoelen in de dagelijkse omgeving en vergelijk die met de richtlijn.
- 8.16. Waarom zit een gebruikelijk kofferhandvat niet in een ander vlak of op een andere plaats?

- 8.17. Welke 10 handwerktuigen zou u meenemen naar een onbewoond eiland?
- 8.18. Maak een indeling of overzicht van handwerktuigen voor het huishouden of voor het studeren.
- 8.19. Geef meer voorbeelden van tools voor tools.
- 8.20. Geef meer voorbeelden van handwerktuigen voor linkshandigen.
- 8.21. Probeer handvat en steel van de verfkwast beter te vormen.
- 8.22. Is het zinvol de greepwijdte van een combinatietang instelbaar te maken? Schets daarvoor een werkingsprincipe.

9

Fysieke inspanning en actieve krachtsuitoefening

Samenvatting

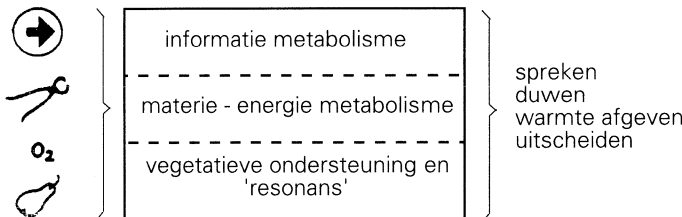
In dit hoofdstuk van het deel over fysieke ergonomie wordt ingegaan op de onvermijdelijkheid dat 'leven iets kost' en dat mens-product interactie gepaard gaat met inspanning. Voor het doorgaan van de levensprocessen, maar ook voor het leveren van een prestatie, is er materie-energie metabolisme. Dat betekent een doorstroming in het lichaam door kanalen die hun beperkingen hebben. Bij de fysieke belasting gaat het om de werking van de skeletspieren die door verkorting of spannings-toename arbeid leveren. Het spier-skeletstelsel kan krachten op externe objecten uitoefenen. De kracht die geleverd kan worden hangt onder meer af van welke ledematen en spieren worden ingezet en van de richting. Mensen verschillen hierin opvallend veel. Er zijn verschillende vegetatieve systemen, zoals het ademhalings- en hartvaatstelsel, die de fysieke inspanning meebepalen. De zuurstofopname in l/min blijkt een goede aanduiding van de fysieke belasting. Het individuele maximum aan l/min O₂ heet 'aërobe capaciteit' ofwel de belastbaarheid. De relatieve inspanning van een individu wordt als een percentage daarvan (belastingsgraad) uitgedrukt. In vergelijking tot een kwart eeuw geleden wordt er waarschijnlijk lichamelijk minder hard gewerkt en is de huidige mens-product interactie fysiek meestal niet erg vermoeiend. Desalniettemin treden er in bepaalde situaties piekbelastingen op voor spieren of het gehele lichaam; van verscheidene groepen in de bevolking worden nog vaak te hoge of te langdurige krachten geleverd bij mens-product interactie. Verder is er nog het risico van ongezond te lang te laag te worden belast. Fysieke inspanning verdient dus blijvend de aandacht bij productontwerp.

9.1 Fysieke inspanning

Materie-energie metabolisme

In de eerder behandelde biologische modellen annex theorie van de levende systemen (zie 3.2) werd gesteld, dat het levende organisme een open systeem is. Uit de omgeving rond het menselijk organisme komen materie-, energie- en informatie-stromen, die door speciale input-organen worden opgevangen, geselecteerd en doorgestuurd voor verder gebruik en transformatie: voedsel en water via de mond en het spijsverteringskanaal, lucht via het ademhalingsapparaat en de betekenishebbende signalen via het zintuigapparaat. Aan de outputzijde bevinden zich uitscheidingsorganen, om afvalstoffen en overtollige warmte af te staan. Tevens zijn er motorische organen van het bot-spierstelsel, teneinde een bepaalde houding vol te houden, ledematen rond gewrichten te bewegen en op externe objecten krachten uit te oefenen (motoriek). De throughput bestaat uit organen voor

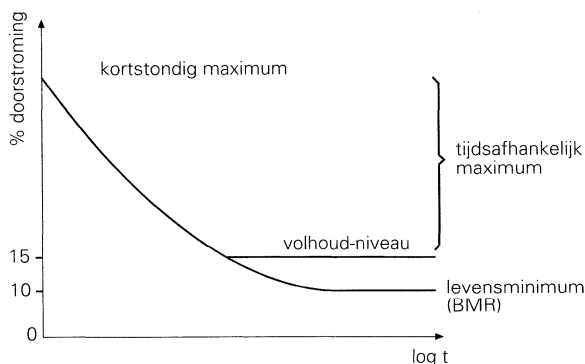
materie-omzetting en opslag (te zamen vegetatieve systeem genoemd) en organen voor de regeling en sturing (zenuwen, ruggemerg en hersenen). De ergonomie is gericht op de interactie tussen de mens en het technisch systeem en daardoor gaat de belangstelling vooral uit naar de extern gerichte en dus naar de zintuiglijke en motorische (sub)systemen. Zonder inzicht in de interne systemen, ofwel met een pure ‘black-box’ benadering, komt men echter niet ver genoeg en daarom is in de ergonomie ook een analyse geboden, zij het op een beperkt niveau, van de inwendige, centrale processen voor de materie-energie stromen en de informatie-opslag en -verwerking. Het vegetatieve systeem en daarbij vooral de systemen voor bloedsomloop, ademhaling en spijsvertering, zijn van belang voor het inzicht in de werking en begrenzingen van de motorische output. Het centrale zenuwstelsel, inclusief het brein, is niet alleen van belang voor de transformatie, de opslag en het genereren van de informatiestromen ten bate van externe gedragingen, maar heeft ook een functie in het regelen van de vegetatieve balansen. Vele interne organen dienen in thermisch en biochemisch opzicht in een evenwichtige toestand (‘homeostase’) te worden gehouden, willen een voortleven en extern gedrag mogelijk zijn. Deze vegetatieve ondersteuning geschiedt vaak minder bewust en staat slechts onder een geringe wilscntrole. Desalniettemin zijn er vele wederzijdse invloeden tussen de drie lagen (figuur 9.1). Lichamelijke arbeid als motorische output belast uiteraard de vegetatieve systemen, maar die veranderen ook enigszins bij geestelijke arbeid; ze ‘resoneren’ mee: bij mentale concentratie, evenals bij emoties, veranderen de hartslag en allerlei interne biochemische processen. De doorstroom, transformatie en opslag door de drie lagen wordt ‘metabolisme’ genoemd.



Figuur 9.1 Schema van drie lagen metabolisme met input- en output voorbeelden.

De doorstromingsroutes, ofwel metabolische kanalen, worden gekenmerkt door beperkte capaciteiten van opslag, van teren op opslag (zonder input) en van de flow van eenheden per tijdseenheid. Als voorbeeld: hoeveel liter zuurstof kan worden opgenomen per minuut, hoeveel eenheden van informatie per seconde? Zulk een kanaal is zelden geheel leeg en het is evenmin vaak maximaal belast; het is dus meestal gevuld ergens op enig niveau tussen de maximale en minimale doorstromingsmogelijkheid (flow capacity). In het algemeen blijkt, dat voor een korte tijdsperiode de capaciteit relatief zeer hoog kan zijn (een activiteitsexplosie, zoals tijdens het sprinten, of bij het opdrukken van een fors gewicht of gedurende maximale mentale concentratie). Na die korte tijd blijkt de capaciteit snel af te

nemen. Men kan het laten dalen tot een niveau, dat dan wel constant en zeer langdurig kan worden volgehouden. De kanalen kunnen evenmin geheel leeg zijn, omdat het leven minimaal moet doorgaan: BMR = basal metabolic rate = basaal metabolisme. De capaciteit, zijnde de maximale doorstroming gedurende een bepaalde periode, is dus tijdsafhankelijk, zie figuur 9.2. Indien de doorstroming verloopt via verschillende organen, zal uiteraard de zwakste ervan de capaciteit van de gehele keten bepalen.



Figuur 9.2 Doorstromingsmaximum van een metabolisch kanaal als functie van de tijd.

De informatiedoorstroom kan zeer snel gaan, maar het maximum kan wel duizendvoudig wisselen, al naar gelang men slaperig of alert is. Ook de zuurstofstroom in milliliter zuurstof per minuut wisselt redelijk snel, maar varieert toch slechts een tienvoud. Het voedsel- en water-metabolisme is trager en verloopt binnen relatief nauwe grenzen.

Inspanning en kosten

Mensen kunnen onderling verschillen in de metabolische capaciteiten door lichaamsbouw, aanleg, etcetera. Ook kan een persoon in de loop van de tijd door training en levenswijze zijn doorstroomcondities wijzigen. 'Leven kost iets', in de zin dat het onvermijdelijk doorgaan van de metabolismen, omwille van het voortleven en externe gedragingen, vergt dat allerlei organen actief zijn. Zij doen dat met een intensiteit, die dus wisselt tussen een niveau van levensminimum (Basal Metabolic Rate) en een niveau van een tijdsafhankelijk maximum. Naarmate de activiteit intensiever is, dient vaker of langduriger te worden gerust om de capaciteit weer op een redelijk peil terug te brengen. Desalniettemin gaan op den duur de organen en het organisme aan leven ten gronde (wet van de entropie: tendens tot structuurverlies en uiteenvallen). Open systemen zijn onderhevig aan ongewenste residuen van de doorstroming en ook andere structurele veranderingen vormen een langzaam voortschrijdende veroudering, hetgeen waarschijnlijk voor een belangrijk deel genetisch is geprogrammeerd.

Er zijn drie vormen van kosten te onderscheiden:

- Omkeerbare, functionele veranderingen in de doorstromingsorganen: belas-

ting en inspanning en erna herstel door rust.

- Onomkeerbare, zeer geleidelijke structurele veranderingen door veroudering, veroorzaken een blijvende vermindering van de metabolische capaciteit.
- Onomkeerbare, betrekkelijk snelle, structurele veranderingen door overbelasting: schade door excessieve prikkels, geweld, ziekten, gif, overmatige uitputting; evenals veroudering een moeilijk of on-herstelbare vermindering van capaciteiten veroorzakend.

De derde kostenpost dient bij mens-product interactie uiteraard zoveel mogelijk te worden voorkómen; de tweede soort kosten is onvermijdelijk, ofschoon het gezond en volledig uitdienen van een genetisch bepaalde 'leef-tijd' kan worden bevorderd; ook met beter ontworpen gebruiksgoederen. De eerste categorie is voor de ergonomie het meest belangrijk, omdat bij de interactie van mens en werktuig of gebruiksmiddel binnen de normale metabolische marges 'inspanningen' behoren te worden geleverd, die geen excessief langdurige of hoge belasting betekenen. Overigens dient een langdurige lage belasting eveneens te worden vermeden. Gebruikelijk is het om twee soorten van inspanning te onderscheiden:

- Mentale inspanning, ofwel mentale belasting: waarnemen, zich concentreren, besluiten, data-processing, leren, onthouden, etcetera.
- Fysieke inspanning ofwel fysieke belasting: spierarbeid door verkorten of spanningsverhoging van de skeletspieren, waarbij vele andere organen meehelpen.

Het denkmodel van het metabolische kanaal met een beperkte, tijdsafhankelijke doorstroomcapaciteit is beter en gemakkelijker toepasbaar op de fysieke belasting dan op de mentale belasting. De doorstroomeenheden, de grenzen en capaciteiten van de deelhebbende organen zijn duidelijker te meten bij lichamelijke inspanning dan bij geestelijke inspanning. De problematiek van mentale belasting zal in hoofdstuk 19 worden behandeld.

9.2 Spierarbeid

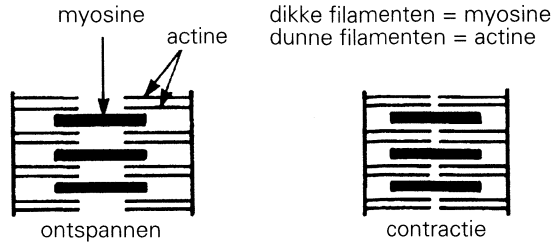
Spierwerking

In dit onderdeel zullen de functies van de dwarsgestreepte spieren behandeld worden. Deze staan onder de wilscontrole en heten ook wel de skeletspieren. Men noemt deze spieren daarom tevens de willekeurige spieren. Zij kunnen 40% van de lichaamsmassa uitmaken (6.1). Een skeletspier is aan de uiteinden via pezen aan botten bevestigd en is op die manier over één of meer gewrichten gespannen.

Als hoofdfuncties van deze spiergroepen, overeenkomstig de eerder (7.1) aangegeven niveaus van bewegingen, zijn aan te geven:

- stabiliseren van lichaamshoudingen,
- bewegen van lichaamsdelen rond gewrichten,
- uitoefenen van krachten op externe objecten.

Het kernelement van de spier is de spiervezel. In het dwarsgestreept spierweefsel is deze vezel opgebouwd uit kleine langwerpige eenheden (filamenten), die even-



Figuur 9.3 Rangschikking van filamenten in het dwarsgestreept spierweefsel.

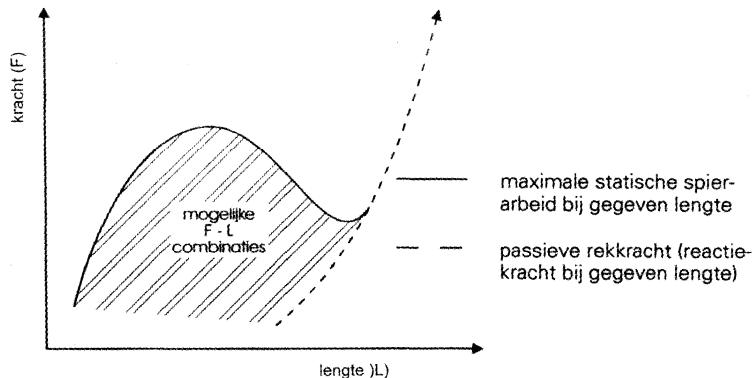
wijdig aan elkaar, zijn gerangschikt. In de lengterichting van de spiervezel kunnen deze filamenten in elkaar schuiven (zie figuur 9.3).

Zulk een spier kan:

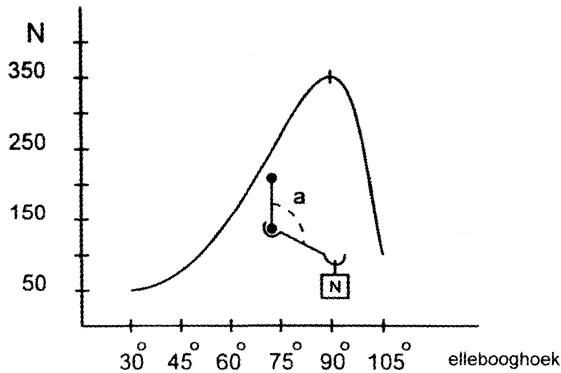
- door verkorting, ofwel samentrekking (contractie), zorgen voor een hoekverdraaiing in de gewrichten: dat is dynamische spierarbeid;
- door spanningsverhoging bij gelijkblijvende lengte een grotere externe kracht leveren: dat is statische spierarbeid.

In dit verband kent de spier een lengte-afhankelijkheid. Indien de spier maximaal verkort is, blijkt dat er nog maar weinig kracht opgebracht kan worden. Bij rustlengte kan de meeste actieve kracht worden opgebracht. Bij grotere lengte vermindert de maximale actieve kracht (Imrhan and Ayoub, 1990). Alleen bij externe kracht kan er nog verder, tot het breekpunt (spierscheur) worden verlengd (zie figuur 9.4).

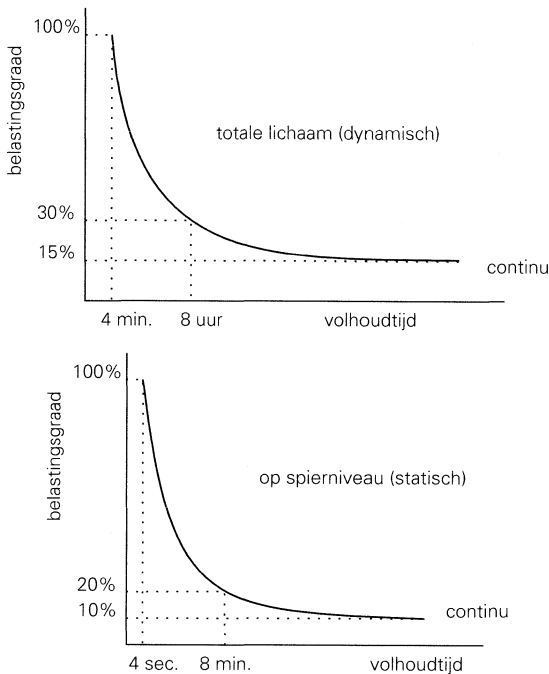
Als voorbeeld van maximale statische spierkracht die verandert met de lengte van de spier, geven we in figuur 9.5 de curve van het maximale gewicht, gedragen door een hand, versus de hoek tussen onder- en bovenarm, ofwel de lengte van de opperarm-spier (brachialis). (De N-waarden van een gemiddelde jong-volwassen man). Ook op spierniveau is er een tijdsafhankelijkheid aanwezig. In een korte tijd (minder dan ongeveer vijf seconden) kan een grote kracht opgebracht worden. Indien men een kracht langer moet volhouden, ligt het maximum beduidend lager. Zie de volhoudtijd versus de belastingsgraad in figuur 9.6.



Figuur 9.4 Spierkracht in relatie tot spierlengte.



Figuur 9.5 De maximale kracht versus de lengte van de opperarm-spier c.q. ellebooghoek.



Figuur 9.6 Maximale spierkracht als % van individueel maximum in relatie tot de volhoudtijd.

De totale maximale kracht, die het spierweefsel kan opbrengen, is afhankelijk van het totale aantal spiervezels. Het spierweefsel kan door intensieve spierarbeid groeien. Het aantal spiervezels neemt vermoedelijk niet toe: alleen de lengte en diameter van de vezels veranderen. Deze spierontwikkeling noemt men training en, indien er sprake is van buitengewone toename met duidelijke, uiterlijk zichtbare vormverandering, 'hypertrofie' (bijvoorbeeld door body-building). Indien de spier gedurende langere tijd zeer weinig of niet gebruikt wordt, zal een verzwakking optreden: de spier wordt 'atrofisch'. Indien men vanwege een botbreuk, gedurende

een aantal weken een gipsen omhulsel om een ledemaat heeft moeten dragen, zal men direct erna de krachtafname duidelijk kunnen constateren (ook visueel is een spiergrootte-vermindering waarneembaar). Het systematisch en zeer langdurig te weinig bewegen van ledematen noemt men ‘hypokinesie’ (onderbeweeglijkheid).

Krachten en momenten in de ledenketting

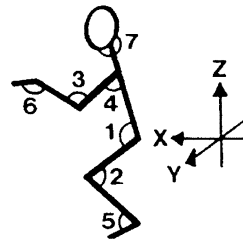
Bij het bedienen van machines, hanteren van producten of handwerktuigen is meestal geen sprake van een zo goed als totale inzet van het menselijk lichaam als krachtenbron en evenmin van lange duur. Het gaat meestal om het kortstondig inzetten van slechts enkele spiergroepen.

Kritisch zijn vaak:

- de in één beweging door hand of arm op te brengen kracht;
- het aantal keren per tijdseenheid, dat die beweging moet worden uitgevoerd;
- de richting waarin de beweging dient te worden uitgevoerd.

De waarden van de lokale (op gewrichtsniveau) krachttuioefeningen zijn nog niet zo volledig onderzocht (Daams 1994). Men kan een aantal punten aanwijzen, waarin door het lichaam belangrijke krachtmomenten moeten worden opgebracht voor houdingen en bewegingen. De voornaamste zijn gegeven in figuur 9.7.

	XZ	XYZ
1 heup	oo	o
2 knie	o	
3 elleboog	o	
4 schouder	o	o
5 enkel	o	o
6 pols	o	o
7 nek	oo	o



Figuur 9.7 Typerende momenten in de ledenketting, in sagittaal vlak (xz) of ruimtelijk (xyz).

In dit verband is het niet zo interessant te weten hoeveel liter zuurstof iemand maximaal kan opnemen, maar hoeveel moment iemand in bepaalde gewrichten maximaal kan opbrengen, voor welke tijdsduur, in welke richting(en) en welke optima aangegeven kunnen worden. Tabellen met dergelijke gegevens zijn echter zeer schaars en ook dan gewoonlijk beperkt tot statische maxima. Ook over krachten bij complexere bewegingspatronen zal meer onderzoek gedaan moeten worden. Het belang van dergelijke onderzoeken zal aan de hand van een aantal voorbeelden duidelijk worden.

Voorbeeld 9.1

Onderzoek van Thompson in 1975 en '76 en van McClelland en Thompson in 1976 (Institute for Consumer Ergonomics, Loughborough).

Thompson en McClelland hebben in 1976 een onderzoek gedaan bij bejaarden en kinderen naar krachttuioefening op diverse deurkrukken. Bij het ontwerpen van een dergelijk onderdeel blijken ontwerpers vaak intuïtief een keuze te maken in de trant

van: “dit lijkt voor mijzelf wel in orde”; met andere woorden: men volgt het ‘ego-type’ van ontwerpen. Helaas blijken dan grote vergissingen mogelijk. In het onderzoek van Thompson en McClelland is onderzocht welke bedieningskrachten door de proefpersonen opgebracht konden worden in zes verschillende bewegingsrichtingen. Figuur 9.8 toont enkele meetresultaten uit dit onderzoek. Omdat het hier gaat om het ‘lage-percentiel type’ van het ontwerpen, zijn uit de publicatie de waarden genomen van de zwakkere vrouwen op verschillende leeftijden.

leeftijd in jaren	duwen N	trekken N	tegenklokwaarts N	klokwaarts N	beneden N	boven N
5	37	53	2	0	36	30
12	85	113	36	14	221	261
17	69	113	26	–	245	179
67	64	75	30	20	83	31
75	34	49	29	15	92	42

Figuur 9.8 Krachtuitoefening deurhendel in N (Thompson & McClelland, 1976) voor $P_{5\%}$.

Uit deze tabel blijkt, dat grote verschillen aanwezig zijn in de capaciteiten voor krachtuitoefening tussen de leeftijdsgroepen onderling en tussen de verschillende bewegingsrichtingen. Enkele conclusies uit dit en ander onderzoek:

- in de leeftijdsgroep 20 – 40 jaar geldt, dat de verhouding krachtcapaciteit mannen: vrouwen ongeveer 1 : 0,65 bedraagt;
- P_5 is ongeveer 1/3 van het rekenkundig gemiddelde (P_{50});
- P_5 van de vrouwen is kleiner of ongeveer gelijk aan 10% van het rekenkundig gemiddelde van de man van 30 jaar (gevaar van ego- σ^2 -ontwerp!);
- populaties van jonge kinderen en ouderen presteren vaak minder dan 1/2 of 1/3 van populaties van volwassenen;
- kies vooral op- en neergaande bewegingen, vermijd zijwaartse;
- proneren (endoroteren van pols; voor rechterhand een tegenklokwaartse draai) is beter dan supineren.

Voorbeeld 9.2

Onderzoeksresultaten Diffrient (1974). Deze zijn opgenomen in figuur 9.9.

armkracht in N		omhoog	omlaag	trekken	duwen	abduceren	adduceren
arm voorwaarts gestrekt	$P_{2,5}$ vrouw $P_{97,5}$ man	21 418	44 373	111 814	97 1000	28 293	36 493
arm gebogen (elleboog 90%)	$P_{2,5}$ vrouw $P_{97,5}$ man	35 502	53 422	75 640	97 707	28 293	36 493

Figuur 9.9 Armkracht in N, zittend, $P_{2,5}$ vrouw en $P_{97,5}$ man, in verschillende richtingen: z^+ , z^- , x^- , x^+ , y^+ en y^- .

Voorbeeld 9.3

Bij het tillen van lasten wordt vaak veel spierkracht uitgeoefend. Soms worden daarbij niet alleen de armen, maar ook de romp en de benen ingezet. Dit is vooral afhankelijk van het 'til-traject': waar de beginpositie van de last was ten opzichte van het staande lichaam en waar de eindpositie. In het volgende voorbeeld (figuur 9.10) staan maxima voor drie trajecten vanaf de grond tot aan verschillende relatieve lichaamshoogten.

	van grond tot knie	grond-navel	grond-oog
$P_{2,5}$ vrouw	37	14 (12)	7
$P_{97,5}$ man	134	67 (42)	40

Figuur 9.10 Maximale last tweehandig tillen (kg), waarden tussen haakjes: voor één hand.

Voorbeeld 9.4

Omdat te zware tillasten, vooral bij arbeid waar zeer vaak en langdurig achtereen getild wordt (inpak-kassa, magazijnwerk, bouw en dergelijke), een groot ergonomisch probleem vormen, heeft men de massa van de last door regelgeving gemaximeerd, afhankelijk van leeftijd en geslacht (zie figuur 9.11). Op deze normen bestaan verfijningen op basis van tiltraject en afstand van de last tot het lichaam. De arbeidsinspectie hanteert als absoluut maximum 40 kg (Gies et al. 1997), maar adviseert differentiatie volgens het NIOSH-systeem (1981) met diverse factoren.

leeftijd	15	18	25	40
man	15	21	25	21
vrouw	10	13	15	13

Figuur 9.11 Tillastnorm (kg), geslacht en leeftijd.

Ook de waarden in deze tabellen laten zien, dat grote verschillen aanwezig zijn. Hierbij dient echter opgemerkt te worden, dat de doelgroep veelal niet zo groot gekozen wordt als $P_{2,5}$ vrouw – $P_{97,5}$ man; men denke aan de bouw. Zoals reeds aangeduid is in een voorgaand hoofdstuk, zal de ontwerper zijn product in sommige gevallen moeten ontwerpen voor een kleiner deel van de totale doelgroep, daar anders geen goede, doeltreffende oplossingen mogelijk zijn. Binnen het vrije markt mechanisme is het overigens moeilijk te voorkomen dat personen die niet tot de doelgroep behoren, toch het product gaan gebruiken.

Een systeemanalyse van fysieke inspanning

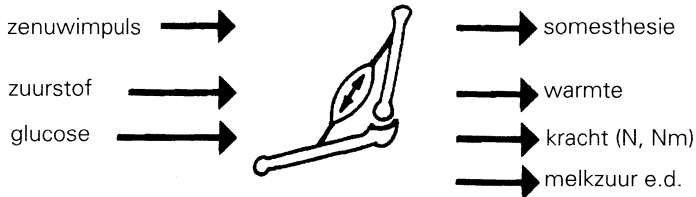
De spier oefent een kracht uit als hij contraheert (samentrekt) of als een bepaalde stand van samentrekking wordt volgehouden. In de fysiologie onderscheidt men verschillende wijzen van spierarbeid:

- Statische 'contractie': er treedt geen contractie op en dat woord wordt dus

oneigenlijk gebruikt, maar er wordt wel kracht uitgeoefend voor het volhouden van stilstand of evenwicht van krachten (men noemt dit ook wel isometrische 'contractie').

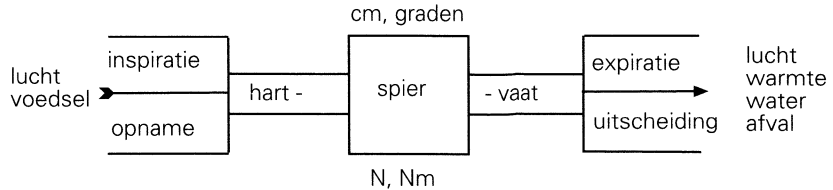
- Dynamische contractie: de contractie waarbij de spier duidelijk in lengte verandert. Hierbij kan men nog onderscheiden:
 - concentrische contractie: de spier als geheel wordt korter;
 - excentrische contractie: de spier als geheel wordt langer.

Men spreekt dan ook van statische en dynamische spierarbeid. Zoals voor de meeste arbeidsprocessen kost ook statische arbeid energie. Indien echter de geleverde statische of dynamische kracht kleiner of gelijk is aan 15% van het kortdurende maximum, is er een doorstromingstoestand die zeer lang kan worden volgehouden (figuur 9.6). De instroom van dit systeem bestaat uit zuurstof en glucose, teneinde een verbrandingsproces te voeden, dat de contractie of spanningsverhoging bewerkstelligt. Verder bestaat de instroom uit een zenuwimpuls, die tot de spierverandering aanzet (figuur 9.12).



Figuur 9.12 Input-output van de arbeidende spier (informatie-, materie-, energie-doorstroom).

De uitstroom bestaat uit een translaterende of roterende beweging rond het gewricht, met een bepaalde omvang, snelheid en kracht (dynamische spierarbeid), of uit een gelijk blijven van de spierlengte maar met een verhoogde interne spanning, zodat het gewricht een groter extern moment of kracht kan opvangen (statische spierarbeid). De verbranding ten dienste van beweging en spanning levert echter vooral warmte op. Die warmte dient deels om de biochemische processen in het lichaam constant op temperatuur te houden, maar is voor een groot deel overtollig en dient naar de omgeving te worden afgevoerd, te zamen met ander verbrandingsafval, zoals melkzuur, water, en dergelijke. Uiteraard bestaat de output ook uit de interne gewaarwording en eventueel ook de externe, visuele waarneming van de eigen spanning, van beweging, van de snelheid van bewegen en van de positie van spier-, pees- en gewrichtsdelen van de handelende persoon. Deze waarneming noemt men ook wel somesthesie (soma = lichaam; esthesie = waarneming). Voor de eigenlijke spierarbeid zijn verschillende aanvoer- en afvoerprocessen en dito organen werkzaam. De doorstroom, beginnend met lucht en voedsel, verloopt via een serie- en parallelschakeling van verschillende orgaansystemen. In figuur 9.13 is een doorstromingsschema weergegeven.



Figuur 9.13 Doorstromingsschema rond de spierarbeid (materie-energie metabolisme).

In het schema gaat de stroom van links naar rechts. Vanuit de omgeving komen lucht (inspireren) en voedsel (eten) het organisme binnen. Aan de rechterkant van het schema staat vermeld, wat het organisme expireert en uitscheidt: lucht, warmte, water en afval.

De spier staat in dit schema centraal en heeft als opbrengst krachten (N), momenten (Nm), ofwel lengte- of spanningsveranderingen van spieren (cm) en hoekverdraaiingen (graden) van gewrichten. De transportbaan in het schema is het hart-vaatsysteem. Vanuit de inkomende stroom lucht en voedsel worden essentiële elementen voor de spierarbeid in het bloed opgenomen en via de transportbaan mee gevoerd naar de spier. Deze elementen worden gebruikt en verbruikt door de spier en de afvalstoffen worden weer afgevoerd via het hart-vaatsysteem naar buiten.

De spierarbeid kent twee cycli:

- anaëroob: de korte cyclus van 0-15 seconden, waarin zonder zuurstof hoog-energetische fosfaten door omzetting mechanische energie (25%) en warmte (75%) leveren;
- aëroob: de lange cyclus voor het re-cycleren van de voornoemde omzetting; dit gebeurt met zuurstof (voor afbraak van melkzuur tot water en kooldioxyde).

Voor de enkele spiergroep en het totale lichaam kan daarmee het begrip 'zuurstofschuld' worden verklaard: na een hoge intensiteit van spierarbeid – waarbij de zuurstofinstroom, die nodig is voor de recycling van de eerste cyclus, onvoldoende blijkt of naijlt – is er een tekort opgebouwd, dat dus na gedane arbeid moet worden ingehaald. Men denke hierbij aan het nahijgen na een sprint van een 100-meter race.

In het doorstromingsschema van figuur 9.13 spelen verschillende processen een belangrijke rol. In figuur 9.14 zijn deze vermeld met daarbij aangegeven, welk orgaan dit proces regelt of uitvoert en welke variatie in inspanning dit orgaan kan tonen.

Indicatoren van fysieke inspanning

Omdat er bij fysieke inspanning veranderingen optreden in de verschillende delen van de keten in figuur 9.13, zijn er ook diverse objectief meetbare verschijnselen, die een aanduiding vormen van de intensiteit van de inspanning. Zo kunnen genoemd worden:

proces	orgaan	capaciteit
ademhaling	longen	15 - 12 - 30 c.p.m. x 0,5 à 4 l. lucht
bloedsomloop	hart en vaten	60 - 70 - 200 c.p.m. 5 - 25 - 40 l. bloed/minuut
spijsvertering	maag, darm	
verbranding	spier	0 - 15 s. anaëroob (fosfaten)
contractie		0,5 - 2,5 - 4,5 l./min aëroob (zuurstof) 20 - 30 % mechanisch rendement
afvoer: warmte, koolstofdioxide en water, mictie, defecatie		

Figuur 9.14 Doorstroomprocessen bij arbeidende spier. De middelste waarden zijn modale (vaakst optredende) waarden van de frequentie (c.p.m. = cycli per minuut) of het volume (l = liter).

- de frequentie en het volume van de ademhaling;
- de frequentie van de hartslag (pols);
- de stroomsnelheid van het bloed, of lokale bloedvatvulling;
- het zuurstofverbruik per tijdseenheid (zuurstof- concentratie-verschil tussen in- en expiratie);
- de spijsvertering, dus de hoeveelheid verbruikte Joules brandstof per tijdseenheid;
- de extern uitgeoefende kracht en de gewrichtsmomenten.

Van de voornoemde grootheden zijn de ademhalingsfrequentie en de polsslag het meest gemakkelijk te meten, maar zij vormen geen van beide een nauwkeurige index van de spierinspanning. De polsslag reageert namelijk ook sterk op de warmtebalans van het lichaam en de omgeving. De spijsvertering reageert slechts traag op inspanning en vormt alleen voor lange perioden van dagen of weken een index. Het meten van de externe kracht levert evenmin een nauwkeurige aanduiding en wel omdat het extern effect meestal de resultante is van verschillende spiergroepen, die op zeer verschillende wijze elkaar kunnen ondersteunen of tegenwerken. Voor de belasting van een volledig en actief lichaam is deze optelsom nauwelijks mogelijk.

De zuiverste indicatie wordt verkregen door het vaststellen van het zuurstofverbruik per tijdseenheid. De lucht bevat bij inademing een concentratie van ongeveer 21% zuurstof en bij uitademing globaal 19%. Het concentratieverschil maal het volume geeft aan hoeveel liter zuurstof via de longen aan het bloed wordt afgestaan voor transport naar en verdeling over de spieren. Het fysieke arbeidsvermogen, ofwel het maximum aan inspanning van een individu, wordt daarom aangegeven met de 'aërobe capaciteit', dat wil zeggen de maximale hoeveelheid zuurstof, die iemand kan opnemen bij een uiterste fysieke inspanning. De aërobe capaciteit wordt vastgesteld tijdens een inspanningsproef, die gewoonlijk dient te worden uitgevoerd op een fiets-ergometer met langzaam opklimmende waarden van de benodigde pedaalkrachten (draaiweerstand), in een standaardtempo (60 omwentelingen per minuut). Spierbewegingen tijdens het fietsen vergen de inzet van een zestig procent

of meer van alle skeletspieren.

De proef wordt voortgezet tot de proefpersoon absoluut niet verder kan; uit een analyse van de uitgeademde lucht gedurende de laatste vier minuten voor de uitputting wordt de aërobe capaciteit in liters zuurstof per minuut vastgesteld. De opname- en transportcapaciteit van de longen met het hart-vaatstelsel zijn dan betrouwbaar berekend. Bij volwassen mannen varieert die capaciteit van 0,5 – 4,5 liter zuurstof per minuut (normale verdeling) en is bij volwassen gezonde mannen gemiddeld ongeveer 2,5 liter zuurstof per minuut (zie bijvoorbeeld figuur 9.16).

Statische en dynamische belasting

Het eerder gemaakte onderscheid tussen dynamische en statische belasting (spierarbeid) is van groot belang in de ergonomie. Statische spierarbeid betekent inspanning met marginale bewegingen in de desbetreffende spiergroepen en treedt op bij het (onveranderd) volhouden van een bepaalde lichaamshouding, zoals het ingedrukt houden van een pedaal of een knop, of het hoog houden van een last e.d.

De statische spierarbeid wordt daarbij dus nog vergroot als een extern object moet worden getild of moet worden tegengehouden. Indien dit van zeer korte duur is, of wanneer zoals eerder vermeld de op te brengen kracht minder dan 15% van het krachtmaximum bedraagt van de betrokken spieren, behoeft de statische belasting geen probleem te zijn. Bij een hogere graad van belasting is onbeweeglijke krachttuitoefening echter ongewenst. De spanningsverhoging van de spier drukt de bloedvaten min of meer dicht of belemmert de aan- en afvoer geheel. De menselijke activiteit is ingesteld op een dynamisch spel van afwisselende inzet van spiergroepen en dus op bewegen, lopen, werken en dergelijke. Wegens de vermindering van de aan- en afvoer kan het zuurstofverbruik geen indicatie zijn van de statische belasting; eerder vormt de opeenhoping van melkzuur een aanduiding, tezamen met een pijnlijk gevoel in de spieren. Als belangrijke ergonomische aandachtspunten gelden:

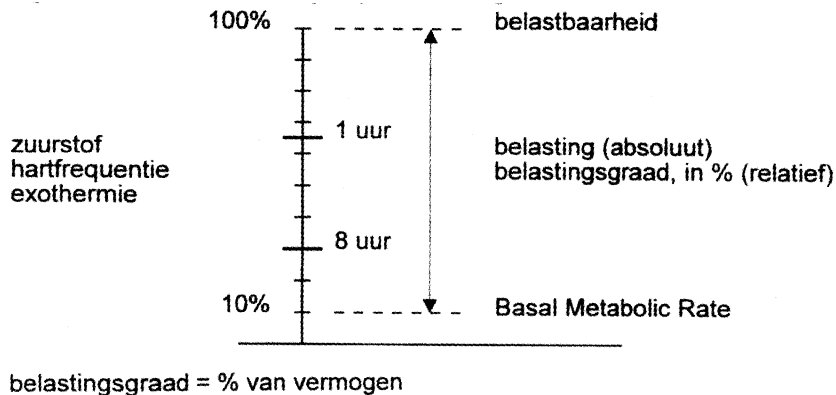
- vermijd bij het ontwerpen van een mens-product interactie een onveranderd vol te houden lichaamshouding; in het bijzonder als ongebruikelijke gewrichtsstanden, in de zin van vergaande buigingen, strekkingen of rotaties, moeten worden ingenomen, en zeker als in die standen gewichten moeten worden vastgehouden of andere externe tegenkrachten moeten worden opgebracht;
- zorg daarentegen bij de mens-product interactie voor houdingen, bewegingen en wijzen van krachttuitoefening, die vaak veranderd moeten worden, of met een zo lage belasting dat die zonder bezwaar kan worden opgebracht.

Als bijvoorbeeld een arm lange tijd moet worden uitgestrekt, is extra ondersteuning van hand, pols en/of elleboog nodig. Een door een been ingedrukt te houden 'dodemanskop' (in de stuurcabine van treinen) dient een zeer lage bedieningsweerstand te hebben, bepaald door de beenmassa en de ondergrenzen van de voelbaarheid.

9.3 Fysiek vermogen en belastingsgraad

Belasting, belastbaarheid en belastingsgraad

Het is in principe mogelijk de krachtsinspanning vast te stellen, welke door een persoon in een bepaalde mens-product interactie of arbeidssituatie gedurende een werkperiode van verscheidene uren wordt opgebracht. Het resultaat van zulk een reeks metingen en berekeningen geeft in zekere zin in absolute termen de belasting aan, welke de taakvervulling aan de werkende persoon oplegt. Deze zelfde arbeidstaak zal echter voor een gespierde man met een goede conditie minder relatieve inspanning betekenen dan voor een kleiner, zwakker individu, of voor een groot iemand in slechte conditie. Voor een persoon met een hoge aërobe capaciteit zal een bepaalde belasting dus een lagere belastingsgraad betekenen dan diezelfde belasting voor iemand met een lager fysiek vermogen.



Figuur 9.15 Belasting, belastbaarheid en belastingsgraad (richtlijn: belastingsgraad bij kortdurende inspanning is maximaal 100%; is bij 8 uur maximaal 30%, etc.).

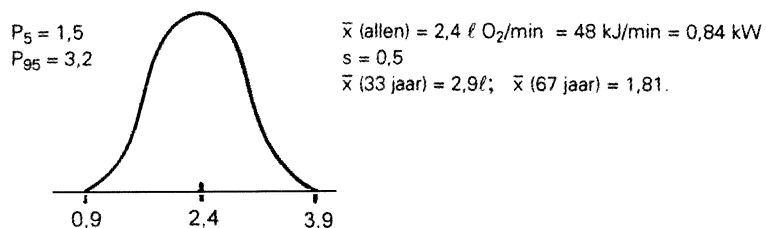
De begrippenreeks: belasting, (maximale) belastbaarheid en (relatieve) belastingsgraad zijn belangrijk in de ergonomie en worden wijder gebruikt dan alleen voor de fysieke inspanning van het gehele lichaam; namelijk ook voor de inspanning van een enkele spiergroep en zelfs voor waarneming, (bijvoorbeeld comfortabel visueel waarneembaar detail is $3\times$ kleinst onderscheidbare detail) of voor informatieverwerking en dergelijke. De vraag is dus steeds: welke fractie van het individuele, maximale kunnen wordt bij een bepaalde taak ingezet? In een werksituatie met dynamische spierarbeid kan men het verbruik van zuurstof in liter zuurstof per minuut vaststellen en dit uitdrukken als percentage van de individuele aërobe capaciteit (fysiek vermogen). Een fysieke belastingsgraad resulteert daaruit en geeft de relatieve inspanning aan. In de arbeidsfysiologie (Bonjer, 1965; Dirken, 1972) wordt vervolgens gezien, welke de volhoudduur van die belastingsgraad is. Hierbij is een formule gehanteerd, die de gezond vol te houden relatieve inspanning aangeeft als functie van de werkduur. Bij een achturige werkdag komt daar een belastingsgraad van ongeveer 33% uit en bij één uur volhouden een belastingsgraad van 66% (figuur 9.15).

Proefondervindelijk is gebleken, dat één liter zuurstofverbruik per minuut ongeveer staat voor 20 kJ per minuut aan menselijke arbeid; ongeveer equivalent met een vermogen van 0,350 kW.

Indien de spierarbeid voor betrekkelijk lange perioden in werksituaties of bij mens-product interacties wordt geanalyseerd, dient men er rekening mee te houden, dat de belastingsgraad door de tijd heen sterk wisselt; er treden piekbelastingen, rustperioden, en dergelijke op, en eveneens is statische spierbelasting vaak een onderdeel van de totale belasting. De belastingsgraad voor een werkdag geeft dus maar een gemiddeld beeld. Desalniettemin blijkt uit onderzoek, dat bij betrekkelijk zware lichamelijke beroepen een goed inzicht in de aanvaardbaarheid kan worden verkregen. Het fysiek vermogen kan dan ook gelden als een basis voor selectie of voor training van individuen, of als een aanduiding voor noodzaak van verdere mechanisering van die arbeid. Bij het ontwerpen van bijvoorbeeld sport- of fitness-apparatuur of van kratten kunnen deze inzichten van belang zijn.

Fysiek vermogen en activiteitenpatroon

Er werd, aan het einde van de jaren zestig een TNO-onderzoek verricht naar de vermogens van Nederlandse industrie-arbeiders van verschillende leeftijdsgroepen (Dirken, 1972). Een a-selecte steekproef van ruim 300 personen kon representatief worden geacht voor de toenmalige mannelijke industriebevolking van 30 tot 70 jaar. Met laboratoriumproeven werd van elke persoon de aërobe capaciteit vastgesteld. Door middel van observaties, interviews en speciale omrekenmethoden werden de aard en de inspanning van de alledaagse activiteiten geschat. In figuur 9.16 wordt de spreiding voorgesteld van het fysieke arbeidsvermogen in de gezonde, mannelijke, volwassen populatie. De allersterksten zijn vier maal zo sterk als de allerzwaksten en de 90%-spreidingsbreedte van P_5 tot P_{95} omvat een tweevoud. De jongeren tijdens het biologisch optimum op 28 jaar hebben gemiddeld de dubbele aërobe capaciteit van de 65 – 70 jarigen. (Desbetreffende waarden voor vrouwen liggen ongeveer op 2/3 volgens NIOSH 1981).



Figuur 9.16 Aërobe capaciteit in max. l O_2 /min. van 316 industrie-arbeiders in 1967 (Dirken, 1972).

In figuur 9.17 volgt een overzicht van het toenmalige (1967) dagelijkse activiteitenpatroon. Er blijken tussen ouderen en jongeren slechts geringe verschillen in de intensiteit en duur van de soorten activiteit. Over het geheel ging toen de regel op voor een werkdag:

- wat tijd betreft: 1/3 voor werken en 1/3 voor slapen;
- wat inspanning betreft: 1/2 voor werken en 1/5 voor slapen.

activiteiten	tijd		inspanning	
	minuten	procent	kJ	procent
gemiddelde werkdag	1440	100	12.550	100
zaterdag	1440	100	11.900	100
zondag	1440	100	9.990	100
per werkdag:				
persoonlijke verzorging	126	8,5	920	7
reizen van en naar werk	37	2,5	460	4
werk	526	36,5	6.420	51
vrije tijd	319	22,5	2.530	20
slaap	432	30	2.220	18

Figuur 9.17 Activiteitenpatroon gemiddelde werkdag; duur en intensiteit (minuten; kJ), 316 industrie-arbeiders (Dirken, 1972).

De gegevens omtrent vermogen en actuele inzet kunnen ook gecombineerd worden. In figuur 9.18 is deze combinatie gegeven.

leeftijd	%
30 - 34	21
40 - 44	24
50 - 54	25
60 - 64	29

Figuur 9.18 Wekelijks gemiddelde belastingsgraad bij verschillende leeftijdsgroepen industrie-arbeiders (Dirken, 1972).

Voor het industriële werk in die tijd kan worden geconcludeerd, dat de aanvaardbare grens voor een 8,5 uren werkdag, welke op een 33% belastingsgraad ligt (zie figuren 9.6 en 9.15), gemiddeld zeker niet gehaald wordt. Opmerkelijk is echter wel dat met het stijgen van de leeftijd, waarbij uiteraard de belastbaarheid afneemt, de belastingsgraad toeneemt. Ouderen dienen zich dus meer in te spannen bij het werk dan jongeren. De verklaring is dat vele ouderen hetzelfde werk in het zelfde tempo doen als de jongeren, of ander werk maar met een grotere inzet. Dit kan wijzen op een hogere arbeidsmotivatie bij de oudere generatie, althans bij degenen die nog niet door arbeidsongeschiktheid zijn weggeselecteerd.

Het kan ook wijzen op de noodzaak van een betere aanpassing van het werk aan de oudere werknemers: mechaniseren of automatiseren, ontwerpen van werktuigen die minder vergen of van ondersteuningsmiddelen, verkorten van de werkduur, verlaging van de prestatie standaard, etc.

In feite is sinds 1967 de lichamelijke inspanning voor alle generaties van industriële werknemers verlicht door toepassing van de drie juistgenoemde oplossingen.

De aandachtspunten in dit onderzoek zouden echter in de moderne tijd wederom

eens onderzocht moeten worden, daar enkele verschillen met betrekking tot leef- en werkpatronen tussen toen en nu evident zijn. Om daarvan enkele te noemen:

- de vrije zaterdag was in 1967 pas ingevoerd, maar was toen nog niet geheel als zodanig geaccepteerd en velen hadden tijdens zaterdagochtend toch nog extra werk, uit gewoonte;
- tegenwoordig zijn beduidend meer vrouwen in het arbeidsproces betrokken dan toen;
- in 1967 was voor het werk meestal veel spierarbeid nodig; tegenwoordig is veel werk gemechaniseerd en geautomatiseerd;
- men fietste of liep in 1967 vaak naar het werk; tegenwoordig gebruikt men vaker de auto, de bromfiets of het openbaar vervoer.

De gemiddelde beelden mogen de ergonoom en ontwerper echter niet doen vergeten, dat er her en der nog steeds, vooral voor zwakkere groepen of individuen, te zwaar, langdurig werk wordt verricht en dat er eveneens nog zeer vaak riskante piekbelastingen optreden.

Inspanningstabellen

De meting van het fysieke vermogen en de vaststelling van de intensiteit van activiteiten, om de relatieve inspanning te bepalen, zijn lastig en tijdverwend. Globale benaderingen zijn mogelijk door de schaal van Christensen te hanteren, die de arbeid indeelt in zes waarderingsklassen van zwaarte en waarbij het eenvoudig vaststellen van de polsfrequentie (al dan niet enkele malen herhaald) als meting kan volstaan. Een recenter, maar niet wezenlijk andere variant, is te vinden in Bridger, 1995 (zie ook bijvoorbeeld Peereboom, 1996). Bij afwijkende omgevingstemperaturen en bij aanmerkelijke statische delen in een arbeidsbelasting is, zoals eerder vermeld, de hartslag geen goede indicatie voor de dynamische spierarbeid. In de schaal van Christensen wordt bij elke werkcategory ook een schatting gemaakt van het globaal overeenkomstige zuurstofverbruik en de energie-omzet, en wel voor een volle acht-urige werkdag bij een gemiddelde gezonde volwassen (Noord-Europese) man (figuur 9.19).

Een tweede, eveneens globale benadering, bestaat uit het gebruik van tabellen waar,

	hartslag min.	dynamisch		
		zuurstof l/min.	kJ/min.	8 uur kJ
1 zeer licht	< 75	< 0,5	< 10	< 5.000
2 licht	75 - 100	0,5 - 1,0	10 - 20	5.000 - 10.000
3 matig zwaar	100 - 125	1,0 - 1,5	20 - 30	10.000 - 15.000
4 zwaar	125 - 150	1,5 - 2,0	30 - 40	15.000 - 20.000
5 zeer zwaar	150 - 175	2,0 - 2,5	40 - 50	20.000 - 25.000
6 uiterst zwaar	> 175	> 2,5	> 50	> 25.000

Figuur 9.19 *Schaal van Christensen voor de zwaarte van dynamische spierarbeid (1953).*

voor de gemiddelde volwassen man, het energieverbruik vermeld staat bij verschillende typen van werkzaamheden, die op standaardwijze en in standaardtempo worden verricht (Åstrand & Rodahl, 1977; Gordon et al., 1957). Bij een gegeven werk en individu zullen dus de afwijkingen van de standaard-man, de standaard aanpakwijze en de -snelheid moeten worden geschat, welke al gauw respectievelijk een factor 3, 2 en 2 uiteenlopen. In de tabel in figuur 9.20 worden voorbeelden gegeven in oplopende zwaarte. Zware inspanning komt nog veel voor bij sport en recreatie en is dan veelal een uitzonderlijk element in een dagelijks activiteitenpatroon met verder een lage inspanning, zoals van zittend schrijven, autorijden en langzaam lopen.

Er zijn echter nog steeds zeer zware beroepen, zoals de melk- en pakjesbestellers in flatgebouwen zonder lift en verplegend personeel in de gezondheidszorg.

	kJ/min.	zwaarte Christensen		kJ/min.	zwaarte Christensen
slapen	5,0	1	fietsen 10 km/uur	23,9	
rustig liggen	5,5		zagen	28,6	3
rustig zitten	7,1		gras maaien	28,6	
zitten schrijven	7,6		zwemmen	29,0	
auto rijden	8,4		fietsen 20 km/uur	29,0	
typen	9,7		spitten	32,2	
montage	12,2	2	schaatsen	32,8	4
draaibank	13,9		voetballen	34,9	
strijken	18,5		trap op, 8 kg; 9 m/min.	37,8	
langzaam lopen	16,0		speed-mars	62,2	6
metselen	16,8		trap op, 10 kg; 20 m/min.	68,0	

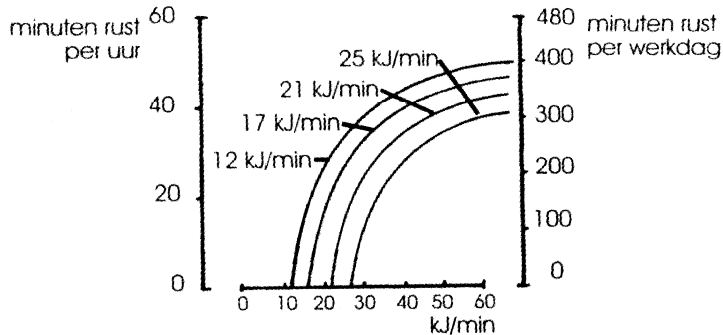
Figuur 9.20 Activiteiten en energieverbruik in kJ/min voor standaardman, -aanpakwijze en -tempo (naar Åstrand & Rodahl, 1977; Gordon et al., 1957).

Werkpauze en werktempo

Er zijn verschillende pogingen ondernomen om de juiste tijdsduur van werk-
onderbrekingen te berekenen op arbeidsfysiologische gronden, uitgaande van het
niveau van inspanning en van volhoudtijd. De formules en schema's, die daaruit
voortkwamen, hebben een beperkte geldigheid. Het systeem van Murrell, de man
die de naam 'Ergonomics' bedacht, werkt met een grafiek (figuur 9.21) waar de
werkintensiteit tegen de bruto-werkduur wordt uitgezet (links tot 1 uur, rechts tot 8
uur); aldus kan de pauzeduur via standaardcurves worden afgelezen.

De keuze van de standaardcurve is daarbij wel erg bepalend. Indien bijvoorbeeld de
activiteit zagen wordt genomen en deze 28,6 kJ/min vergt (figuur 9.20), leidt een
keuze van de lichtste standaard van 12 kJ/min tot de eis van een 35 minuten rust per
uur; de standaard van 25 kJ/min levert echter het voorschrift van slechts 5 minuten
rust per uur. De activiteit typen (9,7 kJ/min) zou dus een gehele werkdag kunnen
worden voortgezet zonder onderbreking, althans wat de spierfysiologische aspecten
betreft. Evenals dat het geval was bij de belastingsgraad, geldt ook hier natuurlijk

dat andere factoren dan de spierfysiologische van groot belang zijn, zoals motivatie en geestelijke verzadiging, gewoonten en arbeidsorganisatie.

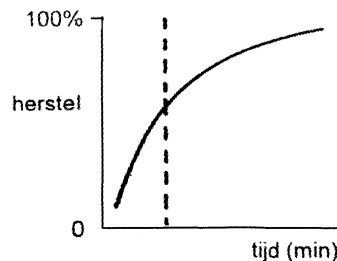


Figuur 9.21 Murrell's systeem van pauzeduur en arbeidsintensiteit bij vier norm-curve (minuten en kJ/min), (1965).

Vanuit ergonomisch standpunt zijn ten aanzien van het invoeren van pauzen de beide volgende regels het meest belangrijk:

- Laat de persoon zelf zijn werktempo en rustpauzen bepalen. De gedachte is, dat het organisme zelf de behoefte aan inspanning en herstel voelt en die ook aanpast aan de wisselende belasting. Een werksituatie, waar een machine het tempo bepaalt van de arbeidende mens, het zogeheten 'paced work', dient indien enigszins mogelijk te worden vermeden. Ten aanzien van het nemen van pauzen dienen werkers echter wel goed geïnstrueerd te worden over de hierna volgende regel.
- De eerste momenten van een pauze geven het meest effectief herstel; veelvuldige korte pauzen zijn dus te prefereren boven een lange pauze van gelijke totaalduur van de som van korte. Hierbij kan men inderdaad in conflict komen met het gegeven, dat een mens-product interactie niet veelvuldig mag worden onderbroken, bijvoorbeeld vakantiereis per auto, waar men niet na elk uur enkele minuten wil pauzeren, maar dat toch eigenlijk zou moeten.

Deze tweede regel is gebaseerd op het feit, dat de herstelcurve bij aanvang van de pauze sterk stijgt om daarna steeds verder af te vlakken (figuur 9.22).



Figuur 9.22 Vermoeidheidsherstelcurve.

Enkele besluiten

De voortschrijdende mechanisering en automatisering in de technisch geavanceerde landen hebben de gemiddelde fysieke belastingsgraad teruggedrongen en dit zowel in de landbouw en industrie, als bij het vervoer en in het huishouden. De inspanning per moment is lager geworden, tevens is de werkduur verkort. Het arbeidsethos, in de zin van de gevoelsmatige normen over wat een redelijke inspanning is, is in de laatste jaren eveneens lagere eisen gaan stellen. De gemiddelde gezondheids-toestand, althans het fysieke arbeidsvermogen (aërobe capaciteit) is echter waarschijnlijk niet gestegen. De ergonomische problematiek is daarmee echter zeker nog niet geheel opgelost:

- Er zijn nog steeds veel mens-product interacties en werksituaties, die gemiddeld een te hoge belastingsgraad vergen.
- Er zijn nog steeds veel situaties, waar kortdurende, maar toch riskante, piekbelastingen van personen worden geveerd.
- Er worden veel machines, gebruiksvoorwerpen en dergelijke ontworpen, die gedimensioneerd zijn op de krachtsuitoefening en conditie van jonge, gezonde volwassen mannen. Zwakkere mannen, ouderen, kinderen, vrouwen en fysiek gehandicapten dienen daardoor een te hoge belastingsgraad op te brengen.
- De mechanisering en automatisering zijn soms te ver voortgeschreden, in de zin dat er te weinig wordt bewogen, getild, spieren gespannen, longen en hart ingespannen. Door te weinig gebruik van eigen lichaamsfuncties treedt atrofie op, dat wil zeggen dat vermindering van de fysieke conditie ontstaat. Het te weinig bewegen, 'hypokinesie' genaamd, is dus eveneens een ernstig ergonomisch probleem. Door ergonomisch verantwoorde ontwerpen kan een gezonde spier-inzet worden bevorderd.

Begrippen

Fysieke inspanning:

- k1 materie-energie metabolisme
- k2 vegetatief systeem
- k3 homeostase
- k3 vegetatieve resonans
- k1 kanaal en 'flow capacity'
- k1 tijdsafhankelijk maximum
- k2 basal metabolic rate, basaal metabolisme
- k2 de drie kosten-soorten: gezonde vermoeiing, veroudering, schade
- k1 mentale en fysieke inspanning

Spierarbeid:

- k1 hoofdfuncties van spier(groep)en
- k1 dynamische en statische spierarbeid
- k2 spier-lengte en -kracht

- k2 hyper- en a-trofie
- k3 hypokinesie
- k2 typerende momenten in de ledenketting
- k3 kracht en bewegingsrichting
- k1 krachtverhouding in populatie
- k2 tiltraject en tillastnorm
- k2 input en output van spiersysteem
- k2 somesthesie
- k2 ademhalingsstelsel en hart-vaat stelsel
- k2 zuurstofschuld
- k2 aërobe capaciteit, fysiek vermogen
- k1 risico statische spierarbeid

Fysiek vermogen en belastingsgraad:

- k1 belasting, belastbaarheid, belastingsgraad
- k2 bij 4 minuten 100%, bij één uur 66%, bij 8 uur 33% belastbaarheid
- k3 activiteitenpatroon, tijdsduren en inspanningsniveaus
- k2 belastingsgraad van jongeren en ouderen
- k3 historische trend van verminderende fysieke arbeid
- k3 schaal van Christensen
- k3 typen van activiteiten in kJ/min
- k1 pauzeduur en gedane arbeid
- k1 paced work
- k1 vermoeidheidsherstelcurve
- k1 vaker korte pauzes
- k2 ontwerpaandacht voor piek- en onder-belasting

Vragen en suggesties

- 9.1. Wat wordt verstaan onder Basal Metabolic Rate?
- 9.2. Welke andere metabolismen zijn er naast materie-energie metabolisme?
- 9.3. Tijdens het leven ondergaat het lichaam verschillende veranderingen (functioneel, structureel). Het leven kost iets. Noem drie vormen van kosten.
- 9.4. Bepaal de flow capacity van uw informatiestroom door te bepalen hoe snel u een alinea begrijpend kunt lezen. Kunt u dit versnellen?
- 9.5. In het menselijk lichaam zijn veel willekeurige spieren aanwezig. Waarom noemt men deze spieren willekeurig en welke hoofdfuncties zijn voor deze spieren aan te geven?
- 9.6. Waarom zou het maximale metabolisme afhankelijk zijn van de tijd?
- 9.7. Schets in een grafiek de relatie tussen:
 - grootte van de spierkracht en spierlengte;
 - grootte van de spierkracht en volhoudduur.
- 9.8. Welke soort inspanning is er naast fysieke inspanning?
- 9.9. Wat is een belangrijke boodschap, die onderzoeksresultaten, zoals uit het

- onderzoek van Thompson en McClelland in 1976, aan de ontwerper geven?
- 9.10. Wat is het verschil tussen een dynamische en een statische spiercontractie?
 - 9.11. Probeer te beredeneren waarom er fietsen bestaan met 20 versnellingen, uitgaande van dynamische en statische spieractiviteit.
 - 9.12. Ga eens op een tafelwedstrijd 'arm-drukken' met 5 mensen van verschillende leeftijd uit uw omgeving. Sluiten de resultaten aan bij de resultaten bij verschillende leeftijdsgroepen van P_5 vrouwen uit tabel 9.8?
 - 9.13. Zoek in uw omgeving minstens 1 persoon die door een product door statische spierarbeid risico loopt; waarschuw deze persoon daarvoor.
 - 9.14. Tijdens het verrichten van een werктаak kunnen diverse meetbare verschijnselen als indicator dienen voor de mate van lichamelijke inspanning. Noem enkele.
 - 9.15. Wat verstaat men onder een 'dynamisch evenwicht' met betrekking tot spiergebruik en waarom krijgt dit in de ergonomie zoveel aandacht?
 - 9.16. Geef in een schema aan welk onderscheid en welke samenhang aanwezig zijn tussen belasting, belastbaarheid en belastingsgraad.
 - 9.17. Door het intensief en regelmatig beoefenen van duursporten kan men de lichamelijke conditie vergroten. Geef aan of er wijziging plaatsvindt in de grafiek van het fysiek vermogen als functie van de tijd (figuur 9.6).
 - 9.18. Op basis van welk principe is de schaal van Christensen ingedeeld?
 - 9.19. Welke twee regels zijn ten aanzien van het invoeren van pauzen vanuit ergonomisch standpunt het meest belangrijk?
 - 9.20. Schat aan de hand van figuur 9.20 wat uw energieverbruik is tijdens uw dagelijkse werkzaamheden en bepaal vervolgens in figuur 9.21 hoeveel minuten rust u per werkdag zou moeten hebben. Komt u daaraan toe?
 - 9.21. Welke problemen voorziet u bij het ontwerpen van een optimaal belastingsniveau voor een gebruikers populatie?
 - 9.22. Bedenk een situatie waar een machine het tempo bepaalt van de arbeidende mens. Wat of wie bepaalt meestal uw werktempo?
 - 9.23. Schets globaal een vermoeidheidsherstelcurve; wat valt daaraan op?
 - 9.24. Welke fysieke problemen voorziet u bij (volgens science-fiction) de mens die alles alleen vanuit een ligstoel bedient?
 - 9.25. Welke aspecten zijn vaak kritisch bij het uitoefenen van krachten bij Mens-Product Interactie?
 - 9.26. Als er een deurhendel wordt toegepast met een draairichting, blijkt uit het onderzoek van Thompson en McClelland dat de voorkeur uitgaat naar een tegenklokwaartse draai. Aan welke kant (rechts of links) van de deur zou u zo'n draaiknop plaatsen?
 - 9.27. Kunt u het ontstaan van fitness-centra in kantoren verklaren met behulp van de theorie uit dit hoofdstuk over fysieke inspanning?

10

Het bedienen van producten via bedieningscomponenten

Samenvatting

Bedieningscomponenten op toestellen/machines e.d. vormen de laatste subcategorie van de fysiek ondersteunende producten, ook in historische zin. De moderne mens-product interactie, althans het commando's geven door de bediener aan een apparaat, verloopt overwegend via zulke componenten, ook wel 'controls' genoemd. De bedieningsfasen, -typen en -patronen worden onderscheiden en behandeld, om erna de technische uitvoeringstypen van controls van hand- of voetbediening in kaart te brengen. Dan volgen aanwijzingen voor het ontwerpen, kiezen en installeren, waarbij het coderen van controls ook aandacht krijgt. Besloten wordt met het speculeren over enkele belangrijke 'trends in controls'.

10.1 Vanaf eenvoudig gebruik, via hanteren, naar bedienen

De geschiedenis van de techniek vertoont, vanaf het begin ergens bij de stenen vuistbijl, een gestage groei in complexiteit en verscheidenheid van de technische oplossingen, toenemend in schaalgrootte en in de uitgebreidheid van systemen en van netwerken met technische onderdelen. In dit deel over de fysieke ergonomie wordt de nadruk gelegd op de fysiek ondersteunende producten en die categorie is in de geschiedenis de eerste en de oudste en gewoonlijk ook de eenvoudigste. Als in de volgende delen van dit boek de zintuiglijk ondersteunende producten en erna de cognitief ondersteunende producten aan bod komen, zal blijken dat daar meestal ook modernere technische principes worden toegepast, met toepassing van fijnmechanica, elektronica, meet- en regeltechniek etc. Binnen de categorie van fysiek ondersteunende producten zelf is er echter ook veel historische ontwikkeling te zien en is niet steeds technische en ergonomische eenvoud troef. In 5.2 werd een indeling in zessen gegeven van fysiek ondersteunende producten, een reeks vanaf 'kleine verblijfsruimten' (cabins) tot de in dit hoofdstuk te behandelen 'bedieningsonderdelen' (controls). De eerste drie subcategorieën (cabins, supports, outfits) zijn over het algemeen en vergelijkenderwijs eenvoudig in het gebruik. De functie-ervulling ervan verloopt gewoonlijk onopvallend en vergt weinig bewuste aandacht en sturing. Bij de twee volgende subcategorieën (grips, packs and loads, tools) begint die sturing toe te nemen en de passiviteit van het gebruik dus af te nemen. Bij de laatste subcategorie, die van bedieningsonderdelen (controls) op

apparaten en werktuigen, is de aard van de mens-product interactie weer anders: weinig passief en de bedienende handeling verloopt weliswaar bewust, maar toch gewoonlijk betrekkelijk eenvoudig. Bijvoorbeeld het indrukken van een aan-uit-knop op een apparaat gebeurt omdat de bediener het echt dan wil, maar de handbeweging is slechts een translatie door de vingertop van enkele mm (de slag van de knop) en met een kracht van rond 1 Newton. Daarentegen gaat bijvoorbeeld het hanteren van een beitel, een 'tool', minder eenvoudig: precies plaatsen, met één of beide handen kracht zetten, nauwkeurig de doordringing en het effect van het scherpe werkeinde inspecteren en beheersen e.d. De stap van hanteren naar bedienen betekent dus de overgang naar simpeler motorische handelingen en dat wordt mogelijk gemaakt door mechanismen, die de kracht en beweging van menselijke bediening omzetten in een specifiek signaal, om een vooraf bepaald gevolg te hebben in de werking van het apparaat: aan/uit, voorwaarts/achterwaarts, harder/zachter, wasprogramma 1 of 2 of 3 etc. Het kan controls betreffen op grotere installaties, machines, op huishoudelijke apparaten (audio-video, vaatwasser e.d.), maar ook op beweegbare hulpmiddelen (stofzuiger), of op 'portables' (elektrische boor, walkman). De werktuigen kunnen al dan niet een extra krachtbron hebben (veer, batterij, luchtdruk, elektrische netaansluiting e.d.). Een control kan eenvoudig zijn in werking, zoals een schuifje om de pompschroevendraaier klokwaarts of tegenklokwaarts te laten roteren, of kan werken via een complexe reeks, zoals een muisklik die de keus van een programma in de tekstverwerker tot gevolg heeft. Een bedieningscomponent kan een eenmalige beweging vergen (lichtschakelaar) of continu bewegen (autostuur); kan beperkt zijn tot twee of kan meer standen hebben (aan/uit, wasprogramma inklikken, aantal kopieën intoetsen op kopieermachine) of kan traploos worden ingesteld (volumeknop op radio, helderheidsinstelling op tv-afstandsbediening, lichtdimmer). Bedieningscomponenten verbeteren, vergemakkelijken en specificeren dus de beheersing van apparaten; minder kracht en minder sturing zijn nodig en effecten kunnen beter worden gericht en getimed. Indien de werking van een werktuig zo krachtig, zo snel, veranderlijk of anderszins complex wordt, dat directe menselijke besturing ervan niet meer mogelijk of wenselijk is, verloopt de menselijke bediening dus via controls. Bedieningscomponenten verschijnen daarom ook later in de technische ontwikkeling (eerst bij windmolens, kruisboog, klokken, takels), maar vormen nu de meest voorkomende elementen van mens-product interactie.

10.2 Bediening als input in het product

In het MPI-model (zie 3.4) werd de interactie tijdens productgebruik geschematiseerd. De input in het product/apparaat/werktuig kan verschillende bronnen hebben en op verscheidene wijzen plaats vinden. De menselijke bediener kan voor input zorgen door bijvoorbeeld duwen, pakken, omdraaien e.d., maar er kan ook invloed op het product worden uitgeoefend door de omgeving: trilling, temperatuur, regen e.d. Voor dergelijke input kan het product al dan niet beschikken over speciale opvangmechanismen. De 'boundary' (figuur 3.6), huid, omkasting of

soortgelijke buitenkant kan dus ook voorzien zijn van controls of sensoren; beide functioneren als ‘zintuigen’. Controls zijn er voor menselijke bedieningscommando’s en sensoren zijn voelers van specifieke omgevingsveranderingen, die niet van menselijke origine hoeven te zijn. Een lichtsensor bijvoorbeeld doet de tuinverlichting aan als het donker wordt; een infra-rood sensor bij een toegang voelt een persoon naderbij komen en knipt een deurlicht aan (in het eerste geval is er dus niet sprake van mens-product interactie). Control: een tiptoets schakelt via inductie door een vingertop een tv set aan. Input zonder sensor of control: de buitenkant van het product vangt een trap op van een boze bediener via de omkasting en niet via een speciaal inputorgaan, omdat in dit geval de schok niet een signaal vormt om de werking van het product op een bepaalde wijze te sturen (daar gaan we althans van uit). In het volgende zullen we de sensoren niet verder behandelen.

Een bedieningscomponent, zijnde een input-mechanisme voor een apparaat, zou dus als volgt kunnen worden beschreven:

- “een materieel vormelement
- dat meestal een standaard onderdeel is en
- aan de buitenzijde van het apparaat/werktuig
- op een goed bereikbare plaats is bevestigd
- en waarvan de bediening gewoonlijk een eenvoudige beweging (kleine translatie of rotatie) vergt,
- waardoor er een omzetting plaatsvindt (van mechanisch bijvoorbeeld tot elektrisch, pneumatisch, mechanisch) tot een intern machine-commando
- en dat tot gevolg heeft dat de machinefuncties dusdanig veranderen en verlopen (aan/uit, intensiteit, programma-keuze e.d.), zoals de bediener wil en verwacht”.

Voorgaande beschrijving is niet altijd volledig van toepassing: bij een afstandsbediener is die control niet op het apparaat bevestigd; controls kunnen soms moeilijk bereikbaar zijn en bijvoorbeeld met opzet achter slot en grendel zitten; het bewegen van een joystick of een trackball kan soms knap ingewikkeld bewegen vergen.

Bij veel apparatuur is er niet een beperking tot één control, maar zijn er vele die in een volgorde moeten worden bediend of waaruit een keuze moet worden gemaakt. Men denke bijvoorbeeld aan de warme-dranken automaat (figuur 3.7), een kaartjes automaat (figuur 2.7) of aan de panelen in een vliegtuig cockpit (figuur 2.8). Die bedieningselementen kunnen alle van hetzelfde type zijn, zoals de drukknoppen van voornoemde automaten, of kunnen diverse typen en vormen tonen zoals op de bedieningspanelen van die cockpit.

De fysische aard van de inputsignalen is in meerderheid mechanisch: de knop wordt met enige kracht over een korte slag ingedrukt en een elektrisch contact wordt erna gemaakt of verbroken; een hendel wordt met veel kracht een 60 graden gekanteld en door hefboomwerking wordt een stalen draad aangetrokken en een spoorrail gewisseld. De fysische aard kan echter ook pneumatisch, optisch, elektrisch-inductief of anders zijn. Bijvoorbeeld door er zacht tegen te blazen kan een

plaatje kantelen en zal een contact veranderen. In toenemende mate wordt gebruikt gemaakt van ‘speech control’ en dus van patronen van luchtdrukwisselingen door spreken. Sommige apparaten kunnen dus ‘luisteren’ en reageren op bepaalde gesproken commando’s; veelal is daartoe duidelijk articuleren geboden en is het vocabulaire beperkt tot enkele standaardwoorden, zoals: “ga/stop, harder/zachter, links/rechts” bij een rolstoel. Soms is het probleem dat alleen op de stem van één bepaalde persoon moet worden gereageerd (bijvoorbeeld bij een toegang); soms is het probleem dat er door iedere stem moet kunnen worden gecommandeerd. De technische ontwikkeling gaat snel in de richting van de betrouwbare opvang van een breed vocabulair en een verscheidenheid van sprekers. In zekere zin is de spiegelzijde van de spraakbediening de ontwikkeling van artificiële spraak, ofwel ‘speech-display’, waarbij de machine aan de bediener signaleert door gesproken woorden. Gesproken waarschuwingen door auto-dashboards komen bijvoorbeeld voor (figuur 21.3). Inputs en controls van een lichtstraal komt ook wel eens voor; bijvoorbeeld het activeren van toetsen op een groot formaat verticaal toetsenbord door een kleine schijnwerper, die op het hoofd van een gehandicapte is gemonteerd, om te communiceren of om functies in de omgeving (verlichting, gordijnen, deuren e.d.) te beheersen.

10.3 Bedieningsfasen en -patronen

Bij het MPI-model werd ook aangegeven dat er bij gebruik van een product verschillende fasen kunnen worden onderscheiden (zie bijv. figuur 20.3). Dat onderscheid kan ook bij het ontwerpen of kiezen of monteren van bedieningsonderdelen van belang zijn. In 10.5 zal specifiek daarop worden ingegaan door het noemen van ontwerp- en codeer-dimensies. In het algemeen zou men de bediening als volgt kunnen faseren:

1. de gebruiker/bediener/machine-operator bevindt zich bij het product/apparaat/werktuig/toestel;
2. hij/zij neemt het initiatief tot het geven van een commando ter verandering van de werking van het apparaat; ook kan het zijn dat het niet zozeer een initiatief is, alswel een reactie op een signaal van het apparaat;
3. de bediener bepaalt welke control moet worden geactiveerd of van stand verandert en reikt ernaar;
4. de bediener maakt contact met de control en doet het van stand veranderen (activeert) gewoonlijk door enige krachtoefening en beweging door de hand, die worden gevoeld (en gezien) als een verandering van positie, en als mechanische weerstandveranderingen.

Deze laatste fase is de eigenlijke bedieningsfase, die verschillende vormen kan hebben. Het kan zijn een eenmalig bewegen en erna de hand terugtrekken (lichtschakelaar) of eenmalig bewegen en de hand er verder op laten rusten (dodemansknop). Het bedienen kan echter ook zijn het veelvuldig ermee blijven bewegen (autostuur, muis bij tekenen). Een ander onderscheid betreft de discrete versus traploze standverandering bij de bediening. Discreet in de zin dat de control

een beperkt aantal (discreet), vooraf mechanisch bepaalde, standen kan innemen door van de ene positie naar de andere te schakelen, te klikken (bijvoorbeeld draaiknop voor programmakeuze). Of traploos in de zin dat de control tussen uiterste standen elke positie, van een in principe oneindig aantal, kan innemen (bijvoorbeeld gaspedaal, volumeregelaar radio, lichtdimmer). Vaak ook wordt de variant gevonden van de drukknop, die bij elke volgende indrukking het effect in de naast hogere discrete stand doet springen, maar die bij ingedrukt houden continu naar hogere waarden schuift. Bij standsverandering verloopt de beweging van de control gewoonlijk via een vaste route: het stuurwiel draait in een bepaald vlak, de versnellingshendel kan slechts kiezen uit een beperkt aantal vaste posities (bijvoorbeeld de uiteinden van een H-vorm). Bij een joy-stick daarentegen kan, al zwenkende, elke positie in een bolsegment worden ingenomen of, door induwen of uittrekken van de stick, zelfs elke positie van een bolsector; evenzo kan een muis overal zijn plaats binnen een bepaald vlak innemen.

De beweging van de control (en van het bedienende lichaamsdeel, zoals hand of voet) kan beschreven worden als een translatie: drukken of trekken of schuiven, of als een rotatie: draaien (om as direct bij bedienend lichaamsdeel, zoals bij fijnsteldraaiknop) of zwenken (kantelpunt op enige afstand van bedienend lichaamsdeel, zoals bij hendel).

Het aantal standen, dat er door een control met effect kan worden ingenomen, bepaalt uiteraard het aantal commando's dat door de bediener kan worden gegeven aan het toestel/machine en komt dus ook overeen met de 'informatiecapaciteit' van de control. Een lichtschakelaar kent maar twee standen, een programmaschakelaar soms wel een dozijn standen, maar een stuurwiel of continu-schuif kennen in principe een eindeloos aantal standen en hebben dus in die zin een veel hogere informatiecapaciteit. Vanzelfsprekend vergt fijnregeling fijnere motoriek en meer aandacht dan een gewoon aan- of uit-zetten van een apparaat.

Als laatste onderscheid bij de bediening van controls kan nog genoemd worden: kwantitatief - kwalitatief. Wordt bij aktiveren/standveranderen de werking van de machine alleen in een bepaalde dimensie meer of minder (snelheid, helderheid, luidheid, stand e.d.)? Of is het effect een andere kwaliteit van werking (keuze uit verschillende was- en droog-programma's, vooruit of achteruit bewegen, zenderkeuze, verbrandingsmotor op benzine of gas e.d.)?

Samenvattend over de eigenlijke bediening:

- eenmalig of blijvend bewegen;
- discrete of traploze standsverandering;
- gebaande of vrije standsverandering;
- drukken, trekken of schuiven; draaien of zwenken;
- variatie in de informatie-capaciteit;
- kwantitatief of kwalitatief effect.

Straks zullen bij 10.4 en 10.5 nog enkele andere onderscheidingen worden toegevoegd, zoals 'inzet van de ledenketting', contactvorm en codeerwijze, zodat dan het ontwerpergonomisch woordenlijstje van de belangrijke productsubcategorie

'bedieningscomponenten' redelijk volledig raakt. Daaraan voorafgaande zullen we eerst het inzicht in bediening moeten uitbreiden van bedieningsfasen naar bedieningspatronen.

Omdat het dagelijks omgaan met gebruiksgoederen voor een belangrijk en groeiend deel verloopt met behulp van bedieningscomponenten, kunnen de inzichten en de analyse niet volstaan met een fasering alsof het maar om een enkel bedieningscomponent gaat. Gewoonlijk zitten er op een toestel een aantal, al dan niet van dezelfde vorm. Men denke aan het toetsenbord van een computer of van het telefoontoestel, aan de afstandsbediener van audio-video sets, of aan de openbare automaten voor geld innen, - afrekenen, - wisselen. Slechts zelden betreft het een array (matrix) van knopjes waaruit één moet worden ingedrukt als totale bedieningshandeling; meestal gaat het om een reeks bedieningshandelingen aan achtereenvolgens verschillende controls. Bij het bedienen van een cijfer-array kunnen alle denkbare reeksen en van verschillende lengten optreden (reken-toetsenbord, telefoonnummerkeuze) en bij het gebruik van een tekstverwerker kan men, afhankelijk van taalgebied en berichtensoort, ook een eindeloze variatie van bedieningsreeksen verwachten. Kenmerkend hierbij zijn gewoonlijk de lange duur van leren door de gebruiker en de hoge frequentie en snelheid van de toetsbediening. Het bedieningspatroon van een automaat voor treinkaartjes vertoont vergelijkenderwijs minder variatie, bijvoorbeeld een viercijferig bestemmingsnummer en dan enkele twee- of driekeuzen voor de kaartsoort. De kaartjesautomaat voor het parkeerterrein vergt slechts één korte bedieningsreeks, waarin geldstukken als inputsignaal voor de verblijfsduur fungeren, met erna een drukknop voor de bon. De tijden tussen de afzonderlijke toetsactiveringen kunnen bij de voorgaande voorbeeldtypen wisselen, afhankelijk van handigheid, begrip, haast, maar worden soms ook nog wel wat bepaald door de snelheid van het toestel.

Er zijn dus vele verschillende bedieningspatronen en de meeste ervan vereisen leerprocessen die door vele factoren worden bepaald. Daaraan zal het volgende hoofdstuk 11 deels worden gewijd.

10.4 Typen van bedieningscomponenten

In het mechanische tijdperk van een eeuw en langer geleden waren de weinige bedieningsonderdelen zwaar uitgevoerd als grote hefbomen en als zware wielen voor het spannen van kabels e.d. Er was weinig en weinig standaardisatie. In het huidige tijdperk vindt men meer, gevarieerder en kleinere controls. Door de snel uitbreidende toepassing van micro-elektronica bij bediening, sturing, regeling, telematica e.d. is er nu weer een trend tot minder variatie, zoals in 10.6 kort te behandelen. Desalniettemin is het voor ontwerpers, inrichters e.d. nog nuttig enig overzicht te hebben van het huidige arsenaal van verschillende typen van technische uitvoering van de, min of meer gestandaardiseerde, controls. Direct rijst dan de vraag welk principe van indeling men voor zulk een overzicht het beste kan hanteren. De energie-vorm, de toepassingssector of het onderscheid tussen hand- of voetbediening helpen ons niet veel verder. Omdat in de ontwerpergonomie de

gebruikswijze centraal staat en omdat bij controls de motorische bediening belangrijk is, kan als indelingsprincipe worden gevolgd: “de mate van inzet van de ledenketting”: moet voor het activeren (standsverandering van de control) alleen maar de vingertop worden verplaatst of de gehele vinger, verscheidene vingers tegelijk... en zo verder oplopend tot de inzet van armen plus romp, zoals bij het orgeldraaierswiel. Begrijpelijk kan met een stijgende inzet van de opperste ledenketting een hogere maximale kracht worden opgebracht voor de bediening, maar er is ook een grotere bewegingsruimte nodig. In de tabel van figuur 10.1 wordt volgens dat indelingsprincipe een overzicht gegeven van 17 handbediende en 2 voetbediende typen controls, in de volgorde van de gewoonlijke grootte/uitgebreidheid van de inzet van de ledenketting. Daarbij worden principeschetsjes in zij- en bovenaanzicht weergegeven, alsook het type van de bedienende, translerende of roterende beweging.

Bij de tiptoets is er wel een beweging om de vingertop erop te leggen, maar is er verder geen bedienende beweging. Bij een drukknop is er een kleine drukkeweging, waarna meestal de knop weer terugveert naar de oorspronkelijke stand; soms blijft de drukknop in de ingedrukte stand staan en heel soms komt men een drie-stand drukknop – met een tussenstand dus – tegen. De ‘tuimelschakelaar’ is naar vorm een kleine, dunne hefboom die veelal in metaal is uitgevoerd, terwijl de ‘hefboomschakelaar’ breed en vaak vanzelf terugverend is en gewoonlijk van kunststof. De in werkelijkheid optredende variatie in vorm is groot en de benamingen variëren ook nogal eens in de praktijk. De gebruikelijke traploze standenvariatie betreft de typenummers 4, 8, 9 en 12 t/m 17. Bij nader bezien van dit overzicht van controltypen zou kunnen opvallen dat ook de wijze van contact tussen control en lichaam systematisch verschilt. Bij de typen 9 t/m 17 is er gewoonlijk sprake van vasthouden en dus van een min of meer omvattende greep van de vingers. Dat geldt niet voor de overige typen, waarbij er, hetzij contact is door een duwkracht in de normaalrichting uit te oefenen, zonder omvatting (bewegingstype d); hetzij contact via frictie met een krachtoefening parallel aan het contactoppervlak, zoals bij de typen 4, 7 en 8. Voor dit laatste type wordt meestal met extra textuur, zoals ribbels of putjes, het wegglijden van de bedienende vingertop bemoeilijkt.

In het overzicht van figuur 10.1 zijn verschillende oude en nieuwe typen niet opgenomen. De pianotoets en de lettertoets van de mechanische schrijfmachine zijn bijvoorbeeld speciale hefbomen en van moderne typen controls ontbreken bijvoorbeeld de muis en de trackball (een soort ‘alle richtingen variant’ van het duimwiel).

no./naam	schema		inzet	beweging
	zij-aanzicht	boven-aanzicht		
1. tiptoets			1	d
2. drukknop			1/2	d
3. wipchakelaar			2	z
4. duimwiel			2	r
5. tuimelschakelaar			2/3	z
6. hefboomschakelaar			2/3	z
7. aan - uit schuif			3	s
8. continu schuif			3	s
9. fijnsteldraaiknop			3	r
10. meerstandenschakelaar			4	r
11. staafdraaiknop			4	r
12. draaischijf			4/5	r
13. sterdraaiknop			5	r
14. zwengel			6/7	r
15. joystick			6/7	d t z
16. hendel			7	d t
17. hand/armwiel			7/8	r
18. voetdrukknop			9/10/11	d
19. pedaal			9/10/11	d

Figuur 10.1 Overzicht van klassieke typen hand- en voetbedieningsmiddelen, gerangordend volgens de inzet van de ledenketting.

inzet:

- 1 = vingertop
- 2 = vinger
- 3 = wijsvinger + duim
- 4 = vingers, + of - duim
- 5 = hand
- 6 = onderarm

beweging:

- 7 = arm
- 8 = armen, met romp
- 9 = voet vanuit enkel
- 10 = been vanuit knie
- 11 = been vanuit bekken
- d = drukken
- t = trekken/duwen
- r = roteren
- z = zwenken
- s = schuiven

10.5 Ontwerp-, keuze- en installatie-overwegingen

Een bedieningscomponent vervult de functie van commando-overdracht en in

functionele zin is dus eerstens van belang hoeveel standen c.q. commando's er met die ene control dienen te worden gerealiseerd; welk aantal discrete posities of een onbepaald groot aantal op een traploze schaal. Er kunnen echter nog andere functionele overwegingen een rol spelen. Indien bijvoorbeeld de menselijke bediener zelf een forse kracht moet opbrengen, zal een forse hefboom of grote zwengel voor de hand liggen. Er kan ook een minimummaat gelden: voor het visueel en tactiel nog kunnen onderscheiden van waar welke control is; de polshorloges met rekenmachientje vergen wel erg kleine vingertoppen! Ook kan het een overweging zijn dat er veel controls met verschillende functies op een betrekkelijk klein paneel bijeen moeten worden gegroepeerd en toch niet visueel met elkaar verward, noch bij bediening verwisseld mogen worden. In de praktijk worden ontwerp en keuze van controls echter ook vaak ingegeven door minder functionele – maar niettemin respectabele – overwegingen van traditie en esthetische waardering.

In figuur 10.2 worden enkele richtwaarden gegeven voor de typen controls van de voorgaande figuur 10.1. De drie kolommen rechts van de typenaam geven aan de maat van het component, de omvang van de standsverandering ervan en de tussenruimte in horizontale en verticale richting in geval er meer dan één bijeenstaan. De bedieningskracht, die in overeenstemming is met de inzet van de ledenketting – en die dus de ondergrens van voelbaarheid te boven gaat – is in de volgende kolom in Newton benaderend aangegeven. Er dient hier van 'benadering' te worden gesproken, niet alleen omdat bij rotatie niet het moment in Nm staat aangeduid, maar ook omdat er bij bediening van een control meestal sprake is van een weerstandsverloop: een relatief hoge aanvangsweerstand, een laag vervolg en een zeer hoge weerstand (stop) bij het eind van de standsverandering (Van Wijnen, 1987).

Het meest functionele criterium, het aantal standen ofwel de informatiecapaciteit, staat in de op één na meest rechtse kolom. Tenslotte staat er nog een kolom die aangeeft of de stand (verandering) van het type bedieningsmiddel met een oogopslag te zien is. Die laatste kolom brengt ons op het ontwerpen en kiezen van de codering van controls. Codering van bedieningscomponenten dient om vooraf en tijdens het bedienen informatie te geven aan de bedienende mens. Controls zijn er weliswaar om de mens-product interactie te verbeteren en te vergemakkelijken, maar er werd eerder gesteld dat controls vooral te vinden zijn op complexere gebruiksgoederen en machines. Het betreft dus vooral toestellen met een ingewikkelde en gevarieerde werking, waarover gewoonlijk veel informatie aan de bediener te melden is en waaraan die bediener ook veel commando's kan geven. Het probleem ontstaat al gauw voor de bedieners, om de vele informatiegevers (displays, hoofdstuk. 17) en daarbij ook de vele controls uit elkaar te houden. Bij het bespreken van de herkenbaarheid van productgebruik in 4.4 werd de beeldspraak gebruikt van 'drie woordenboeken' in het menselijk geheugen, om in onze technocultuur aan de producten en hun onderdelen het 'wat, waarvoor en hoe' te herkennen. Het coderen van controls dient dus voor deze herkenningen van elk en

ontwerpparameters en globale advieswaarden							
no.	naam	diameter, hoog, breed, lang (mm)	beweging (graden, mm)	tussen- ruimte (mm)	operationele kracht (N)	aantal standen	mogelijkheid visuele controle
1	tiptoets	13 - 25	0	8 - 13	0 - 0,5	2	+
2	drukknop	13 - 25	1 - 6 mm	8 - 13	0,5 - 5	2	-
3	wipschakelaar	25 - 65 L	30°	8 - 13	1 - 4	2	+/-
4	duimwiel	25 - 36 Ø 5 - 25 B 18 - 25 opening	0 - max.°	13 - 25	0,5 - 2	∞	-
5	tuumelschakelaar	3 - 6 Ø 12 - 20 H	40 - 60°	8 - 15	1 - 5	2 - 3	+
6	hefboom- schakelaar	10 - 15	30°	5 - 10	1 - 5	2	+
7	aan - uit schuif	2 - 5 3 - 5 H	6 - 13 mm	15 - 25	0,5 - 2	2	+
8	continu schuif	7 - 10 5 - 10 H	0 - max. mm	20 - 35	0,5 - 4	∞	+
9	fijnsteldraaiknop	10 - 20	0 - max.°	25 - 50	0 - 0,5	∞	-
10	meerstanden- schakelaar	40 - 60 10 - 30 H	30°	30 - 60	2 - 8	3 - 12	+/-
11	staafdraaiknop	25 - 50 20 - 30 H	15 - 30°	30 - 60	2 - 8	3 - 6	+
12	draaischijf	40 - 80 10 - 25 H	0 - max.°	25 - 50	0,5 - 2	∞	-
13	sterdraaiknop	40 - 60 25 - 45 H	0 - max.°	25 - 50	2 - 20	∞	+/-
14	zwengel	20 - 300 straal 30 - 80 H	0 - max.°	60 - 120	10 - 50	∞	-
15	joystick	2 - 5 50 - 200 H	10 - 90°	50 - 100	5 - 50	1 - ∞	+
16	hendel	25 - 40 Ø 150 - 600 H 80 - 120 (H. hand-voet)	10 - 90°	50 - 100	10 - 200	2 - ∞	+
17	hand/armwiel	200 - 500 20 - 30 velg Ø	0 - max.°	150 - 300	15 - 150	∞	-
18	voetdrukknop	25 - 90	15 - 70 mm	200 - 500	15 - 70	2	-
19	pedaal	100 - 150	50 - 150 mm	50 - 200	15 - 200	2 - ∞	-

Figuur 10.2 Algemene richtlijnen voor de uitvoering van de verschillende klassieke typen van hand- en voetbedieningsmiddelen.

tevens voor de onderscheiding ten opzichte van elkaar in een verzameling controls, alsook voor het herkennen van hun eventuele samenhang. In een geheel van bedieningsknoppen van een audioset, in rijen en groepen, is het niet altijd eenvoudig overzicht te verkrijgen en om snel en foutloos te kiezen en bedieningsreeksen uit te voeren (een CD opzetten in zulk een set vereist soms het intoetsen van 6 knopjes, verspreid over 3 paneeltjes). Op een gebruikelijk autodashboard zijn er ettelijke

controls en displays voor vele functies en vele moeten direct en snel kunnen worden bediend en begrepen. In figuur 10.3 wordt een eerste overzicht gegeven van mogelijkheden om controls beter, overzichtelijker, herkenbaar, voelbaar en controleerbaar te maken. Links staan de verschillende fasen van het bedieningsproces van controls als: vooraf, tijdens en erna. In het midden staat kort de codedimensie aangeduid. Omdat het om het herkennen van een bedieningscomponent gaat en dus om het waarnemen, worden rechts in de tabel de drie vormen: zien, voelen of horen als mogelijkheid weergegeven.

processtappen/fasen van bediening	code (dimensie, wijze)	zintuigen		
		visueel	tactiel	auditief
vooraf:	1. plaats en groepering	x	x	
- opmerken	2. vorm	x	x	
- selecteren	3. grootte	x	x	
- identificatie van	4. richting, oriëntatie	x	x	
functie en aard van	5. op-, bijschrift	x		
beweging	6. neven-display	x		
	7. kleur, helderheid	x		
tijdens: roteren,	8. textuur	x	x	
transleren, zwenken	9. bedieningswijze	(x)	x	
	10. geluid		x	x
erna:	11. visueel tonen van effect	x		

Figuur 10.3 Coderen van bedieningsmiddelen.

Voor elke aangegeven codedimensie zal hierna een voorbeeld volgen:

- plaats: de aan-uit knop afzonderlijk en links onder op een paneel.
- groepering: op een radiofront een afzonderlijke groep bijeen van golf- en zenderkeuze en op een andere plek een groepje van controls voor de geluidskwaliteiten.
- vorm: aan de contour/omtrek van een bedieningsonderdeel kan een eigen vorm worden gegeven, bijvoorbeeld ovaal of langgerekt rechthoekig; die vorm kan soms ook associatief verwijzen naar de functie (een driehoek met scherpste hoek naar beneden geeft aan: schuif voor volumeregeling; naar beneden = minder volume).
- grootte: controls kunnen hun betekenis verduidelijken door relatief groter of kleiner te zijn. Bijvoorbeeld de belangrijkste draaiknop op een rij verkrijgt de grootste diameter.
- richting: de kantelrichting van hefboom- of tuimelschakelaars op een frontpaneel is verticaal of horizontaal naargelang hun functie (commando).
- oriëntatie: controls van verschillende groepen van functies staan gegroepeerd op een verticaal vlak (frontaal, rechts of links) of op een horizontaal vlak.
- op- of bijschrift: op het bedieningsonderdeel zelf is ruimte voor een goed leesbaar woord of begrijpelijk teken of pictogram; of vlak naast de control en

duidelijk erbij behorend staat zo'n label.

6. nevendisplay: bij een control, waarvan de stand niet gemakkelijk is af te lezen, wordt bijvoorbeeld een lampje gemonteerd om aan te geven of de stand aan of uit is; of enkele lampjes erbij of op een rij zorgen voor een intensiteitsaanduiding van de controlstand; of een duidelijke stip op een draaischijf kan worden vergeleken met schaalmarkering op de ondergrond rondom de schijf, al dan niet met numerieke aanduidingen voorzien.
7. - kleur: bedieningsonderdelen kunnen worden onderscheiden door het geven van verschillende kleuren naargelang hun functie, groep functies, bedieningsfase etc. Metaalkleuren, arceringen e.d. kunnen ook worden gebruikt. Op een duimwiel kan bij roteren de kleurverdeling meeveranderen.
- helderheid: zwart, wit en grijsvarianten kunnen eenzelfde werking hebben als kleuren.
8. - textuur: door ribbels, gleuven, wafelpatronen en putjes of bobbels, al dan niet variërend in dichtheid en grootte, kan zowel zichtbaar als voelbaar onderscheid worden aangebracht.
9. - bedieningswijze: bij kritische controls, die zeker niet onbedoeld mogen worden geactiveerd, worden soms afwijkende bedieningswijzen ter waarschuwing en onderscheid aangebracht, bijvoorbeeld eerst trekken en erna pas kunnen roteren of eerst een dekseltje openen om een schuif te kunnen bereiken. Ook wordt een afwijkende weerstand soms ter voelbare herkenning aangebracht: een zeer zware initiële weerstand of een hortend weerstandsverloop.
10. - geluid: standsverandering kan hoorbare klikken geven of traploze verhoging kan gepaard gaan met een luider of hoger wordende toon; ook is gebruik van de zoëven aangestipte speech-display wel denkbaar.
11. - visueel tonen van effect: het is een algemeen ergonomisch principe (zie 19.2) dat het effect van handelingen liefst direct moet worden teruggekoppeld en dus getoond wordt. Het moet dus voor een bediener waarneembaar zijn of de bedieningshandeling het beoogde doel heeft bereikt. Dat is vaak gemakkelijker te tonen via andere displays/signaalgevers dan via de control zelf. Bij standsverandering verandert een cijfer, of wijzigt een achtergrondkleur.

De vele voorgaande codedimensies, elk met diverse varianten, geven een breed palet van codeer-mogelijkheden. Het is vaak onvermijdelijk, of anders wel raadzaam, de codering van controls niet tot één dimensie te beperken. De codering heet dan 'redundant' (zie ook pag. 351). Het is echter ook aan te raden niet teveel codedimensies tegelijk te hanteren, omdat anders een kakelbont onoverzichtelijk geheel ontstaat en het leren onderscheiden meer tijd vergt.

10.6 Trend in controls

De ergonomie werd weleens het vak van de 'knobs and dials' (knoppen en wijzerplaten, ofwel bedieningscomponenten en signaalgevers) genoemd. Dat was

enigszins een eenzijdige aanduiding, maar wijst wel op de meest voorkomende contacten bij de mens-product interactie. In een overzicht, zoals in figuur 10.1 werd ook de verscheidenheid van de bedieningscomponenten getoond. In hoofdstuk 17 zal de veelvormigheid van de visuele signaalgevers (displays) aan bod komen. Of die variatie in vorm en werking van controls in de komende periode zal toenemen, is niet zeker. Door het toepassen van micro-elektronica voor displays en voor controls en door de goedkope massaproductie, zien we eerder een trend naar meer eenvormigheid: arrays van eenvoudige knoppen, al dan niet vergezeld van een klein beeldscherm voor cijfers en letters om effecten of instructies bij de bediening weer te geven. De maat en tussenafstand van die knoppen neigen kleiner te worden. Afstandsbediening voor audiovideo toestellen, van deuren, gordijnen, verlichting e.d. penetreren in huis- en werksituaties. Door de elektronica is het invoeren van verschillende commando's van controls naar de interne toestelmechanismen eenvoudiger geworden. Dit leidt soms tot multifunctionaliteit van een control. In principe zou met één knopje een uitgebreide reeks of boomstructuur van bedieningsfuncties kunnen worden uitgevoerd; men denke bijvoorbeeld aan eenmaal of vlug tweemaal achtereenvolgend indrukken van een knopje, of het vasthouden ervan; het na een standaard tijdsinterval wel of niet indrukken enz. Door deze keuzen kunnen reeksen van commando's worden gekozen en doorgegeven. Zonder visuele ondersteuning op een schermje is zo'n complexe 'éénknopsbediening' nauwelijks te doen; het vergt het van buiten leren van veel volgorden en keuzeschema's en veronderstelt een ononderbroken oplettendheid bij bediening. Zelfs met een schermje erbij gaat het om een ongebruikelijke eenvormigheid van bedieningshandeling versus een grote variëteit in commando's, c.q. bedienings-effecten. Dat lijkt niet evenwichtig en geeft aan dat de in 10.3 aangeduide verscheidenheid van codeerdimensies van controls ook gebruikt zou moeten worden voor het onderscheiden en verlevendigen van een verscheidenheid van commando's. Het gebruiken van zogenaamde 'soft keys' op beeldschermen: gevisualiseerde aanraakpunten als controls, geeft wel de mogelijkheid via kleur, vorm en bijschrift het zojuist genoemde evenwicht te realiseren; er kan dan ook van geluid als codeerdimensie worden gebruik gemaakt, maar helaas niet van de tactiliteit: voelbaarheid van weerstand, bewegingsvormen e.d.

Het gebruik van geluid bij mens-product interactie is ook in opmars. Er werd zoëven al gewezen op het spreken tegen toestellen en machines; het eerste betreft dus 'verbale bedieningscomponenten'. Het nog beperkt zijn van het aantal woorden dat het toestel kan verstaan, de gevoeligheid voor stemverandering (verkoudheid) en omgevingsruis, de afhankelijkheid van een bepaalde taal enz. wijzen op de noodzaak van verdere technische ontwikkelingen. De mens-product interactie met de steeds complexere, multifunctionelere en intelligentere machines/apparaten zal steeds minder vaak verlopen via panelen vol met knoppen, hendels en schakelaars, maar steeds vaker via toetscherm, muis of trackball en via speech-control. Aan het ergonomisch inzicht van product- en systeem ontwerpers in de zwakke en sterke kanten van die intensievere en veelzijdiger mens-product interactie zullen daarbij

alleen maar hogere eisen worden gesteld.

Begrippen

Fysiek ondersteunende producten

- i1 historische volgorde van product-subcategorieën
- i1 eisen aan bewust handelen en motoriek
- i1 controls en sensoren voor input in product

Bedieningscomponent

- i3 definitie
- i1 inputcommando's van mens naar product
- k1 speech control en -display
- i2 bedieningsfasen vooraf, tijdens en achteraf
- k2 typen van bediening (zes kenmerken)
- i1 verzameling van controls
- i2 bedieningsreeks en -bedieningspatroon
- k1 inzet van de ledenketting
- k3 klassieke typen van controls (21)

Ontwerp, keuze, installatie van controls

- k3 maten, beweging en tussenruimte
- k3 kracht, informatiecapaciteit
- k2 code-dimensies van controls
- i1 multifunctionaliteit van een control
- k2 soft keys
- k2 tactiliteit

Vragen en suggesties

- 10.1. Welke verklaringen heeft u voor de historische volgorde van de verschillende subcategorieën van fysiek ondersteunende producten?
- 10.2. Waarom verschillen de mate van bewuste aandacht en de nauwkeurigheid van motorisch bedienen over de zes subcategorieën?
- 10.3. Bedenk voorbeelden van producten met alleen sensoren en geen controls en voorbeelden van producten met beide input-onderdelen.
- 10.4. Bedenk nog meer uitzonderingen op de definitie van controls, die toch duidelijk controls betreffen.
- 10.5. Wat is de natuurkundige aard van een input-commando aan een tekstverwerker?
- 10.6. Bedenk enige huishoudelijke gebruikstoestellen die efficiënter zouden zijn indien ze van speech-controls en/of speech-displays zouden worden voorzien.
- 10.7. Welke ontwerpproblemen voorziet u als uw huisdeur spraakbediend wordt?
- 10.8. In welke typen apparaten is de tijd van reiken naar een control of de tijd van

- bewegen van de ene naar de andere control van groot belang?
- 10.9. Is er verschil in informatiecapaciteit tussen bedieningsonderdelen van een walkman?
 - 10.10. Zijn er op uw fiets alleen maar controls voor 'blijvend' bedienen?
 - 10.11. Zijn de cijfer-arrays van rekenmachine en telefoon gelijk?
 - 10.12. Bedenk voorbeelden van controls die niet door de hand, noch door de voet kunnen worden bediend.
 - 10.13. Verzin praktische hulpmiddelen om zeer kleine toetsen te bedienen.
 - 10.14. Welke factoren kunnen de tussenruimte tussen controls bepalen?
 - 10.15. Bedenk voor elk van de bij figuur 10.3 aangegeven codedimensies nog een extra voorbeeld.
 - 10.16. Gegeven één drukknop, die door herhaald indrukken en ook door de duur van ingedrukt houden, verschillende commando's kan doorgeven. Hoe codeert u dan de cijfers 0 t.e.m. 9?
 - 10.17. Noem nadelen en voordelen van softkeys in vergelijking met klassieke bedieningscomponenten (van figuur 10.1).

1 1

Het leren en begrijpen van complexere bedieningsprocessen

Samenvatting

In de zes voorgaande hoofdstukken over de fysieke ergonomie werden eerst de ruimtelijke eigenschappen van het lichaam behandeld, om daarna de motorische aspecten van de menselijke output bij mens-product interactie te belichten. Bij apparaten met speciale bedieningsonderdelen bleek toen weliswaar dat de bedieningsbewegingen relatief eenvoudige translaties of rotaties waren, maar dat het ergonomisch ontwerp probleem meer lag in de juiste onderscheidbaarheid en begrijpelijkheid van de 'knoppen'. Dit geldt des te meer indien er vele en verschillende knoppen op een bedieningspaneel zitten. Bij de codering van de bedieningsonderdelen konden de aspecten van de waarneming dus niet worden vergeten; dat betekende een vooruitlopen op de sensorische ergonomie (deel III). Als het gaat om het begrijpen van controls, betreft het ook het begrijpen van de werking en van het doel van het apparaat en belanden we dus ook bij de cognitief-ergonomische aspecten (deel IV). Handelen, waarnemen en cognitie werken uiteraard samen. In dit hoofdstuk wordt, met de controls als uitgangspunt, die samenhang bezien.

Hoe maakt men kennis met apparaten en hoe leert men ze hanteren? Welke feedback (terugkoppeling) en feed forward (voorwaartskoppeling) is er mogelijk van bedieningshandelingen? Het blijkt dat er een aantal belangrijke regels is over welk effect men verwacht bij bepaalde bedieningsmotoriek, zoals de compatibiliteitsregels, die zeer belangrijk zijn voor een efficiënt en veilig apparaat. Er blijken echter ook grenzen te zijn aan de leerbaarheid.

11.1 Processen en factoren bij het leren bedienen

Kennismaken met apparaten

De mens in de westerse wereld wordt in het dagelijks leven voortdurend geconfronteerd met allerlei apparaten en mechanieken. In sommige gevallen betreft het apparaten, waarvan men de bediening in het geheel niet en de functie-mogelijkheden slechts ten dele kent. De kennismaking van mens met product zet de toon voor zijn gevoel ten opzichte van het product en is daarom een belangrijk moment. De wijze, waarop een gebruiker kennis maakt met een voor hem nieuw product en zich een beeld tracht te vormen van de bedieningsprocedure, onderstreept de eigenaardigheden van de mens in zijn functioneren. Enkele daarvan zijn:

- De gebruiker overschat zijn capaciteiten of onderschat de complexiteit van het apparaat en denkt het apparaat te kunnen bedienen zonder de gebruiksaanwijzing te raadplegen.

- De gebruiker gaat ervan uit, dat het apparaat zich laat bedienen zoals hij denkt dat goed is. Tijdens het bedieningsproces zal soms het tegendeel blijken. Het feit, dat de denkwijze van de gebruiker niet correspondeert met de werkelijkheid, irriteert de gebruiker.
- De gebruiker is vaak ongeduldig en wil snel resultaat zien. Dat de bedieningshandelingen geen effect sorteren, wijt de gebruiker aan het zijns inziens niet correct functioneren van het apparaat.
- De gebruiker wil zich niet te veel inspanningen getroosten voor de bediening.

Het leren bedienen

Op het contactvlak (interface) tussen de gebruiker en het apparaat zijn allerlei bedieningsmiddelen (controls) en informatiepunten (displays) aanwezig. Een gebruiker zal, vanuit zijn ervaring in het gebruik van de voor hem bekende apparaten, verschillende elementen op het interface herkennen en zich een beeld vormen van de wijze waarop ze gebruikt en bediend moeten worden. Hier kan ook de beeldspraak van de 'drie woordenboeken' uit 4.4 weer worden gehanteerd. De grootte van het repertoire aan herkenningmogelijkheden varieert sterk van gebruiker tot gebruiker (ook binnen één doelgroep). Vandaar ook dat de lengte van de leertijd voor het effectief bedienen van een apparaat sterke verschillen kent. Een persoon, die veelvuldig een grote variëteit aan bedieningsmiddelen op verschillende apparaten hanteert, zal een onbekend bedieningsproces wellicht snel doorhebben en voor een doelmatige bediening weinig leertijd nodig hebben. De ontwerper moet voor het ontwerp echter uitgaan van de minder begaafden en minder ervarenen in de doelgroep en moet de productkarakteristieken op de kwaliteiten en eigenaardigheden van deze mensen afstemmen, temeer omdat de flexibiliteit in de gedragsprogramma's van deze mensen vaak minder groot is dan van de eerstgenoemde groep. In het kader van de snelle informatisering en automatisering is het zaak, dat de ontwerper tracht geen grote groepen gebruikers uit te sluiten van bediening. Zijn persoonlijke visie inzake de herkenbaarheid en leerbaarheid van het bedieningsproces is zelden een zuivere graadmeter. Het gebruiksonderzoek (zie 18.5 'Gebruiksonderzoek') geeft hiervoor wel een duidelijke indicatie.

Gebruiksaanwijzingen

Om aan te geven op welke wijze iets uitpakkt, opgebouwd, opgehangen of bediend en gebruikt behoort te worden, hanteert men dikwijls een gebruiksaanwijzing of een handleiding. Alom blijkt dat deze gebruiksaanwijzingen zelden of nooit gebruikt worden. De gebruiker acht dit niet noodzakelijk; vindt dat het doorlezen van de aanwijzingen hem teveel inspanning kost, of denkt misschien in het geheel niet na. Edoch treft de gebruiker niet alleen de blaam. Verschillende gebruiksaanwijzingen zijn niet correct ontworpen en zijn als zodanig ook niet functioneel en niet efficiënt. Het duidelijk en inzichtelijk presenteren van informatie is geen eenvoudige zaak. Algemeen kan men stellen dat teksten van enige omvang in gebruiksaanwijzingen vermeden moeten worden. Met woorden zijn de bewegingen, standen en krachten

van ledematen moeilijk vast te leggen. Zelfs voor simpele bedieningshandelingen blijken pictogrammen en afbeeldingen vaak meer verhelderend te werken dan teksten. Bij het gebruik van pictogrammen is het wel toegestaan deze te voorzien van kernachtige kreten of trefwoorden. Evenals dit voor een reclameposter geldt, moet een plaatje in een gebruiksaanwijzing de gebruiker direct tonen waar het om gaat en wat belangrijk is. Ook op het gebied van de pictogrammen blijken echter vele wegen naar Rome te leiden. Op het gebied van de standaardisatie is in dit verband nog veel te doen. In de ontwerperswereld wint het standpunt aanhang dat een productontwerper tegelijkertijd de gebruiksaanwijzing moet ontwerpen en dat zelfs bij aspecten van het ontwerp, waar geen eenvoudige uitleg mogelijk blijkt, het ontwerp moet worden herzien.

Standaardiseren van bedieningsmiddelen

De bedieningsmiddelen kunnen, zoals eerder behandeld, beschouwd worden als standaard onderdelen van het contactvlak (interface) tussen bediener en apparaat/-machine. Ze hebben een visuele verschijningsvorm, die de gebruiker herkent en die de voor de bediening reeds vastgelegde motorische programma's in het geheugen aanspreekt. Deze motorische programma's zijn verkregen door het werken met soortgelijke bedieningsmiddelen op andere apparaten. De 'onbewuste grammatica', die voor de bedieningsmiddelen aangegeven kan worden, moet de ontwerper kennen en kunnen gebruiken bij het ontwerpen van bedieningssystemen. De vormtaal, die blijkt op het interface, moet bij de gebruiker de juiste gedragspatronen oproepen voor bediening. Ter adstructie: een draaiknop heeft een cilindrische vorm. Indien nu alle draaiknoppen en alleen maar draaiknoppen uitsluitend in cilindervorm zouden worden uitgevoerd (wat niet waar is), zal de gebruiker leren dat die vorm onlosmakelijk verbonden is met draaiend bedienen. Bij het zien van een ronde knop (cilindrisch) weet de gebruiker, dat voor de bediening de knop om de cilinderas geroteerd dient te worden en zal direct het juiste motorische programma in het geheugen aangesproken worden. Een drukknop zal zich in dit verband moeten onderscheiden en het is raadzaam deze bijvoorbeeld een vierkante vorm te geven. Indien de drukknop eenzelfde visuele verschijningsvorm heeft als de draaiknop, zal de inzichtelijkheid en de begrijpelijkheid van de bedieningsprocedure beduidend minder zijn.

Enkele belangrijke te standaardiseren karakteristieken van het bedieningsmiddel zijn:

- (standaard) vormgeving;
- bewegingstype;
- inzet van de ledenketting bij de bediening;
- terugkoppeling van de bediening: kracht- of momentverloop;
- terugkoppeling van de standindicatie (controle).

Verschillende van deze karakteristieken staan in de tabel in figuur 11.1. Hierbij staan niet zozeer de ontwerprijlijnen vermeld, zoals in een eerder overzicht (10.2), maar de algemene functionele kenmerken. Het aantal standen geeft in zekere

zin de informatie-capaciteit aan: hoeveel verschillende commando's er kunnen worden gegeven. De ruimte is hier het oppervlak voor het component en de vrije ruimte eromheen. De controle van de stand kan zowel vooraf als tijdens bedienen worden uitgeoefend en kan via verschillende zintuigen verlopen.

bedieningsmiddel	standen aantal	beweging type	ruimte	stand controle
tiptoets	2	d	o	+
drukknop	2	d	o	-
wip/tuimelschakelaar	2 - 3	z	o	+/-
duimwiel	∞	r	oo	-
schuif	∞	s	ooo	+
fijnsteldraaiknop	∞	r	o	-
meerstandenschakelaar	3 - 24	r	ooo	+/-
draaischijf	∞	r	ooo	-
zwengel	∞	r	oooo	-
joystick	∞	t	oooo	+
hendel	2 - ∞	t	ooooo	+
handwiel	∞	r	oooo	-
stuurwiel	∞	r	ooooo	-

d = drukken z = zwenken o = weinig ruimte
 t = trekken/duwen s = schuiven ooooo = veel ruimte
 r = roteren

Figuur 11.1 Functionele kenmerken van controls.

Terugkoppeling, controle van effect en voorwaartskoppeling

Indien een bedieningsmiddel bediend wordt, is het voor de gebruiker belangrijk te weten, of de desbetreffende commando-overdracht echt plaatsgevonden heeft en de bedieningshandeling afgerond mag worden (loslaten en lichaamsdelen van het bedieningsmiddel af bewegen). De bedieningscomponent dient hiervoor een terugkoppeling te geven (visueel, tactiel of auditief). Meestal is zowel een tactiele als een auditieve terugkoppeling aanwezig. Op het moment, dat een draaiknop in een nieuwe keuzestand gedraaid wordt, is een 'klik' vaak voelbaar en hoorbaar. In sommige gevallen wordt tevens voor een visuele terugkoppeling gekozen: bijvoorbeeld een grote aanwijspunt op een draaiknop, of een lampindicatie boven een aan-uit schakelaar. Voor de bediening zelf is deze visuele terugkoppeling meestal niet essentieel. Het is wel een effectieve terugkoppeling voor het aflezen of controleren van de standindicatie direct of enige tijd na de bediening. Een tiptoets is alleen visueel. Aan de stand van een drukknoop kan men vaak niet aflezen of deze nu in een 'aan'- of 'uit'-positie staat. Met behulp van een lampindicatie kan men deze terugkoppeling wel verkrijgen. Het verzorgen van een correcte terugkoppeling is ook belangrijk voor het leerproces van bedienen. In figuur 11.1 wordt in de kolom 'controle' aangegeven, in hoeverre het desbetreffende bedieningsmiddel (zonder extra hulpmiddelen) een terugkoppeling geeft over de ingestelde stand. (Let hierbij wel op het onderscheid tussen control en controle. Het woord 'control' komt uit het

Engels en betekent niet controleren maar beheersen en controle heet 'check'). Het spiegelbegrip van terugkoppeling (feedback) is de voorwaartskoppeling (feed forward). Daarbij gaat het niet om het melden van het zojuist veroorzaakte effect, maar om een aanduiding van de volgende uit te voeren bedieningsstap. Bij bedieningsreeksen, zoals ook in 10.6 aangestipt, wordt het geheugen van de bediener ontlast als het apparaat vertelt wat verder te doen of waaruit te kiezen.

Proberen en imiteren

Stel dat een onbekend apparaat bediend moet worden. Een interessante vraag is dan hoe de gebruiker het product leert bedienen.

Allereerst wordt het product (aandachtig) bekeken (vorm, elementen, opbouw, kleuren, materiaal). De gebruiker kan zich vanuit zijn ervaringen met andere, misschien soortgelijke, producten een beeld vormen van het gebruik of het bedienen van het product. Vaak ontstaat tijdens deze visuele aftasting reeds een verwachtingspatroon. Vervolgens wordt het product of een productonderdeel aangeraakt, vastgepakt en constateert de gebruiker hoe het aanvoelt, wat kan bewegen en welke krachten of momenten daarvoor nodig zijn. Tijdens dit tactiele contact vindt een visuele controle plaats door het geheel van de eigen handelingen gade te slaan. De bewegingen van de desbetreffende lichaamssegmenten worden gestuurd, waarbij de voelbare karakteristieken van het product in zijn vorm en in de bediening worden geregistreerd. (Men herinnere zich bijvoorbeeld het leren fietsen of lassen.) Het motorisch patroon in tijd, kracht en beweging, plus de zich daarbij voordoende tactiele terugkoppelingen worden opgeslagen in het geheugen in de vorm van programma's. Na enige tijd van oefenen krijgen deze programma's vastere vormen in het geheugen en kunnen ze onbewust aangesproken worden. Vaak blijkt een visuele terugkoppeling dan niet meer nodig. Slechts nu en dan vindt een visuele bijsturing plaats. Het leerproces geschiedt dus eerst visueel en daarna tactiel. Bij de confrontatie met complexe apparaten zal de gebruiker door het aandachtig bekijken van het product vaak niet veel wijzer worden. In deze gevallen leert hij van het voordoen door anderen. Slechts in enkele gevallen zal de imitatie gebaseerd worden op de bedieningshandelingen in de gebruiksaanwijzing, maar meestal gaat het om het nadoen van de wijze, waarop bijvoorbeeld de installateur of de buurvrouw het voordoet, of de wijze waarop de man in de reclame op de televisie het laat zien. De mens leert vooral door imitatie. Veel van onze technocultuur draait dus op na-aperij!

11.2 Het kennen van beweging-effect relaties

Compatibiliteit als verwachtingsregel

Bij het gebruik en de bediening van producten en gebruiksvoorwerpen heeft de gebruiker verwachtingspatronen voor verschillende input-output relaties van het mens-machine systeem. Indien een auto-bestuurder tijdens het rijden het autostuur naar rechts draait, verwacht hij, dat de auto (min of meer) gelijktijdig in een bocht

naar rechts gaat en precies zo scherp of flauw als hij verwachtte: er is een verwachting over directheid (geen dode tijd), over richting en over omvang van het effect. Als een kantinebezoeker bij het gebruik maken van een koffie-automaat op het knopje drukt met het bijschrift 'koffie met suiker', verwacht hij, dat hij koffie met suiker krijgt en niet chocolademelk. In een ontwerpproces is het voor de ontwerper belangrijk te weten, welke verwachtingspatronen bij de desbetreffende doelgroep aanwezig zijn. In het ontwerp dienen allerlei aspecten, zoals bedieningskarakteristieken, lay-out en plaatsing van interface-componenten, maar ook de bediening-effect relaties, aangepast te zijn aan deze verwachtingspatronen. Men hanteert hiervoor het woord 'compatibiliteit'. Een algemene omschrijving van het woord luidt: verenigbaarheid, het met elkaar in overeenstemming zijn. In de ergonomie wordt het begrip gebezigd met de globale betekenis: de mate waarin er een door 'de mens' als 'natuurlijk' ervaren relatie bestaat tussen twee of meer zaken (meestal handeling en effect). Met de mens wordt hier bedoeld de gebruiker en het woord 'natuurlijk' slaat hier op het in overeenstemming zijn met de verwachtingen. Dit geeft al aan, dat compatibiliteit geen absoluut iets is, maar afhangt van het specifieke verwachtingspatroon (de kenmerkende associaties) van de desbetreffende persoon of populatie. Voor de ergonomische compatibiliteit staan drie aandachtspunten centraal:

- Principe van de verlengstuktheorie;
- Geometrische overeenstemmingsprincipes;
- Aangeleerde karakteristieken.

Principe van de verlengstuktheorie

In de verlengstuktheorie wordt aangegeven, dat producten en gebruiksvoorwerpen ontworpen zijn om als verleng-, voorzet- en opzetstukken te dienen van de functies van het menselijk lichaam. Het verlengstuk moet in het raakvlak voorwerp-gebruiker aangepast zijn aan de motoriek en sensoriek van het menselijk lichaam. Het voorwerp moet het mogelijk maken de mens doeltreffend dingen te laten doen, die alleen met de natuurlijke lichaamsfuncties niet, of slechts in beperkte mate, uitvoerbaar (zouden) zijn. Het verlengstuk moet echter ook letterlijk als verlengstuk functioneren: een pincet kan beschouwd worden als verlengstuk van de grijpfunctie van duim en wijsvinger. De bedieningsbeweging van dit verlengstuk moet dus overeenkomen met de beweging van duim en wijsvinger. Een kraanmachinist beleeft de grote grijper bijna als zijn eigen handen.

Geometrische overeenstemmingsprincipes

Een bedieningsmiddel en zijn effect kunnen compatibel zijn in verschillende opzichten:

- richting: als een hendel naar rechts bewogen wordt, verwacht de gebruiker, dat de wijzer op de bijbehorende display of een voertuig of een zwenkarm ook naar rechts gaat. Een zeilboot gaat daarentegen naar links als het roer naar rechts wordt bewogen en dat is verwarrend voor beginnende zeilers.

- vorm: er kan een geometrische overeenkomst bestaan tussen de vorm van het bedieningsmiddel en de vorm van het op de bediening reagerende systeem-onderdeel (vormcongruentie). In een vliegtuig bijvoorbeeld hanteert men soms voor de bediening van het landingsgestel een hendel, welke voorzien is van een wielvorm;
- omvang of grootte: bij een kleine beweging aan de volumeknop verwacht men een weinig versterking van het geluid, bij een grote beweging zal de versterking groot worden; de 'control-effect ratio' zal voor grove bediening klein zijn en dus voor fijninstelling groot.
- snelheid: een snelle beweging aan bijvoorbeeld een stuur geeft de verwachting van een snelle, korte, scherpe bocht;
- dode tijd of vertraging: de gebruiker verwacht meestal direct effect. Is het echter bekend dat er bij een bepaalde handeling een zekere dode tijd is, dan kan hij verrast worden als die vertraging groter of kleiner is dan normaal.

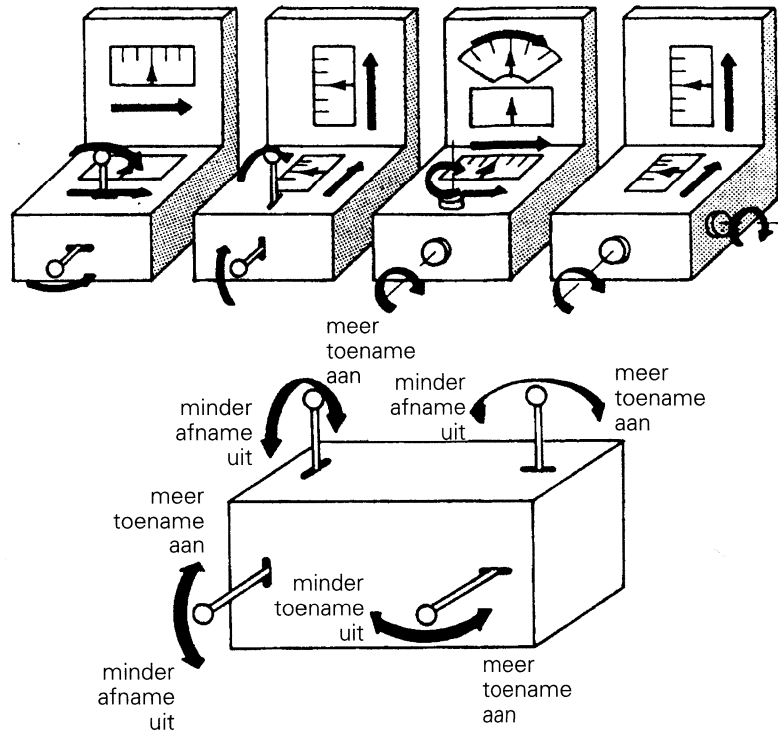
Ook tussen lichaamsbewegingen en bewegingen van onderdelen op apparaten kan een zekere geometrische verwantschap bestaan. Het gaat dan om compatibiliteit van richting en grootte.

Aangeleerde karakteristieken

Er zijn verschillende gedragingen, normen en regels in een samenleving, die te maken hebben met afspraken en/of die aan de heersende cultuur gekoppeld zijn. Na het klokwaarts draaien van een autostuur verwacht men naar rechts en niet naar links te gaan, en wel direct en niet pas na enige seconden; hierbij kan men ook een gevoelsmatige norm over hoeveel hoekverdraaiing van het autostuur moet corresponderen met welke scherpste van een bocht. Indien deze aspecten consequent nageleefd worden, zal men ze als natuurlijk ervaren, soms tegen beter weten in. In dit verband heeft men, in onder meer de westerse wereld, zich aangeleerd van links naar rechts te lezen en van boven naar beneden. Indien verschillende bedieningscomponenten op een apparaat in een vaste volgorde bediend moeten worden, is het raadzaam met dit aangeleerd leesgedrag rekening te houden: begin linksboven.

Tevens heeft men aangeleerd, dat rood als kleur intrinsiek de waarde heeft van warmte of gevaar. Deze classificering berust echter op een reeds jarenlang geldende afspraak, welke buiten Europa soms anders kan zijn. Bij het gebruik van kleur als codeermiddel dient men hier rekening mee te houden.

Door de tijd heen zijn veel onderzoeken gedaan naar de relaties, die de mens als natuurlijk ervaart. Uitgaande van de resultaten uit deze onderzoeken zijn regels opgesteld, die aangeven, welke relaties in hun algemeenheid als compatibel ervaren worden. De tabel van figuur 11.2 laat zien welke relaties in dit kader zoal aangegeven kunnen worden tussen de bedienende beweging en het meestal verwachte en dus compatibele effect. Deze relaties hebben een zeer grote mate van geldigheid, maar toch gelden deze relaties niet altijd voor iedereen. De compatibiliteit betreft namelijk een statistisch bepaalde kans.



bedienende beweging	compatibel effect
A. LINEAIR (translatie)	
1. op - neer	op - neer; aan - uit; meer - minder; plus - min; klokwaarts - tegenklokwaarts;
indifferent:	naderbij - verderaf; rechts - links
2. naar rechts - links (verticaal of horizontaal vlak)	rechts - links; aan - uit; meer - minder; plus - min; klokwaarts - tegenklokwaarts;
indifferent:	verderaf - naderbij; op - neer
3. verderaf - naderbij (horizontaal vlak)	aan - uit; meer - minder; plus - min; vooruit - achteruit
B. CURVELINEAIR (rotatie)	
klokwaarts	klokwaarts; meer; naar rechts; aan; neerwaarts; verder

Figuur 11.2 Compatibele relaties van richting.

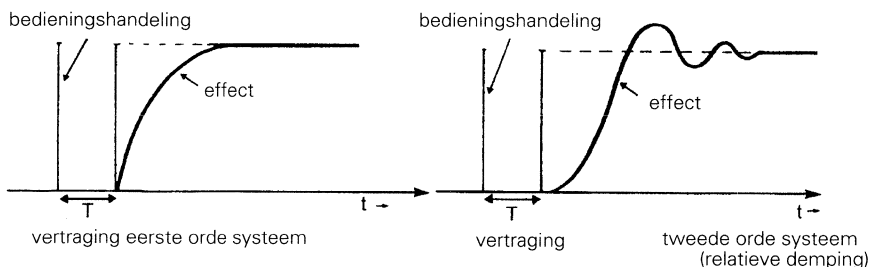
In sommige praktijksituaties blijkt het mogelijk incompatibele bedieningspatronen aan te leren. Met andere woorden in de productbediening treft men bediening-effect relaties aan, die niet overeenstemmen met de verwachting, maar desondanks toch een redelijk niveau van interactie (na een leerproces) mogelijk maken. Dergelijke situaties zal men toch moeten vermijden, omdat bij reflexmatige handelingen, bij het moeten nemen van snelle beslissingen, of in het geval van een fysieke en/of mentale overbelasting, toch de als natuurlijk ervaren bedieningspatronen uitgevoerd

worden. De gevolgen kunnen desastreus zijn, zoals in de luchtvaart vaak is gebleken. Het aanleren van incompatibele bedieningspatronen kost bovendien ook veel tijd, en tijdens de bediening zelf zal de gebruiker zich voortdurend bewust moeten zijn van deze incompatibele relatie (totdat deze uiteraard is 'ingesleten').

Tenslotte nog iets over het taalkundig hanteren van het woord compatibiliteit. Zoals reeds aangegeven is, kan het woord compatibiliteit omschreven worden als het met elkaar in overeenstemming zijn of de verenigbaarheid. Met de uitdrukking 'de compatibiliteit van de interface' is niet zonder meer duidelijk wat bedoeld wordt. Men zal hierbij moeten aangeven op welke aspecten de compatibiliteit betrekking heeft. In bijvoorbeeld de elektrotechnische wetenschappen hanteert men hetzelfde woord voor de aanpassing van elektrische karakteristieken van twee of meer systemen. De compatibiliteit van het interface krijgt hierdoor een geheel andere betekenis. In een multi-disciplinair samenwerkingsverband kan dit tot enige verwarring leiden.

Transmissievertraging en bijzonder effect-verloop

Tussen de bedienende beweging en het effect kan een zekere wachttijd (of 'dode tijd') zitten. Voor een eenmalige korte bedieningshandeling is dit niet zo problematisch en kan het rekening houden met deze wachttijd tot op zeker hoogte nog wel worden aangeleerd. Voor stuurtaken ligt het anders. Na een vertraging van 3 seconden begint een eenvoudige stuurtaak al uiterst moeilijk te worden. Met een 'eerste orde systeem' is dit reeds moeilijk en met 'hogere orde systemen' is de sturing nog moeilijker ofschoon niet onmogelijk (karakteristieke vorm te zien in figuur 11.3).



Figuur 11.3 Eerste- en tweede-orde systemen (voorbeeld).

Een langdurig leerproces is nodig om tijdens de vertragingstijd (T in figuur 11.3) op de effect-curve te kunnen anticiperen. Bij supertankers kan voor de sturing van het schip een dode tijd tussen de bedienende beweging en het effect soms 3 minuten bedragen. Dit kan min of meer als maximum grens aangegeven worden, daarboven is een menselijke sturing zo goed als onmogelijk. In figuur 11.3 is tevens een tweede-orde systeem gegeven, waarbij het duidelijk mag zijn, dat de mens dit niet meer gemakkelijk kan begrijpen en beheersen. Om deze systemen alsnog bedienbaar te maken, hanteert men wel 'predictor' systemen. Het apparaat berekent welke route gevolgd gaat worden bij het ongewijzigd laten van de stand van het

bedieningsmiddel (extrapolatie) en geeft deze route (predictive path) aan op bijvoorbeeld een beeldscherm. Hierdoor kan men bij de stuurtaken reeds vroegtijdig ingrijpen en correcties uitvoeren.

Over het leren van mens-product interactie in het algemeen zal verderop bij de cognitieve ergonomie worden doorgegaan.

Begrippen

Leren bedienen:

- i1 herkenning van 'interface'
- i2 gedragsprogramma's
- k2 gebruiksaanwijzing
- k1 pictogram
- k2 standaardisatie van controls
- k1 terugkoppeling en controle van effect
- k1 feedback, feed forward
- k1 leren door imiteren

Compatibiliteit:

- k1 verwachtingen over effect: directheid, richting en omvang
- i2 compatibiliteit door verlengstuk, geometrie en aanleren
- i2 risico van incompatibiliteit
- i1 control-effect ratio
- k3 richtingsverwachtingen bij lineaire en curvilineaire bewegingen
- k2 transmissievertraging
- k3 effecten in eerste-orde systemen en tweede-orde systemen
- k2 predictor-systeem
- k2 onleerbaarheid van bepaalde stuurtaken

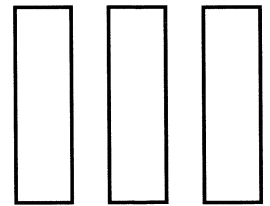
Vragen en suggesties

- 11.1. Op welke wijze maakt een gemiddelde gebruiker vaak kennis met een modern apparaat?
- 11.2. Noem enkele eisen waaraan een goede gebruiksaanwijzing moet voldoen.
- 11.3. Maak een volledig tekstuele gebruiksaanwijzing voor het openen van een waterkraan.
- 11.4. Als op een apparaat ronde draaiknoppen aanwezig zijn, is het raadzaam de drukknoppen op dit apparaat bijvoorbeeld een vierkante vorm te geven. Waarom is dit raadzaam?
- 11.5. Het is belangrijk, dat een bedieningsmiddel tijdens de bediening en voor het aangeven van de bedieningsstand een correcte terugkoppeling (feed-back) geeft. Leg uit hoe en waarom.
- 11.6. Welke vormen van ergonomische compatibiliteit zijn er? Geef enkele voorbeelden.
- 11.7. Welke bedienings- of stuurproblemen kunnen optreden als tussen een bedie-

nende beweging en het optredend effect enige wachttijd aanwezig is? Op welke wijze kan men iets aan deze problemen doen?

- 11.8. Een signaal vanaf hier naar een robot op de maan en terug heeft ongeveer 1,5 seconde nodig. Veroorzaakt dit ernstige stuurproblemen?
- 11.9. Kunt u verschillen in 'leer-stijlen' bedenken tussen pubers en bejaarden betreffende een complex, onbekend apparaat?
- 11.10. Hoe zou het principe van 'feed forward display' kunnen worden toegepast op een spoorkaartjesautomaat?
- 11.11. Bedenk een apparaat uit uw omgeving waarbij u veel moeite heeft gehad met het leren bedienen. Waardoor kwam dat en hoe is dit op te lossen?
- 11.12. Verzamel vijf pictogrammen uit uw omgeving en laat ze buiten hun context aan een ander zien. Begrijpt deze ze?
- 11.13. Bedenk welke verschillende manieren er zijn om bij het gebruik van een auto een effect terug te koppelen.
- 11.14. Ga van een aantal apparaten uit uw omgeving na hoe u heeft geleerd ze te bedienen. Waren er gevallen bij waarbij u het geleerd heeft doordat iemand het voor deed?
- 11.15. Is er een knop waarbij u altijd de verkeerde kant uit draait voor het gewenste effect? Is dat alleen bij u of ook bij anderen in uw omgeving?

Deel



Sensorische
ergonomie

12

Zintuigen als vensters naar de buitenwereld

Samenvatting

Van de fysieke ergonomie stappen we nu over naar de sensorische ergonomie en we maken dus de stap van de output- naar de input-organen van de mens. Bij het behandelen van de menselijke output bij mens-product interactie, die dan dus input in het product, toestel of machine werd, bleek al dat aspecten van de zintuiglijke waarneming, en van het denken en sturen door het brein, niet konden worden vergeten. Uiteraard zijn die drie delen van de functie-keten zeer verweven. Nu wordt er echter verder ingegaan op de mogelijkheden van de menselijke waarneming. Kennis van de zintuigleer is gewenst, omdat er continu uit de omgeving (en daarvan ook de technisch gemaakte omgeving met onder meer gebruiksgoederen), allerlei informatie op gebruikers afkomt. De buitenwereld dringt zich op in beelden, geluiden en tastbare signalen en die dienen te worden opgevangen, geselecteerd en geïnterpreteerd (er wordt betekenis aan toegekend), om verder te leven in en met die omgeving. Daarom wordt er uitgelegd wat zintuiglijke prikkels zijn en hoe de opvangorganen werken. Zintuigen zijn als het ware vensters naar de buitenwereld en de kenmerken van die vensters zijn weer te geven in verschillende dimensies. Dat leidt ook tot overzichten van de twee groepen van sensorisch ondersteunende producten: 1) directe ondersteuners van de zintuigen, en 2) de signaalgevers (displays). De zintuigen blijken in zeven groepen te kunnen worden geordend, waaronder ook vensters naar de binnenwereld zijn opgenomen: de zintuigen die signaleren wat er in het lichaam gebeurt. Het brein staat in sterke interactie met de input-organen. Voor het ontwerpen van gebruiksgoederen zijn vooral horen, zien en voelen cruciaal en die 'vensters' worden nader gespecificeerd en vergeleken. Op horen en zien wordt nog verder ingegaan in volgende hoofdstukken.

12.1 De instroom van informatie

Prikkels en verwijzende codes

De mens leeft in een omgeving, waarin allerlei fysieke veranderingen plaatsvinden in de vorm van materie-energie wisselingen. Veel van die wisselingen kunnen direct geregistreerd worden en zij vormen dan 'prikkels' (stimuli). Die prikkels zijn voor de mens vooral van belang, doordat verschillende ervan een verwijzend karakter (betekenis) hebben. De mens kan ze dan gebruiken om iets te voorspellen, iets te constateren of iets af te leiden, dat door de fysieke wisseling zelf niet direct aangegeven wordt. Bijvoorbeeld: een geur is te beschouwen als een wisseling van de chemische samenstelling van de lucht. Deze wisseling zal de waarnemer registreren, maar hij kan tevens afleiden, dat de geur afkomstig is van een schroeiend

machine-onderdeel of van een bloem in de wei. Als iemand iets zegt, produceert hij luchtdrukwisselingen. De wisselingen als zodanig zeggen niet veel. Het gaat erom deze wisselingen zo te interpreteren, dat het aanwezige patroon in deze wisselingen verwijst naar een specifieke betekenis: welke woorden, betekenis en bedoeling. Met andere woorden: informatie is altijd gebaseerd op materie en energie, maar de code verwijst naar iets anders.

Informatie-input als levensnoodzaak

Het zal duidelijk zijn, dat de mens niet lang kan leven zonder materie (voedsel, water) en energie (zuurstof). Ook informatie blijkt echter noodzakelijk te zijn. Voor de informatiebronnen vanuit het lichaam en wellicht in iets mindere mate voor de geheugens kan men zich dit wel voorstellen. Ook informatie vanuit de omgeving is echter nodig om te kunnen overleven. Als een individu wordt afgesloten van informatiesignalen vanuit de omgeving, kan hij eerst de informatiebronnen van eigen lijf en geheugens nog aanspreken. Maar uit onderzoeken is gebleken, dat er bij zulk een toestand van zintuiglijke afsluiting (sensory deprivation) al spoedig desoriëntatie optreedt en dat een mens gemiddeld al na enkele uren geestelijk beschadigd kan worden. Hallucinaties, waarbij uit het eigen geheugen opgeroepen beelden als werkelijke, externe waarnemingen worden ervaren, vormen aanvankelijk nog een zekere afleiding, maar na enige tijd vindt een totale verwarring plaats. Informatie kan dan ook gezien worden als een brandstof voor overleven, zij het met een andere en snellere doorlooptijd dan zuurstof en voedsel.

Prikkel-verandering

Een uitspraak, die hierbij de aandacht verdient, luidt “zonder verandering in de buitenwereld kan niet worden waargenomen”. Voor het waarnemen van het gesprokene (gecodeerde luchtdrukwisselingen) zal de interpretatie van deze uitspraak niet op problemen stuiten. Immers, de luchtdrukwisselingen zijn te beschouwen als een verandering in de buitenwereld en bij hun afwezigheid wordt het gesprokene niet waargenomen. De uitspraak heeft echter tevens te maken met de wijze van functioneren en registreren van de zintuigen. De zintuigen hebben een bepaalde gevoeligheid voor materie-energie wisselingen in de omgeving. Een prikkel, welke wordt aangeboden, detecteert men hoofdzakelijk omdat het een wisseling betreft. Veel dieren kunnen alleen maar bewegende zaken zien en dat geldt ook voor de buitenste delen van het menselijk gezichtsveld. Indien een prikkel aanhoudend in dezelfde vorm en met dezelfde intensiteit aanwezig is, wordt deze na verloop van tijd niet meer waargenomen: de wisseling is niet meer aanwezig en er treedt gewenning op in het zintuig. Men denke hierbij aan een tikkende klok of koelkastgeluid. Bij nagenoeg alle zintuigen kan een dergelijke gewenning optreden. Uit proeven is bijvoorbeeld gebleken, dat het oog een beeld op het netvlies niet blijvend kan fixeren en registreren zonder dat er oogbewegingen plaatsvinden. In het dagelijks leven denkt een waarnemer een statisch beeld wel als stilstaand te zien, doch het aantal oogbewegingen tijdens deze ogenschijn-

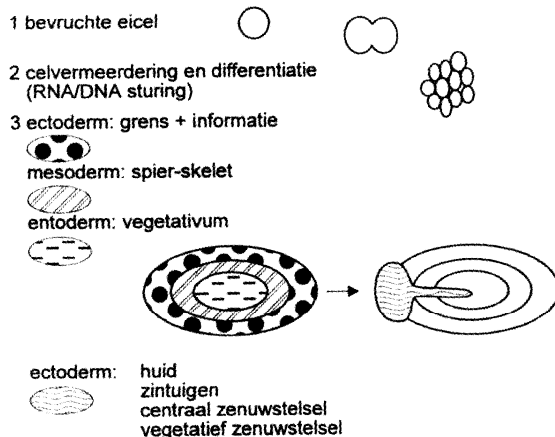
lijke fixatie is talrijk. In bepaalde proefopstellingen is men er in geslaagd het beeld bewegingsvrij op het oog te houden. Al snel blijkt dit oogbeeld stukje bij beetje weg te vallen om tenslotte niets over te houden. Het zintuig heeft dus de wisseling nodig voor het waarnemen.

De behoefte aan afwisseling van prikkels

De mens zoekt in zijn omgeving vaak zaken, die hem informatie geven en hem interesseren. De ogen, oren en handen zijn bijvoorbeeld voortdurend bezig met het ontdekken in de omgeving van signalen, die hem een zeker nut verschaffen en een bijdrage kunnen leveren tot zijn welbevinden. Dit proces voltrekt zich veelal onbewust. Indien er te weinig informatie-prikkels in de omgeving aanwezig zijn, gaat de persoon in kwestie zich vervelen, en dit heeft een nadelige invloed op zijn welbevinden en zijn humeur. Vandaar dat in de meestal saaie (prikkelarme) wachtkamers van bijvoorbeeld (tand)artsen allerlei leesbladen aanwezig zijn om niet alleen de zorgen over de gezondheid af te leiden, maar ook om de prikkelarmoede enigszins te compenseren. Ook in verschillende werktaken kan men met een prikkelarmoede te maken hebben. Men hanteert dan vaak het woord monotonie (eentonigheid). Het lopende-band werk is daarvan een duidelijk voorbeeld. Het zeer langdurig herhalen van een beperkt aantal eenvoudige handelingen (repetitief werk) kan dan ook als afstompend betiteld worden.

12.2 Zintuigen als huidspecialisatie

In het verlengde van de verschillende reeds besproken biologische modellen, zal nu in het kort stapsgewijs ingegaan worden op de wijze, waarop onder meer de zintuigen gevormd worden (embryologie). De bij de tekst horende illustraties zijn te vinden in figuur 12.1.



Figuur 12.1 Embryologie.

De bevruchte eicel vormt het uitgangspunt. Een celvermeerdering is het gevolg en een celdifferentiatie vindt plaats. De erfelijke code verzorgt in deze differentiatie de

sturing, de vormontwikkeling en functietoewijzing (RNA/DNA-sturing).

In een verder stadium kunnen ten gevolge van deze RNA/DNA-sturing drie lagen onderscheiden worden:

- de buitenlaag: het ectoderm (ecto = buiten);
- de middenlaag: het mesoderm (meso = midden);
- de binnenlaag: het entoderm (ento = binnen).

Voor dit verhaal verdient het ectoderm de meeste aandacht. Deze buitenlaag verzorgt het directe contact met de buitenwereld en moet onder meer diverse functies vervullen die we als subsystemen hebben onderscheiden in 3.2 'Theorie van levende systemen':

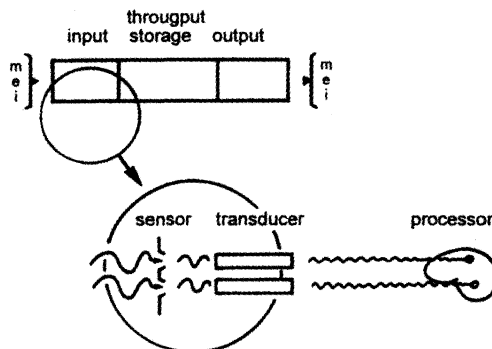
- de inwendige lichaamsmassa omsluiten en bijeenhouden;
- bescherming geven aan de inwendige lichaamsmassa (tegen bijvoorbeeld temperatuur en schokken);
- zorg dragen voor de selectieve opname van materie, energie en informatie.

Dit ectoderm geeft diensgevolge de aanleiding tot het vormen van een huidlaag, het zenuwstelsel en de zintuigen. Vandaar de opvatting dat de zintuigen (signaal-opvangers) specialisaties zijn van de huid (buitenlaag van het lichaam). Tijdens de verdergaande celdifferentiatie treedt in het ectoderm een instulping op tot in het entoderm. Hieruit ontwikkelen zich het ruggemerg en de hersenmassa. De ontwikkeling van het mesoderm resulteert in het spier-skelet stelsel en de entodermale ontwikkeling vormt de vegetatieve, ondersteunende systemen (hart, longen, darmen, enzovoort).

12.3 Zintuigen als vensters naar de buiten- en binnenwereld

Opvang en transductie

Zintuigen kunnen volgens de zintuigleer beschouwd worden als vensters naar de wereld. Om dit te verduidelijken, beschouwe men nogmaals het Input-Throughput & Storage-Output model. In figuur 12.2 is dit model gegeven. Tevens toont deze figuur een uitvergroting van het omcirkelde deel in het model.



Figuur 12.2 Input-Throughput & Storage-Output van massa, energie en informatie (m-e-i) en het schema van i-opvang door een zintuig en verwerking door het brein.

In dit verband wordt de verwerking van informatie-stromen bekeken. Het gaat hierbij om de signalen in de vorm van fysische wisselingen. Er blijken in de huid dus verschillende ‘openingen’ (huidspecialisaties) aanwezig te zijn, welke de prikkels opvangen in hun specieke fysische hoedanigheid (luchtdrukwisselingen, temperatuurwisselingen, etcetera). Vervolgens vinden één of verschillende transducties plaats. Met transductie wordt omzetting bedoeld. Het uiteindelijke doel van deze transducties is de omzetting naar zenuwpulsen. De signalen uit de buitenwereld moeten zodanig omgevormd en gecodeerd worden, dat ze, in de vorm van pulstreinen, via talrijke zenuwbanen naar het ruggemerg en meestal verder naar de hersenen getransporteerd kunnen worden, waarna een verwerking en decodering plaatsvindt. In dit schema (figuur 12.2) zorgt veelal het brein als ‘processor’ voor deze verwerking en decodering. Vaak wordt hieropvolgend een commando gegeven voor motorische activiteiten. Het transport van de nerveuze (betekent hier niet ‘opgewonden’, maar ‘betrekking hebbend op zenuwen’) pulstreinen van de zintuigen naar het ruggemerg en/of de hersenen is geen passief proces. Onderweg kunnen allerlei processen elkaar beïnvloeden, zijn er tussenstations voor filtering, coördinatie e.d., doch een bespreking van dergelijke neurologische zaken valt buiten de stof van dit hoofdstuk.

In en bij de huid van de mens zijn zeer veel sensorische huidspecialisaties oftewel zintuigen aanwezig. Er zijn vele kanalen voor de perceptie (waarneming). Ze zijn meestal onder te verdelen in groepen, die alleen prikkels van een bepaalde soort (fysische geaardheid) kunnen opvangen en transduceren. Hun gevoeligheid geldt alleen voor bepaalde veranderingen in de buitenwereld (bijv. druk, temperatuur, licht).

Vensterkarakteristieken

Vervolgen we de beeldspraak van het zintuig als een ‘venster’, waardoor de mens naar de buitenwereld kan ‘kijken’. Deze vensters hebben enkele algemene karakteristieken:

1. Breedte (frequentiedomein; spectrum).
2. Hoogte (intensiteitsdomein; energie).
3. Tijd-invloeden.

In figuur 12.3 zijn de karakteristieken schematisch aangegeven.

ad 1. Breedte (λ , labda)

Een zintuig kan slechts signalen opvangen en transduceren, als de frequentie van de aangeboden signalen binnen de stijlen van het venster vallen. Dit spectrale gebied, ofwel frequentiedomein, kan als de breedte van het venster beschouwd worden.

Geluiden met een frequentie van bijvoorbeeld 25.000 Hz (Hertz) kunnen door het menselijk oor niet worden waargenomen. Voor onze ogen zijn het infra-rode en het ultra-violette licht niet waarneembaar.

ad 2. Hoogte (i , energetische intensiteit)

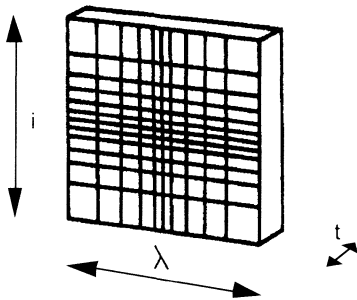
Het venster heeft naast een frequentiedomein ook een intensiteitsdomein, welke in het schema door de hoogte aangegeven wordt.

Voor de breedte van het venster is aangegeven, dat signalen met een frequentie buiten dit domein niet ontdekt kunnen worden. De signaalintensiteit moet, zoals ook geldt voor de signaalfrequentie, een bepaalde minimale waarde (drempelwaarde) hebben om door de mens waargenomen te kunnen worden. Voor de maximale intensiteitswaarden gaat de vergelijking niet op, immers de mens is wel in staat een geluidsdruk van 180 dB waar te nemen, doch hoogstwaarschijnlijk zal hij deze ervaring niet overleven. Vaak zullen onherstelbare structurele veranderingen, in onder meer de zintuigkarakteristieken, dan het gevolg zijn.

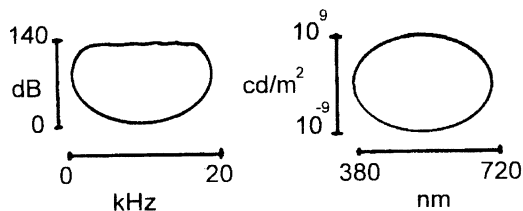
ad 3. Tijd-invloeden

In het venster is een aantal tijd-karakteristieken aanwezig, welke tijdens de volgende bespreking van de zintuigleer voldoende aan bod zullen komen. Een duidelijk voorbeeld van een tijdsafhankelijk zintuigkarakteristiek toont zich tijdens het waarnemen van een film: het oog is niet in staat de snelle opeenvolging van afzonderlijke, gefixeerde, filmbeelden te volgen en de perceptie van een ogen-schijnlijk scherpomlijnd beeld, waarin vloeiende bewegingen van mensen en dingen waargenomen worden, is het resultaat.

Het venster is niet per definitie rechthoekig, zoals getoond in figuur 12.3. Vaak blijkt dit venster een afgeronde vorm te hebben (figuur 12.4).



Figuur 12.3 Vensterkarakteristieken.



Figuur 12.4 Schematische vensterkarakteristieken van het oor en het oog.

Onderscheidingsvermogen (resolutie)

De prikkels komen het venster binnen als fysische wisseling. Het gaat hier om een verschil in intensiteit of frequentie tussen het nu aangeboden signaal en de direct voorafgaande signalen. Het oog zal tussen een lichtsignaal met een golflengte van 412 nm (nanometer) en een lichtsignaal met een golflengte van 412,43 nm geen kleurverschil detecteren. Om de signalen door het oog als verschillend te ervaren, moet het golflengteverschil een bepaalde minimale waarde overschrijden. Die waarde wordt het 'minimaal' waarneembare verschil, ofwel *jnd* (just noticeable difference) genoemd. Hetzelfde geldt voor de *i*-dimensie, waarbij ook minimale verschillen moeten worden aangeboden, om te constateren dat de intensiteiten (bijv. dB of cd/m^2) ongelijk zijn. Het gaat hier dus om het onderscheidingsvermogen of resolutie, en wel om de spectrale resolutie en de intensiteitsresolutie.

Die zijn niet constant voor het gehele venster. In de centrale gebieden van het venster zijn de prestaties het beste, oftewel kunnen de kleinste signaalverschillen gedetecteerd worden. Om dit aan te geven, is in figuur 12.3 het venstervlak voorzien van een lijnenraster, waarbij de afstand tussen de lijnen niet constant is en in het centrum van het venster de afstanden het kleinst zijn. De plaats, waar het lijnenraster een fijnere verdeling heeft, noemt men het optimale werkgebied. Worden signalen in de perifere zone van het venster aangeboden, dan dienen voor een correcte signaalonderscheiding dus grotere signaalverschillen aanwezig te zijn. De lijnenverdeling op het venster blijft verhoudingsgewijs in veel situaties wel ongeveer constant, maar de schaalverdeling van dit lijnenpatroon kan wel variëren. Dit komt, omdat het signaalonderscheidingsvermogen mede afhangt van de wijze waarop en de omgeving waarbinnen de signalen aangeboden worden. Indien signalen gelijktijdig of kort na elkaar aangeboden worden, kunnen veel kleinere verschillen gedetecteerd worden, dan in het geval van langere tussentijden. Bij het tegelijkertijd (simultaan) aanbieden van lichtsignalen kan het oog 120-160 kleuren onderscheiden; absoluut en dus met enige tijd tussen de prikkels, kunnen ‘slechts’ 10-14 kleuren onderscheiden (precies onthouden) worden. Ook kunnen aanwezige, niet relevante signalen vanuit de omgeving (ruis) een invloed hebben op het signaalonderscheidingsvermogen. Vaak spreekt men in dit verband van maskeren. Verkeerslawaaai kan bijvoorbeeld een conversatie maskeren of het zicht op een huis wordt gemaskeerd door bomen die ervoor staan.

Veranderingen in vensterkarakteristieken: schade en veroudering

De karakteristieken van de huidspecialisaties zijn voor alle mensen enigszins verschillend. Meestal kunnen bij het gezond functioneren van de vensters wel de globale werkgebieden (domeinen) en de resultaten van specifieke invloedsfactoren in getallen genoemd worden, maar gedurende het leefproces ondergaan de karakteristieken allerlei (capacitieve) veranderingen. Deze veranderingen zijn slechts ten dele in aard en omvang te voorspellen.

Het totale oppervlak van het venster blijft niet constant. Bij het verouderen - een proces, dat zich min of meer na het 28-ste levensjaar voltrekt - vermindert het oppervlak van het venster. Deze vermindering wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door de hoeveelheid informatie, fysische energie-wisselingen, die het venster verwerkt heeft door de tijd heen. Men kan in dit verband spreken van slijtage. De lawaaiige cultuur, waarin de mens tegenwoordig leeft, veroorzaakt zelfs bij jeugdigen een sensitiviteitsvermindering van het gehoororgaan. In de bespreking over het onderwerp menselijke inspanning (hoofdstuk 9) is vermeld, dat ten gevolge van een inspanning (fysiek) de capaciteit van de desbetreffende organen (spiergroepen) afneemt om na enige tijd rust weer te herstellen. Dat is een omkeerbare, functionele verandering. Voor de zintuigkarakteristieken geldt een soortgelijk proces. Ook bij zintuigen kan echter blijvende schade optreden. Het is mogelijk dat bij een overmatige belasting (kortdurende extreem hoge waarden of zeer hoge waarden gedurende een langere tijd) er verblinding of verdoving

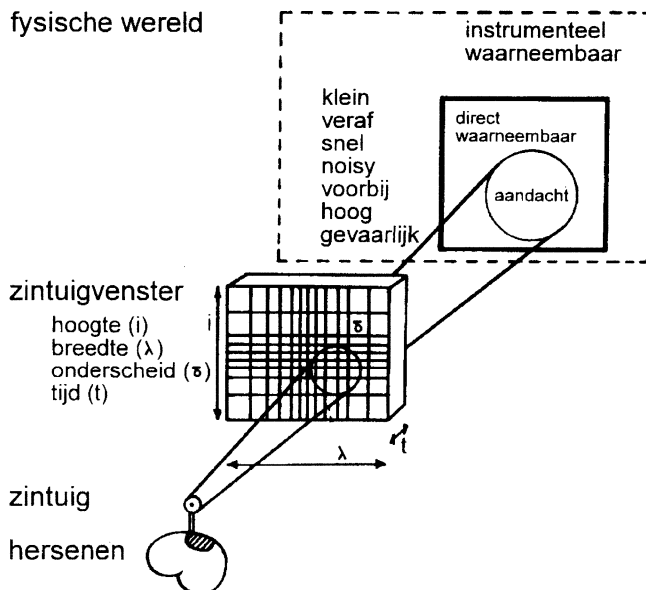
ontstaat: een onomkeerbare structurele verandering voltrekt zich en een 'dip' ontstaat in delen van het vensterdomein. In de herstelfase blijkt dan dat het venster zijn oorspronkelijke capaciteit niet terugkrijgt en zich dus niet herstelt. Signalen met lage intensiteit en/of bepaalde frequentie kunnen dan niet meer worden waargenomen. In sommige gevallen van overbelasting kan het zintuig zo zijn functie compleet verliezen (blindheid na langdurig kijken naar de felle zon of doofheid na een extreme geluidsexplosie bijvoorbeeld).

Bij de veroudering treedt, naast de verkleining van het vensteroppervlak, tevens een verandering op in de resoluties en dus in de schaalverdeling van het lijnenraster op het venster: de fijngevoeligheid neemt af. De signalen moeten grotere verschillen hebben om als verschillend waargenomen te worden. Ook blijken oudere mensen relatief een langere herstelfase nodig te hebben na het opvangen en verwerken van signalen met een hoge intensiteit of frequentie. Dientengevolge verdoven geluidssignalen met bijvoorbeeld een hogere intensiteitswaarde oudere mensen langer dan jongere. Evenzo duurt bij oudere mensen de verblinding langer door lichtsignalen met een hoge intensiteit.

De aandachtsbundel en instrumentele waarneming

In de fysische wereld rondom de mens zijn talloze prikkels aanwezig, waarvan het zintuig, vanwege de begrenzingen die het venster per waarnemingsmoment heeft, slechts een beperkt deel kan waarnemen. Van deze groep, in principe waarneembare, prikkels is er nog een groot deel aan te geven, dat pas waargenomen wordt, als de aandacht erop gericht is. In een figuur wordt dit getoond (figuur 12.5).

Dit schema laat zien, dat het totale venstergebied niet gebruikt wordt, maar dat een



Figuur 12.5 Het zintuigvenster, de aandacht, de fysische wereld en hulpmiddelen.

selectie plaatsvindt, welke grotendeels bepaald wordt door de ‘aandachtsbundel’. De signalen daarentegen, die in principe niet door het zintuig verwerkt kunnen worden, omdat ze een te grote of te kleine frequentie of intensiteit hebben, of kleiner zijn dan de perceptieve resolutie, of omdat ze op een andere plaats aangeboden worden, kunnen door de mens deels met behulp van instrumenten (verleng-, voorzet- en opzetstukken van de menselijke lichaamsfuncties) toch waargenomen worden. Dat doet men door instrumentele waarneming. De producten die helpen bij de waarneming noemen we de sensorisch ondersteunende producten. De signalen worden door het instrument dan zo gemoduleerd, dat ze geschikt worden voor verdere verwerking door de zintuigen. Door technologie wordt het instrumenteel, dus indirect waarneembare veel groter dan het direct zintuiglijk waarneembare.

Deze modulatie vindt vaak direct plaats, waardoor het signaal min of meer gelijktijdig waargenomen kan worden. In sommige gevallen zal de modulatie meer tijd kosten en is het gelijktijdig waarnemen niet mogelijk (bijvoorbeeld het achteraf bestuderen van een foto-finish bij atletiekwedstrijden; het eerst machinaal wegfilteren van ruis in een geluidstroom; visuele beeldverwerking om een patroon zichtbaar te maken in een satelliet-opname). Dusdanig geregistreerde prikkels ondersteunen uiteraard ook de (memo- of mnemische) geheugenfuncties voor het waarnemen.

12.4 Producten voor de zintuigen

Sensorisch ondersteunende producten en product-onderdelen

Evenals de homo faber (zie 2.1) allerlei verlengstukken ontwerpt voor zijn fysieke functies, doet hij dat dus ook voor de sensorische functies. Die sensorische functie-hulpstukken zijn er om de input-processen te vergemakkelijken en uit te breiden via waarnemingsinstrumenten, maar ook om informatie-aanbod kunstmatig te genereren. Er worden dus allerlei signaalgevers ontworpen, die bijvoorbeeld op of aan toestellen of machines zitten, om de interactie tussen mens en product te vergemakkelijken. Die signaalgevers signaleren de werking en toestand van mechanismen of technische systemen, wat zonder een ‘display’ niet of moeilijker te weten zou zijn gekomen.

Van de eerste groep van de sensorisch ondersteunende producten, de directe zintuiglijke hulpstukken, geven we een indruk in de volgende tabel, zie figuur 12.6. Die wordt beperkt tot de visuele en auditieve producten.

Er zijn ook combinaties van audio en video, zoals TV, beeld- en geluid-band en

functie	visuele hulp:	audio hulp:
prothesen	zonne-, lees-bril, lens	gehoorapparaat
micro (klein)	loupe, micro-, oscillo-scoop	oscilloscoop, luidheidmeter
peri (omheen)	spiegel, periscoop	intercom, babyfoon
tele (ver)	verrekijker, TV-circuit, fax	telefoon, radio
memo (geheugen)	foto, tekening, film	audio-tape, compact disc

Figuur 12.6 Directe zintuiglijke hulpstukken.

-plaat. De mnemische (geheugen-ondersteunende) producten vormen een overgang naar de cognitief ondersteunende producten. De tweede groep, die van de signaalgevers, is zeer uitgebreid en ook daarvan wordt een indruk gegeven. In de volgende tabel, in figuur 12.7, worden signaleringen voor drie zintuigen vermeld. Bovenin staan de elementen, daaronder de combinaties, om tenslotte de signaalgevers in eigenlijke zin te melden: displays en display-systemen.

ontworpen signalering	visueel	auditief	tactiel
element	teken, letter, cijfer	geluidstoot, kliktoon	putje, bobbel, voelklik
combinatie	woord, getal, pictogram	geluidreeks	ribbels, textuur, vorm
samenstel	tekst, tabel	machine-geluid-reeks	weerstand, massa, baan
patroon	afbeelding, grafiek	machine-geluid	braille, weerstand, massa, baan
statische display	overzichtspaneel, wegwijzer	claxon	voelbord, voelmodel
dynamische display	klok, tv-scherm	kunstspraak-unit	vertaler van gedrukte naar voel-tekst

Figuur 12.7 Signaal- elementen en -gevers in drie sensorische modaliteiten.

We hebben hier dus te maken met een zeer belangrijke categorie van producten die informatie-input uit de omgeving vergemakkelijken of die informatie-aanbod vanuit technische hulpmiddelen verzorgen. Die steeds maar groeiende en gevarieerder wordende groep van producten wordt ontworpen voor de zintuigen en zal dus volgens sensorisch-ergonomische inzichten en richtlijnen moeten zijn aangepast.

12.5 Soorten zintuigen

Ordering van de zintuigen

De zintuigsystemen van het menselijk lichaam kunnen naar aard, vorm en aantal geordend worden. De tot nu toe besproken zintuigsystemen hadden betrekking op het verwerken van informatie uit de buitenwereld (omgeving). Voor het verkrijgen van een volledig overzicht is het zaak niet alleen de buitenwereld als informatiebron te beschouwen, maar ook het lichaam en de geheugens. De zintuigen voor het registreren en verwerken van informatie uit het eigen lichaam zullen in het overzicht worden opgenomen. De geheugens als informatiebron zijn te beschouwen als een data-bank van de reeds ingevoerde gegevens en die leveren dientengevolge geen nieuwe gegevens. Vanwege dit onderscheid met de andere twee bronnen is geheugen als bron niet in het schema verwerkt. In figuur 12.8 is het resultaat van deze ordening getoond.

Het schema hanteert een ordening op basis van de waarneming in en op het lichaam (proprioceptie of somesthesie) en buiten het lichaam (exteroceptie). De termen ceptie en esthesie duiden op waarneming (proprio = van jezelf; soma = het lijf; intero = van binnen; extero = van buiten).

bronafstand	aard van zintuig en sensorelementen	groepsnamen	
intern	1. receptoren van druk, pH, pO ₂ , etc. homeostase vegetativum	interoceptie	proprioceptie of somesthesie
-/o/+	2. 'spoeltjes' in spieren, pezen en gewrichten voor stand, spanning, kracht, beweging	kinesthesie	
	3. drie halfcirkelvormige kanalen en overig vestibulair orgaan voor richting zwaartekracht: X-Y-Z-oriëntatie en respectievelijk voor:	vestibulair	
	4. richting en grootte van versnellingen		
oppervlak	5. druk 700	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> geschat duizendtal sensors in 2 vierkante meter huid </div> huidzin (tactiel)	
-/o/+	6. pijn 1200		
	7. koude/hitte 250		
	8. warmte 30		
	9. vibratie ?		
extern	10. smaak: zoet, bitter, zout, zuur	chemisch	exteroceptie
o/+	11. reuk: 7 (?) chemische dimensies	mechanisch elektro- magnetisch	
	12. gehoor: haarcellen in slakkenhuis*		
	13. gezichtsvermogen: helderheid**, kleur***, (vorm) aantal elementen: 2 × 125·10 ⁶		

*Figuur 12.8 Ordening van zintuigen (ad 12: * hoog-laag, luid-zwak; ad 13: ** staafjes, *** kegeltjes, zie hoofdstuk 15).*

Interoceptie

In het lichaam zijn talloze receptoren aanwezig (in bloedvaten, darmen, longen, etc.), die gevoelig zijn voor aspecten zoals druk, zuurgraad (pH) en zuurstofspanning (pO₂). Deze informatiebronnen worden voortdurend door het lijf actief gebruikt, maar worden zelden bewust waargenomen; (men denke aan honger en dorst). De informatie wordt gebruikt om een groot aantal variabelen in het lichaam constant te houden: homeostase (homeostase = gelijkblijvend) van de ondersteunende, vegetatieve processen (zie figuur 9.1. Ofschoon deze receptoren en de resultaten van hun waarneming niet of weinig bewust worden waargenomen, zijn ze zeer vitaal en voor het overleven zeer fundamenteel. Met enige goede gezindheid zou men ze ‘vensters naar de binnenwereld’ kunnen noemen.

Kinesthesie

In de spieren, pezen en gewrichten zijn grote aantallen zintuigjes aanwezig, die direct informatie geven over de configuratie van het lichaam en de ledematen. Dit is informatie over de standen van de lichaamssegmenten (gewrichtsexkursies), spierspanningen en bewegingen (kine = beweging) in gewrichten. Deze informatie is essentieel voor een adequate reactie van de spieren.

Vestibulair

De mens ervaart liggen of de situatie, waarbij het hoofd zich verder van het middelpunt van de aarde bevindt dan de voeten, als comfortabel. Een omgekeerde of scheve houding wordt niet als prettig ervaren en kan voor het goed functioneren van het lichaam niet lang volgehouden worden. Om de comfortabele lichaamshouding te realiseren en aan te houden, is informatie nodig welke een consequente en correcte sturing van de lichaamssegmenten mogelijk maakt. Het lichaam moet weten wat boven en onder is, in welke richting de zwaartekracht werkt, welke lichaamsstanden in de XYZ-ruimte ingenomen worden en in welke richting en grootte het lichaam versnellingen ondergaat. Deze informatie verkrijgt het lichaam voornamelijk van het vestibulair orgaan, waaronder de drie 'waterpasjes' in X-, Y- en Z-oriëntatie, de halfcirkelvormige kanalen (zie ook hoofdstuk 13). Sommige personen weten bijna altijd waar het noorden is.

Informatie uit waarnemingen van andere zintuigen kunnen bij deze oriëntatie een ondersteunend karakter hebben (bijvoorbeeld de visuele waarneming). Een spanningsveld ontstaat echter, wanneer tegenstrijdige informatie uit de verschillende informatiekanalen samenkomt. Indien men zich bijvoorbeeld in een ruimte bevindt, die zodanig geconstrueerd is, dat de visuele prikkels een andere oriëntatie blijken aan te geven dan het vestibulaire zintuig ervaart, dan kan naast een verwarring tevens een misselijkheid bij de waarnemer optreden (gekantelde kamer; prisma-brillen). Bewegingsziekte werd verder behandeld in 8.1 'De krachten in en op het lichaam'.

De huidzin

In de huid zijn veel sensoren aanwezig, die allerlei soorten informatie kunnen geven (druk, pijn, koude/hitte, warmte, vibratie). Deze sensoren zijn onregelmatig verdeeld in het huidoppervlak, maar hebben wel een vaste plaats. Uit onderzoeken is gebleken dat duidelijke centra op de huid aanwezig zijn, waar het aantal sensoren per oppervlakte-eenheid zeer groot is in vergelijking met overige plaatsen op de huid. De handpalmen zijn bijvoorbeeld veel drukgevoeliger (groter aantal drukzintuigjes) dan de rug. De huidzintuigen hebben een specifieke informatiefunctie, zoals hun namen reeds aangeven, die is gekoppeld aan een specifieke vorm. Voor het waarnemen van één bepaalde prikkelsoort blijken in sommige gevallen verschillende sensorvormen aanwezig. De warmte-sensoren hebben bijvoorbeeld een andere vorm dan de koude/hitte-sensoren, terwijl ze toch beide eenzelfde fysische prikkel transduceren. Op het gebied van de zintuiglijke waarneming van de huidsensoren dient nog veel onderzocht te worden en is er van de werking van de systemen nog veel niet bekend. Men heeft bijvoorbeeld sterke vermoedens dat er vibratie-sensoren bestaan. Aantoonbare onderzoeksresultaten zijn echter nog beperkt. Over het algemeen kan men zeggen, dat een extreme prikkeling van de huidsensoren veelal direct leidt tot motorische reflexen. Dit geldt speciaal voor de pijn-sensoren. Zij zijn bedoeld voor het vermijden van aanzwellend risico. De reactiesnelheid van het proces tussen prikkelopname en de reflexmatige reactie is

dan zeer groot en de reactietijd dus zeer kort

Voor de overige huidzintuigen kan het individu de gevoeligheid in zekere zin verlagen. Tijdens het wandelen van een Vierdaagse kan het vóórkomen, dat men bijvoorbeeld door een grote betrokkenheid bij het wandelgebeuren en tijdens het zingen van aandachtafleidende marsliederen, de aanhoudende niet-comfortabele belasting van de pijn- en druk-sensoren in de huid van de voeten niet bewust ervaart, terwijl de gevolgen van een dergelijke overbelasting later zeker langdurig merkbaar zullen zijn. Ontwerp van goed schoeisel kan ook helpen!

Smaak

De mens blijkt een stuk huid (tong, wangslimvlies) te hebben, waarbinnen een viertal sensoren gespecialiseerd is in het waarnemen van chemische prikkels: zout, zuur, bitter en zoet. Met behulp van deze vier sensor-typen kunnen legio smaken onderscheidend waargenomen worden. Het gaat hier vooral om de intensiteitsverhoudingen van de waargenomen prikkels zout, zuur, bitter en zoet. Andere smaken dan deze vier worden niet geproefd, maar geroken. Bij een verstopte neus 'proeft' men dus niet zo veel meer. Bij mens-product interactie speelt dit zelden een rol, in tegenstelling tot verbruiksgoed, zoals voedsel en genotmiddelen.

Reuk

Zoals er bij het smaakorgaan sprake is van de aanwezigheid van een aantal (vier) subkanalen, vermoedt men een soortgelijke subkanalisering in het reukorgaan (olfactorisch). Resultaten uit tests doen vermoeden, dat er sprake zou kunnen zijn van een zevental reukdimensies. Het waarnemingsproces van de sensoren zelf zou hier kunnen zijn gebaseerd op het herkennen van de gas-molecuulvorm, uitgaande van de ontdekking, dat tussen de geur van een stof en de molecuulvorm van die stof een direct verband bestaat.

Gehoor en gezichtsvermogen

In de oriëntatie van de mens in de buitenwereld, zowel materieel als sociaal, zijn deze organen wel het meest belangrijk van de reeds besproken zintuigen. De werking van deze zintuigen is voor de mens ook het meest bekend. In de komende hoofdstukken zullen deze twee vensters naar de buitenwereld de volle aandacht krijgen.

Bewuster ≈ luxer ≈ groter ≈ jonger

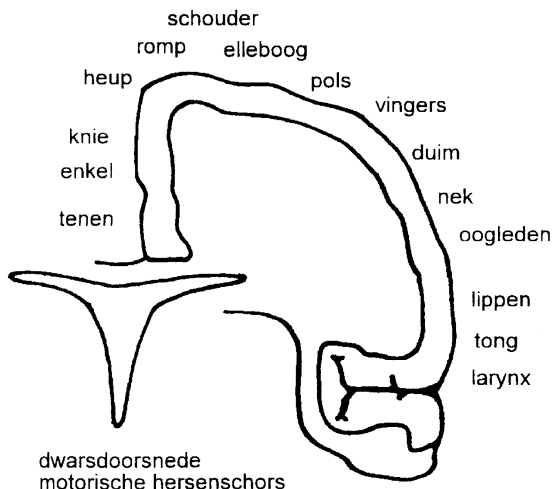
In het schema van figuur 12.8 wordt een groot aantal verschillende zintuigsystemen genoemd: voor de detectie en verwerking van informatie in het lichaam, op het lichaam en in de buitenwereld. Het is opvallend dat, naarmate men in het schema meer naar beneden gaat, de zintuiglijke waarneming in het algemeen bewuster wordt en het aantal zenuwcellen en verbindingen voor dat zintuig in de hersenen dan eveneens toenemen. In omgekeerde richting worden het echter biologisch vitalere zintuigen: zij zijn directer nodig voor het absolute overleven en zijn

waarschijnlijk in de evolutie van het leven op aarde ook ouder.

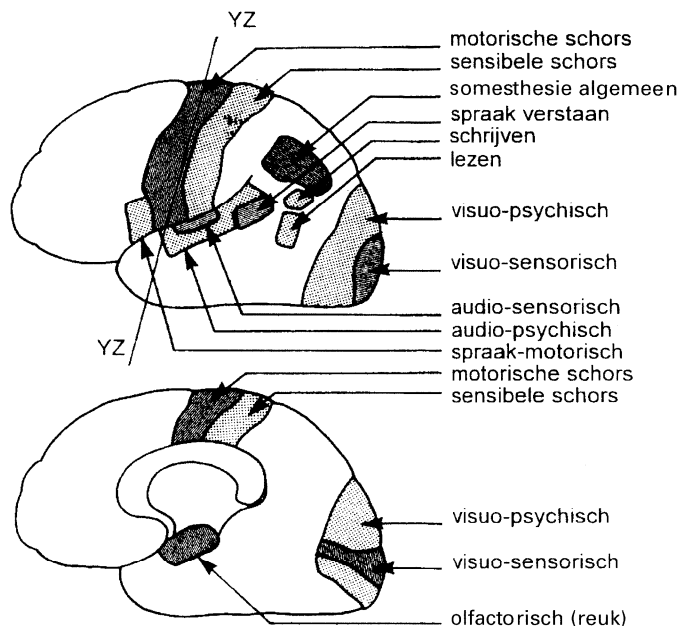
De venstergebieden in het brein

In de hersenen zijn onder meer motorische en sensorische centra in de hersenschors (cortex) te onderscheiden (zie ook figuren 3.13 en 3.14). De opbouw, omvang, ontwikkeling en specialisatie van deze centra zijn in sterke mate bepaald door de evolutie van miljoenen jaren (mutatie en selectie). In deze evolutie heeft een adaptatie-proces plaatsgevonden, waarbij spontane mutaties in de structuur werden weggefilterd op grond van de geschiktheid voor de omgeving. Uit het eerder getoonde overzicht (ordering van zintuigen) zou men dus kunnen afleiden, welke omgeving van de mens gedurende de laatste miljoenen jaren van zijn evolutie voor het overleven het meest belangrijk is. Ten dele komt dit ook tot uitdrukking in het aantal neuronen (zenuwcellen) voor de vensters in de desbetreffende centra van het brein. Ook in de motorische hersenschors, de breincentra waar de werking van skeletspieren wordt gestuurd, is een dergelijke functielocalisatie aan te geven (zie figuren 12.9 en 12.10).

In figuur 12.10 zijn onder meer de belangrijkste sensorische centra weergegeven. Men kan hieruit concluderen dat, naarmate de zintuigen in de hele evolutie gezien jonger zijn, meer schors voor de desbetreffende zintuigen in de hersenen aanwezig is, maar dat deze desalniettemin minder essentieel zijn voor het absolute biologische overleven. Het visuele systeem, dat is te beschouwen als het jongste zintuig in de evolutie, heeft de meest uitgebreide centrales in de hersenen en kan ook de meeste informatie (simultaan) verwerken; desalniettemin is het voor het overleven het minst essentiële zintuig, zij het voor het huidig gebruikelijke, dagelijkse functioneren – waaronder mens-product interactie – wel zeer nuttig.



Figuur 12.9 Functie-localisatie motorische hersenschors (doorsnede, vooraanzicht, YZ-vlak zoals in figuur 12.10).



Figuur 12.10 Functie-localisatie hersenschors in zij-aanzicht, boven: de linker hersenhelft; onder de rechterhersenhelft na middendoorsnede (XZ).

12.6 Vensterspecificaties

Een zestal dimensies

Voor een grote groep, namelijk de externe, zintuigen geldt dat het zintuig te beschouwen is als een venster naar de buitenwereld. De karakteristieken van de vensters zijn reeds genoemd, maar nog niet kwantitatief gespecificeerd. Het gaat hier onder meer om de boven-, onderdrempels en kleinst waarneembare verschillen (resoluties) van verschillende zintuiglijke modaliteiten. De kennis van de sensoren (optimale werkgebieden, reactietijden, leermogelijkheden, verzadiging en vermoeidheid) vormt de basis van de sensorische ergonomie. De sensorische ergonomie draagt met behulp van deze kennis in belangrijke mate bij aan het ontwerpen. Het gaat daarbij om de ontwerpqualiteiten, zoals de opvallendheid, onderscheidbaarheid, leesbaarheid, begrijpelijkheid, overzicht en coderingsmethoden en wel van directe zintuiglijke hulpstukken, of van signaalgevers, zoals afleesinstructies, stuur- en bedieningspanelen, wijzerplaten, verkeerstekens, waarschuwingssystemen (figuren 12.6 en 12.7). Het gaat dus om de perceptieve kwaliteiten en dan vooral die van de sensorisch ondersteunende producten. Vooral van de zintuigsystemen 'horen, zien en voelen' dienen de belangrijkste volgende parameters voor het ergonomisch handelen bekend te zijn:

- Fysische aard.
- Psychologische aard.
- Frequentie (onderdrempel, kleinst waarneembare verschil, bovendrempel): λ

- Intensiteit (onderdrempel, kleinst waarneembare verschil, bovengrensg gebied): i
- Tijdkenmerken (herstel van gevoeligheid na verwerking): t
- Optimale werkgebieden (wegens resolutie in λ , i en t)

In het volgende schema (figuur 12.11) zijn de verschillende kwaliteiten van de meest bewuste vensters aangegeven. In het kort wordt tevens vermeld, welke waarden en karakteristieken voor de verschillende parameters gelden.

Aan zien en horen zullen hierna aparte hoofdstukken worden gewijd, maar nu volgt, ook omwille van de verdere vergelijking van zintuigen, reeds een korte beschrijving, die ook de gegevens uit figuur 12.11 toelicht.

parameter	zien	horen	voelen
fysisch	electromagnetisch (zon, kunstlicht)	drukwisselingen (lucht)	drukwisselingen in huid, vibraties
psychisch	simultaan, ruimtelijk, exact, bewust	opeenvolgend, emotie, spraak	direct, voorbewust
spectraal: breedte	380 - 720 nm violet - rood	20 - 20.000 Hz laag - hoog	tot 400 pulsen/s tot 10.000 c.p.s
grote gevoeligheid	(445, 535, 570 nm)	(2000 - 4000 Hz)	
discriminatie	1 tot 20 nm	(<1000 Hz); 3 Hz (>1000 Hz); 0,3%	180 stappen
- simultaan (resolutie)	120 - 160 kleuren	1800 hoogten	
- absoluut (geheugen)	10 - 14 kleuren	4 - 5 hoogten	?
amplitude: breedte	10^{-9} - 10^{-1} cd/m ² voor staafjes 10^{-2} - 10^9 cd/m ² voor kegeltjes	0 - 140 dB $2 \cdot 10^{-5}$ N/m ² - pijn	$25 \cdot 10^{-5}$ mm - pijn $0,02 \cdot 10^{-7}$ J - pijn
pieken	staafjes: 510 nm kegeltjes: 560 nm	4000 Hz	
discriminatie	$\Delta I/I \geq 0,05$	bij 1000 Hz en > 20 dB: 0,5 dB	?
- simultaan (resolutie)	500 helderheden 1 boogseconde	300 luidheden	
- absoluut (geheugen)	3 - 5 helderheden	3 - 5 luidheden	?
temporeel: verwerkingssnelheid	3400 kbits/s	8 kbits/s	?
fusie	5 tot 75 onderbr./s	2000 onderbr./s	
latentietijd	0,1 s	0,01 s	20 s
adaptietijd	2 - 30 min	2 - 10 s	
reactietijd	0,17 - 0,22 s	0,15 - 0,20 s	0,11 - 0,16 s
werkgebied c.q. optimum	450 - 600 nm bij 10^{-1} - 10^4 cd/m ² en element: 0,5 bg.gr	300 - 6000 Hz bij 40 - 80 dB en element: 0,3 s	?

Figuur 12.11 Verschillende kwaliteiten van een aantal bewuste zintuigvensters

Zien

Bij het zien is de aard van de fysische prikkel elektromagnetisch. De energiewisselingen (prikkel) zijn direct of gereflecteerd afkomstig van de zon of van kunstlicht. Een groot aantal prikkels wordt door het oog gelijktijdig (simultaan) waargenomen in een ruimtelijk patroon. Deze waarneming is vrij exact en bewust. Allerlei visuele prikkels worden opgevangen, getransduceerd, verwerkt en veelal opgeslagen.

De mens leeft in belangrijke mate op grond van zijn visuele ervaringen. Het visuele venster heeft een breedte van 380 - 720 nm (violet - rood), dus tussen kortgolvig ultraviolet (UV) en langgolvig infrarood (IR) licht. In deze vensterbreedte is de gevoeligheid niet overal even groot. De werking van het onderscheid van nm is gebaseerd op drie gevoelige stoffen, die op verschillende golflengte elk hun piekgevoeligheid hebben. De breedte-gevoeligheid van het venster komt neer op het kleuronderscheidingsvermogen (kleurdiscriminatie). Hierbij dient men het onderscheid te maken tussen de vensterkwaliteiten voor het gelijktijdig aanbieden van twee verschillende prikkels (simultaan contrast) en voor het geïsoleerd of achtereenvolgens aanbieden van prikkels (absoluut contrast). Het discriminatievermogen van het oog varieert tussen de 1 en 20 nm, afhankelijk van het deel van het zichtbare spectrum en van de kijkomstandigheden. Bij het gelijktijdig aanbieden van prikkels met een verschillende frequentie (kleur van het licht) kunnen 120 tot 160 kleuren onderscheiden worden. Bij een absolute discriminatie is dit aanmerkelijk minder, namelijk 10 tot 14 te onthouden kleuren. Bij het ontwerpen en toepassen van kleurcoderingen moet men het aantal kleuren beperkt houden om de codering effectief te doen zijn. In zo'n geval gaat het immers meestal om absolute discriminatie.

De hoogte van het venster bepaalt de waar te nemen intensiteiten van de prikkels. Men spreekt in dit verband ook wel van amplitude-breedte, terwijl amplitude-hoogte wellicht een betere benaming zou zijn. De totale hoogte van het visuele venster is zeer groot: 10^{-9} tot 10^{+9} cd/m². In elke werkomgeving is een hoeveelheid licht aanwezig. Men hanteert hiervoor de term 'het heersende lichtniveau'. Tijdens mens-product interactie in een omgeving past de gevoeligheid van het oog zich in zekere mate aan het heersende lichtniveau aan. Het gaat hier om een ingewikkeld fysiologisch proces, dat adaptatieproces genoemd wordt. Dit adaptatieproces zal nog besproken worden in 15.2. De waarneming van intensiteit(veranderingen) is op twee verschillende processen gebaseerd, welke hun piekgevoeligheid hebben bij respectievelijk 510 en 560 nm. Voor het onderscheid van verschillende intensiteiten hanteert men vaak $\Delta I/I$. Het oog geeft hiervoor als beste prestatie 0,05. Bij het simultaan aanbieden van lichtprikkel kunnen 500 helderheden onderscheiden worden (simultaan contrast). Absoluut kunnen slechts 3 – 5 helderheden, al zich herinnerende, onderscheiden worden. Het kleinste onder optimale omstandigheden nog te detecteren lichtpunt heeft een kijkhoek van 1 boogseconde! (Naar schatting zijn er dan 100 verblekende moleculen in de staafjes nodig om een groepje van 20 fotonen te ontdekken, zoals bij het waarnemen van zeer kleine sterren).

In het venster kan een gebied aangegeven worden, waarbinnen de grootste aandacht

opgebracht kan worden, waar de kosten het minst zijn en waar de gevoeligheid het grootst is. Dit noemt men het optimale werkgebied:

- frequentie van 450 tot 600 nm;
- intensiteit van 10^1 tot 10^4 cd/m²;
- kijkhoek groter dan 0,5 booggraden (dus 1800 maal het minimum!).

Het visuele venster heeft tevens verschillende temporele karakteristieken. De door het oog opgevangen lichtprikkel kunnen verwerkt worden met een snelheid van 3400 kbits/s. Door deze hoge verwerkingssnelheid kan men spreken van de mogelijkheid van een zeer grote informatiedichtheid. Indien een lichtprikkel het oog bereikt en wordt verwerkt, heeft het oog echter even tijd nodig om een nieuwe lichtprikkel te kunnen verwerken. De tijd, die hiervoor nodig is en waarbinnen geen prikkel adequaat en volledig verwerkt kan worden, noemt men latentietijd. Voor het oog bedraagt deze ongeveer 0,1 seconde. Indien men lichtsignalen snel opeenvolgend aanbiedt, is het mogelijk dat de signalen voor de waarnemer min of meer gaan fuseren en dat het aan-uit verschijnsel niet meer wordt waargenomen. Deze overgang vindt plaats bij een aanbiedingsfrequentie van de lichtsignalen, die men de kritische-flicker-fusie-frequentie noemt. De waarde van deze frequentie kan variëren van 5 - 75 Hz, omdat deze waarneming afhankelijk is van veel factoren (heersende lichtniveau, kleur en intensiteit van aangeboden lichtprikkel, hoek van invallend licht, enzovoort). Ook het eerder genoemde adaptatieproces, dat plaatsvindt bij het veranderen van het heersende lichtniveau, is te beschouwen als een temporeel aspect van het visuele venster. Globaal vergt dit proces 2 tot 30 minuten. Voor een volledige adaptatie aan het donker is soms zelfs wel meer dan een uur nodig. De adaptatie van donker naar licht gaat sneller dan andersom. Het reageren op lichtprikkel vergt enige tijd. De prikkels moeten gedetecteerd worden, ondergaan vervolgens een transductie (elektro-chemisch) en een verdere verwerking, om tenslotte de aanleiding te vormen voor breinprocessen en eventueel motorische activiteiten. De reactietijd van het visuele systeem bedraagt ongeveer 0,17 - 0,22 seconden op lichtstimuli.

Horen

Bij het horen is de aard van de fysische prikkel een drukwisseling, die over het algemeen in lucht plaatsvindt. Het horen heeft, in tegenstelling tot de simultane prikkelwaarneming bij het zien, hoofdzakelijk te maken met de waarneming van een opeenvolging van prikkels. Vooral in het kunnen waarnemen van spraak bewijst het gehoorzintuig zijn grote waarde. De mens is in staat de uitgedemde luchtkolom door middel van verschillende spierbewegingen (onder andere stembanden) te moduleren tot een groot aantal 'fonemen' (spraakelementen). Door gebruik te maken van motorische programma's in de hersenen kan de luchtkolom in de tijd zo gemoduleerd worden, dat het voor spreker en luisteraars een betekenis heeft, welke berust op onderlinge afspraken. Dit betekenisstelsel (taal) verwijst naar gevoelens, situaties en begrippen, waardoor communicatie mogelijk gemaakt wordt. Vanuit psychologisch oogpunt bezien betreft het gehoor een minder bewuste

en meer emotionele waarneming dan de waarneming van lichtpatronen door het oog.

Het gehoorvenster heeft een breedte van 20 - 20.000 Hz, dus tussen subsoon en supersoon in. Het gaat hier om de toonhoogte van een signaal (laag - hoog). De grootste gevoeligheid is globaal aanwezig in het gebied van 2000 - 4000 Hz. Het toon-discriminatievermogen van het venster is niet voor het gehele gebied constant. Voor geluiden met een frequentie beneden de 1000 Hz geldt als minimaal te detecteren toon-onderscheid 3 Hz; voor geluiden met een frequentie boven de 1000 Hz is dit 0,3% van de desbetreffende frequentie (simultaan contrast; verschil tussen horen door rechter- en door linkeroor of tussen direct opeenvolgende geluiden). Vergelijkenderwijs zijn 1800 hoogten te onderscheiden. Bij een absolute discriminatie is dit aantal 3 - 5. Voor de geluidsintensiteit en de geluidsdruk hanteert men de verhoudingsmaat deciBel (dB). Deze schaal loopt van 0 - 140 dB, welke overeenkomt met $20 \mu\text{N/m}^2$ (ofwel 10^{-12} Wm^{-2}) tot 200 N/m^2 druk. De bovengrens van de vensterhoogte wordt ook wel pijngrens genoemd. Dat is geen scherpe lijn, want signalen met een zeer grote dB-waarde zijn immers wel waar te nemen, maar voor het gehoor en tevens voor bepaalde lichaamsstructuren schadelijk. De grootste intensiteitsgevoeligheid heeft het gehoor voor geluiden met een frequentie in het gebied van de 4000 Hz. Geluiden met een andere frequentie hebben een grotere intensiteit nodig om waargenomen te kunnen worden (hogere onderdrempel). Beschouwt men signalen met een frequentie van 1000 Hz en een intensiteitswaarde groter dan 20 dB, dan bedraagt het minimaal te detecteren intensiteitsverschil 0,5 dB (simultaan contrast). Zo kunnen 300 luidheden onderscheiden worden. Absoluut kunnen 3 - 5 luidheden onderscheiden worden. Dit is dus een overeenkomstige reductie als bij het zien.

De verwerkingssnelheid van het gehoor bedraagt ongeveer 8 kbits/s. In vergelijking met het zien is dit zeer weinig. Toch impliceert dit niet, dat de visuele informatiebron zoveel belangrijker is, integendeel. Hoe de mens gevoelsmatig of biologisch zaken waardeert, staat nogal los van de hoeveelheid informatie-eenheden. Het gehoor kan snel achter elkaar signalen opvangen. De latentietijd is ongeveer 0,01 s. Bij ongeveer 2000 onderbrekingen/s neemt het gehoor een constant signaal waar. Bij het horen vindt een adaptatieproces plaats bij veranderingen in het heersende geluidsniveau. Het oor bewerkstelligt een snellere adaptatie dan dat het oog dit doet aan een verandering in het heersende lichtniveau.

Ook dit zal in volgende hoofdstukken (13, 14) nader besproken worden. De reactiesnelheid van het gehoor bedraagt ongeveer 0,15 tot 0,20 seconde op geluidsstimuli. Voor het optimale werkgebied geldt:

- frequentie van 300 tot 6000 Hz,
- intensiteit van 40 tot 80 dB,
- tijdsduur meer dan 0,3 s.

Geluid plant zich bij 15 °C voort door de lucht met een snelheid van 340 m/s (1224 km per uur \approx 1 Mach). Dat is veel langzamer dan de lichtsnelheid, zoals men kan zien en horen bij een werkende heil-machine die op enige afstand staat.

Voelen

Van het tactiele venster weet men nog niet zoveel. Proefondervindelijk heeft men wel reeds enkele kwaliteiten en karakteristieken kunnen omschrijven, maar veel onderzoek voor het valideren van bestaande theorieën en het uitbreiden van kennis en inzichten is nog nodig. Figuur 12.11 is dus daar veelal leeg, en de wel ingevulde waarden zijn soms onzeker. In hoofdstukken 10 en 11 hebben we echter wel gezien dat de mechanische contacten tussen mens en product hoogst ontwerprelevant zijn en dat er vele praktische regels voor zijn.

Veroudering

Bij veroudering veranderen verschillende kwaliteiten en karakteristieken van de vensters. Dit geldt zowel voor het zien als voor het horen en voelen. De hoogte en breedte van het venster worden kleiner. De signalen moeten bijvoorbeeld een grotere intensiteit hebben om waargenomen te kunnen worden. De resoluties worden minder fijn. Ook de temporele aspecten van de vensters ondergaan enkele veranderingen. Na het ontvangen van een signaal heeft het oudere zintuigvenster een langere tijd nodig om weer open te staan voor de verwerking van een nieuwe prikkel. Dientengevolge verdoven luide klanken en verblinden felle lichten oudere mensen langer, dan dat dit voor het jonge gezonde oor en oog het geval is. Bij het ontwerpen van producten zal ook rekening gehouden moeten worden met het gebruik door oudere leden van de doelgroep. Het is daarom voor de ontwerper belangrijk zich in de analyse en het ontwerp te richten op het optimale werkgebied van de desbetreffende vensters.

Begrippen¹

Prikkels en verwijzende codes:

- k1 fysische wisseling
- i1 verwijzend karakter, betekenis
- i1 informatie-input voor (over)leven
- k2 zintuiglijke afsluiting (sensory deprivation)
- k1 prikkel is verandering
- k1 prikkelarmoede en monotonie
- k2 zintuig als huidspecialisatie
- k3 embryologie
- k3 celdifferentiatie
- k2 ectoderm

Vensters naar de buitenwereld:

- k1 opvang en transductie
- k3 nerveuze pulstreinen
- k1 sensorische kanalen

¹ i = inzicht, k = kennis, t = toepassing; 1,2,3 zijn afnemende graden van belang

- k1 vensterkarakteristieken
- k1 spectrale breedte (λ)
- k1 intensiteitshoogte (i)
- k1 tijdkenmerken (t)
- i1 van onderdrempel tot pijn
- k2 venstervormen
- k1 resoluties in λ , i , en t
- k1 simultaan versus absoluut onderscheid (gelijktijdig vs. in herinnering)

Vensters en hulpmiddelen:

- i1 aandachtsbundel
- k1 instrumentele waarneming
- k3 ruisfilter
- k1 directe zintuiglijke hulpmiddelen
- k1 signaal-elementen en signaalgevers (display)

Zintuigoverzicht:

- k2 proprioceptie (somesesthesie) versus exteroceptie
- k2 de 7 groepen: interoceptie, kinesthesie, vestibulair, tactiel, chemisch, mechanisch, elektro-magnetisch
- k2 homeostase
- k2 kinesthetische spoeltjes
- k1 halfcirkelvormige kanalen
- k3 bewuster \approx luxer \approx groter \approx jonger
- k3 corticale venstergebieden
- k2 motorische en sensorische cortex

Vensterspecificaties:

- k1 Zes dimensies: fysisch, psychologisch, λ , i , t , optimum
- k2 380–720 nm bij 10^{-9} – 10^9 cd/m²
- k2 20–20.000 Hz bij 0 – 140 dB
- k2 ultra-violet en infra-rood
- k2 sub-soon en super-soon
- k3 kritische-flikker-fusie-frequentie
- k2 foneem
- k1 adaptatie
- k1 verdoven, verblinden en verouderen

Vragen en suggesties

- 12.1. Leg uit waarom informatie gezien kan worden als een brandstof voor overleven, zij het met een andere looptijd dan zuurstof en voedsel.
- 12.2. Zintuigen zijn te beschouwen als vensters naar de binnen- en buitenwereld. Welke algemene karakteristieken zijn aan te geven voor deze vensters?

- 12.3. Een zintuig kan signalen als verschillend ervaren (intensiteit, frequentie, tijd). Men noemt deze kwaliteit het onderscheidingsvermogen (resolutie). Heeft deze kwaliteit voor het gehele venster eenzelfde waarde en welke veranderingen treden er op tijdens het ouder worden?
- 12.4. Wat verstaat men onder de begrippen proprioceptie, exteroceptie en somesthesie?
- 12.5. Welke typen sensoren zijn in de huid zoal aanwezig?
- 12.6. Welke grondgegevens van de vensterkwaliteiten vormen voor de ergonomie een belangrijk aandachtspunt?
- 12.7. Geef globaal enkele karakteristieken van het visuele en auditieve venster.
- 12.8. Wat wordt verstaan onder latentietijd?
- 12.9. Welke veranderingen in venstervorm vinden plaats tijdens het ouder worden?
- 12.10. Zoek de type-fouten in dit boek die door de zintuigen van auteur en medewerkers niet waargenomen zijn.
- 12.11. Op welke manier krijgen fysische wisselingen betekenis? (Bijvoorbeeld luchtdrukwisselingen worden taal).
- 12.12. Wat gebeurt er nadat iemand in een toestand van zintuiglijke afsluiting is gebracht?
- 12.13. Ga na op welke plaatsen in uw omgeving men zijn best heeft gedaan om de prikkelarmoede te bestrijden.
- 12.14. Bedenk een wezen met andere sensorische kanalen en met andere vensterkarakteristieken dan de mens.
- 12.15. Bestudeer bij een willekeurig persoon het prikken met twee satéstokjes op verschillende plaatsen op de rug. Bepaal welke afstand tussen de beide stokjes moet zitten om de stokjes nog als twee verschillende punten waar te nemen. Bepaal ook of deze afstand op elke plek van de rug hetzelfde is. Doe iets soortgelijks door in de handpalm van een ander met de vingertop letters te schrijven. Wordt elke letter blindelings even gemakkelijk herkend? En hoe gaat dat met schrijven op handrug, voorhoofd of rug? Wat betekenen deze verschillen.
- 12.16. Ga de veranderingen in uw 'aandachtsbundel' na bij het lopen door een stationshal op zoek naar de vertrektijd van uw eerstvolgende trein.
- 12.17. Ga van een aantal apparaten na welke zintuigen worden 'verlengd'.
- 12.18. Som een aantal directe zintuiglijke hulpmiddelen op.
- 12.19. Welke zes dimensies zijn van belang voor sensorisch ondersteunende producten?
- 12.20. Welk zintuig adapteert sneller op een veranderend signaal, het oog of het oor?

13

Het auditieve zintuigstelsel

Samenvatting

In het vorige hoofdstuk zijn verschillende karakteristieken van het horen reeds aan de orde gekomen. In dit hoofdstuk zal dieper ingegaan worden op het hoe en waarom van de aspecten, die te maken hebben met het gehoorvenster en de auditieve waarneming. Allereerst zal ingegaan worden op de bouw van het oor en op welke wijze geluidssignalen opgevangen en verwerkt worden, om vervolgens karakteristieken van geluid te bespreken in het kader van de geluidswaarneming, van spraak en van auditieve signaalgevers bij gebruiksgoederen/apparaten/machines.

13.1 Bouw, werking en meeteenheden

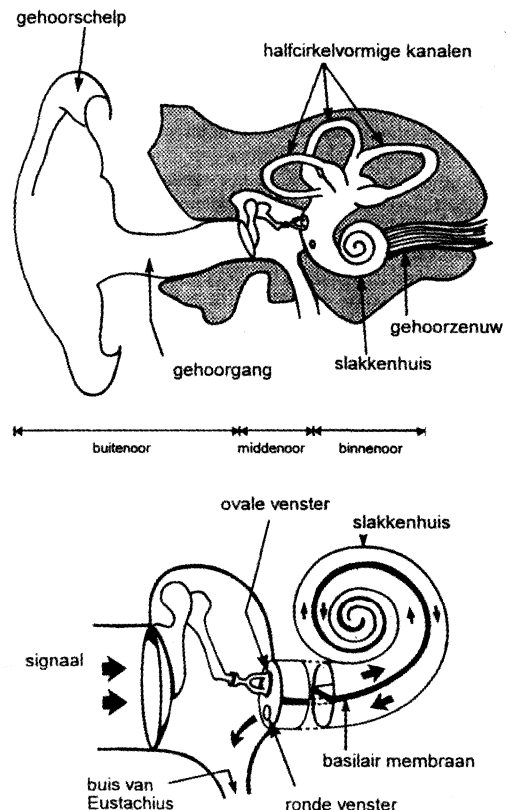
De anatomie van het gehoor- orgaan

Het oor bestaat uit drie delen (figuur 13.1), respectievelijk het uitwendig oor, het middenoor en het inwendig oor.

Het uitwendige oor (buitenoar) bestaat uit de oorschelp, de gehoorgang en het trommelvlies. Het middenoor bestaat uit de trommelholte, de gehoorbeentjes (hamer, aambeeld, stijgbeugel), het ovale venster, het ronde venster en de buis van Eustachius (verbindt trommelholte met keelholte). Het inwendige oor (binnenoor) bestaat uit het slakkenhuis en uit het evenwichtsorgaan.

Werking gehoor

In de buitenwereld zijn er allerlei (lucht)drukwisselingen aanwezig, die de gehoorgang binnenkomen



Figuur 13.1 *Bouw van het oor en evenwichtsorgaan.*

via de gehoorschelp. Door de conische vorm van de gehoorgang wordt het inkomend geluid een aantal malen versterkt, alvorens het op het trommelvlies wordt overgebracht. Het trommelvlies is een dunwandige afscheiding tussen het middenoor en de gehoorgang met een oppervlakte van ongeveer 100 mm^2 . De (lucht)drukwisseling brengt het trommelvlies in trilling en het signaal ondergaat een eerste transformatie. De trilling plant zich voort via de gehoorbeentjes, die zich in het met lucht gevulde en met de keelholte verbonden middenoor bevinden. Deze gehoorbeentjes dragen de trillingen van het trommelvlies over naar een veel kleiner vlies (3 mm^2), namelijk het ovale venster. Indien deze overbrenging door een stijf stangenstelsel gerealiseerd zou worden, zou de versterking van het signaal, op basis van de verhouding tussen de twee vlies-oppervlakten, ongeveer een factor 30 bedragen. De verbinding tussen aambeeld en stijgbeugel is echter niet star, maar wordt ook gevormd door spiertjes. Bij de aanbieding van geluid met een aanzwellende luidheid treedt een reflex ('aambeeld-stijgbeugel reflex') op in de vorm van een verslapping van vooral deze spiertjes. Hierdoor wordt de in het aambeeld aanwezige trilling minder sterk overgedragen op de stijgbeugel en dientengevolge ook op het ovale venster. Bij een snelle intensiteitstoename is de reflex te traag om direct voldoende demping te realiseren en kan een overbelasting van het oor het gevolg zijn. Bij het zien zullen we in de pupilreflex een soortgelijk verdedigingsmechanisme zien.

Het ovale venster vormt een dunwandige afscheiding tussen het middenoor en het met vloeistof (perilymphe) gevulde slakkenhuis (cochlea). Het slakkenhuis is een buissysteem, dat over bijna de gehele lengte (ongeveer 35 mm) in twee kanalen verdeeld wordt door een uit zenuwvezels opgebouwde scheidingswand (het basilair membraan). De trilling in het ovale venster wordt overgedragen op de vloeistofkolom in het slakkenhuis, welke op zijn beurt de trilling via het ronde venster terugbrengt naar het middenoor om via de buis van Eustachius naar de keelholte te worden afgevoerd. De vloeistoftrilling in het slakkenhuis veroorzaakt een trilling in de vezels (haarcellen) van het basilair membraan en zo vindt uiteindelijk een geluidsregistratie plaats. De haarcellen in het membraan zijn ten opzichte van elkaar verschillend gevoelig: aan het begin van het membraan bevinden zich de haarcellen voor registratie van de hoge tonen en aan het eindpunt voor de lage tonen.

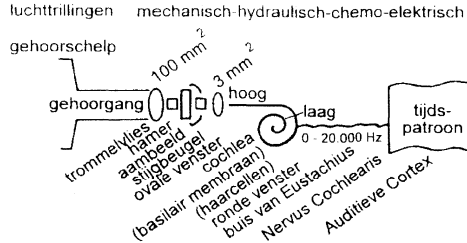
Het evenwichtsorgaan (vestibulair systeem) met de drie waterpasjes zit ook in het binnenoor, maar is een heel ander zintuig, namelijk voor de waarneming van versnellingen (g-krachten) in alle (X, Y, Z) richtingen.

Voordat het binnenkomende geluidssignaal als geluid geregistreerd wordt, ondergaat de (lucht)drukwisseling dus verschillende transformaties.

In het schema in figuur 13.2 zijn deze transformaties nogmaals aangeduid.

Eenheden van geluidsdruk en -intensiteit

Indien van een vibrerende bron de trillingen door een medium (gas, vloeistof of vaste stof) rondom worden voortgeplant, kunnen de drukwisselingen op afstand



Figuur 13.2 Transformaties in geluid.

van die bron worden waargenomen. Het meest voorkomende medium is lucht en er is dus vooral gevoeligheid voor luchtdrukwisselingen, gekenmerkt door het aantal wisselingen per seconde (frequentie: Hz of c/s) en door de intensiteit, amplitude of luidheid (dB, microbar, foon, soon). De energiemaat voor geluid kan, gezien die reeks van eenheden, dus op verschillende manieren aangeduid worden. Meestal hanteert men de Bel-schaal. Dit is een algemene fysische schaal, die verhoudingen (in druk of intensiteit) aangeeft ten opzichte van een gekozen nulpunt. Dit nulpunt is gedefinieerd als de kleinste geluidsenergie van een drukwisseling met een frequentie van 2000 Hz, die de mens onder optimale omstandigheden nog net kan horen:

- $20 \mu\text{N}/\text{m}^2$ druk, (P_0) ofwel;
- $10^{-12} \text{W}/\text{m}^2$ intensiteit, (I_0). (Harrison, 1992)

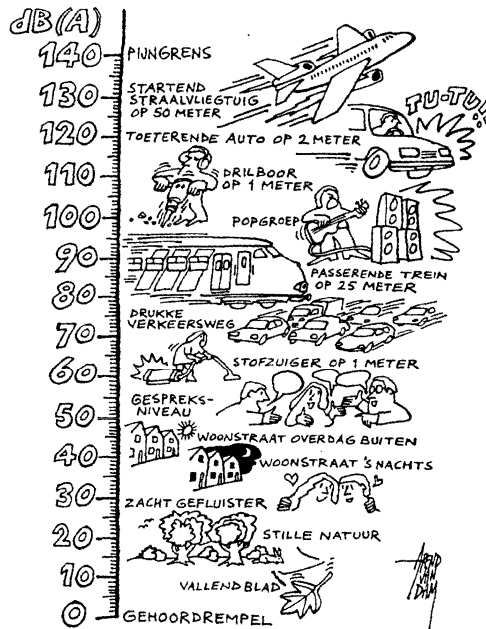
Daar de Bel-schaal nogal grote stappen heeft, gebruikt men meestal de deciBel:

- $\text{dB} = 20 \log P/P_0$ druk ofwel:
- $\text{dB} = 10 \log I/I_0$ intensiteit.

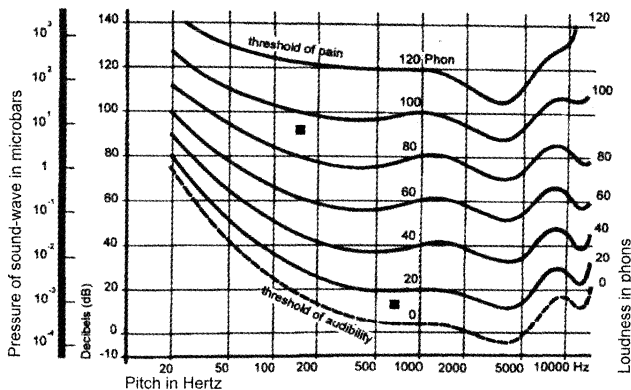
Heeft een geluidssignaal een dB-waarde van 10, dan is er sprake van een intensiteit, welke 10 keer zo groot is als de intensiteit in het gekozen nulpunt. Bij een dB-waarde van 20 is dit 100 keer, bij dB 30 wordt dit 10^3 keer etc. Om een globale indruk te krijgen van de dB-schaalwaarden beschouwe men de benaderingen die opgenomen zijn in figuur 13.3. De nulwaarde van de dB-schaal is een gemiddelde van de subjectieve waarnemingen van gezond horende individuen, fysisch vastgelegd bij een frequentie van 2000 Hz. De onderdrempel is in het hoorbare intensiteitsspectrum niet voor alle frequenties gelijk. De gevoeligheid van het oor is namelijk frequentie-afhankelijk. In een grafiek kan deze relatie/afhankelijkheid aangegeven worden met behulp van lijnen van gelijke luidheids-waarneming. Hierbij hanteert men de begrippen 'foon' en 'soon'. De foonschaal geeft aan de gemiddelde subjectieve lijnen van gelijke luidheid in het toon-audiogram (zie figuur 13.4). Deze grafiek toont lijnen, waarvan één lijn een reeks geluiden voorstelt met verschillende combinaties intensiteit-frequentie, welke met een gelijke luidheid ervaren worden. De luidheid van een signaal kan men uitdrukken in foonwaarden.

Voor de frequentie van 1000Hz is de foonschaal gelijk aan de dB-schaal (met uitzondering van de nulwaarde; nul foon is bij 1000 Hz nog enkele dB's en is bij

2000 Hz gelijk aan 0 dB; zie 13.4). De grootste intensiteitsgevoeligheid heeft het gehoorvenster niet voor een toon met een frequentie van 2000 Hz, maar met een frequentie van ongeveer 4000 Hz. Vandaar dat de onderdrempel voor geluiden met frequenties in het gebied rond de 4000 Hz lager ligt dan in het gedefinieerde nulpunt. De drempelwaarde (dB) is hier negatief (figuur 13.4).



Figuur 13.3 dB-schaal en vergelijkbare geluidsintensiteit; (dB(A) = schaal met speciale spectrale weging, pag. 318).



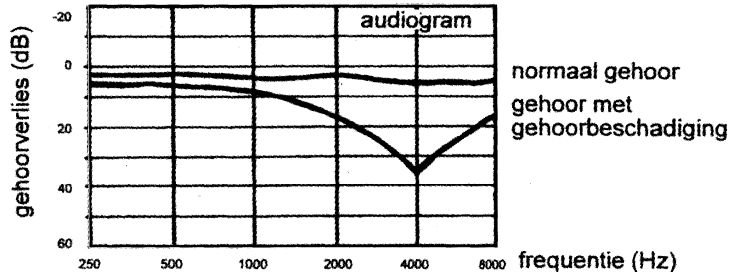
Figuur 13.4 Lijnen van gelijke subjectieve luidheid (foon) in het audiogram (ISO-norm, 1957).

Eén soon is gedefinieerd als de luidheid van een toon met een frequentie van 1000 Hz en een intensiteit van 40 dB. Een toon die twee keer zo luid ervaren wordt, heeft een soonwaarde van 2 etc.. De soonschaal is te beschouwen als een subjectieve

verhoudingsschaal. Conversatie op 1 m is ongeveer 3 soon en een houseband 300 soon.

In proeven en/of onderzoeken, welke te maken hebben met het frequentiebereik van signalen, hanteert men vaak de term octaafband. Hiermee wordt bedoeld een verdubbeling in het frequentiegebied. Op de piano is het laagste octaaf 27,5–55 Hz, het tweede gaat van 55–110 Hz enzovoort.

Bij het ouder worden stijgt de onderdrempel voor elke frequentie (presbycusis = oud gehoor), maar vooral voor signalen met een frequentie boven de 1000 Hz (zie figuur 13.5). Personen boven de 60 jaar horen zelden hoger dan 12 kHz (Steenbekkers en Van Beijsterveldt, 1998).



Figuur 13.5 Verhoging van onderdrempels door gehoorschadiging bij het ouder worden (in werkelijkheid is de onderste curve veel rafeliger).

De bovendrempel komt overeen met waarden boven de 140 dB. Men noemt deze grens, overeenkomstig de pijnlijke gewaarwording van signalen met een zo hoge intensiteit, ook wel de 'pijngrens'. Signalen met een luidheid van deze orde grootte kunnen de huid en het lichaam mechanisch beïnvloeden (onder andere gehoorschadigingen). Boven de 160 dB kan geluid zelfs dodelijk zijn. Een scherpe lijn voor de pijngrens is in dit verband niet zuiver te trekken.

Van de verschillende dimensies van luidheid wordt bij mens-product interactie het vaakst de dB-schaal gebruikt en daarbij in feite de dB(A) (zie figuur 14.4 en uitleg erna).

13.2 De auditieve waarnemingskwaliteiten

Tijdkenmerken

Het oor reageert niet direct op geluid: voor zuivere tonen duurt het 200 – 300 ms om opgebouwd te worden en 140 ms om afgebouwd te worden. Bij gebieden met een brede frequentieband gaat dit sneller. De tijdsafhankelijkheid is ook de reden, waarom geluiden van 200 – 500 ms als zwakker ervaren worden dan geluiden van langere duur. Auditieve signalen moeten daarom langer aangeboden worden dan 300 ms om goed waargenomen te kunnen worden.

De latentietijd bedraagt 0,01 seconde. Indien kortstondige geluidspulsen aangeboden worden (klikken) kan het oor de klikken afzonderlijk nog onderscheiden tot 1000 klikken per seconde. Daarboven vindt een fusering plaats en wordt een

ononderbroken/niet-intermitterend signaal waargenomen. De reactietijden op geluidsprikkels zijn enkele hondersten van een seconde sneller (0,15 – 0,20 s) dan op visuele prikkels, maar weer langzamer dan die op huidprikkel (0,11 – 0,16 s).

Optimaal werkgebied

Het meest gevoelig is het oor voor signalen uit het frequentiegebied 300 - 6000 Hz, of, zo men een smaller optimum wil: 2000 – 4000 Hz en voor het intensiteitsgebied 40 – 80 dB. Ter vergelijking: een piano bestrijkt een gebied van ongeveer 30 tot 4000 Hz; viool 230 – 2300; een baszanger 80 – 300 en sopraan 300 – 1000 Hz. Wat betreft de kleinste stappen van onderscheid (resolutie) kan het volgende globaal gelden:

- frequentiebereik < 1000 Hz: ongeveer 3 Hz;
> 1000 Hz: ongeveer 0,3% van de frequentie;
- amplitudebereik 0,5 – 2 dB.

Woodson (1981) geeft aan, dat het grootste aantal luidheidsverschillen gedetecteerd kan worden in het frequentiegebied van 370 – 1300 Hz. In het dagelijks leven blijkt het aanbod van geluiden zich op de lage frequentiegebieden te richten. In de muziek is dit bijvoorbeeld 30 – 4000 Hz en in de spraak 400 – 7000 Hz.

Spraak

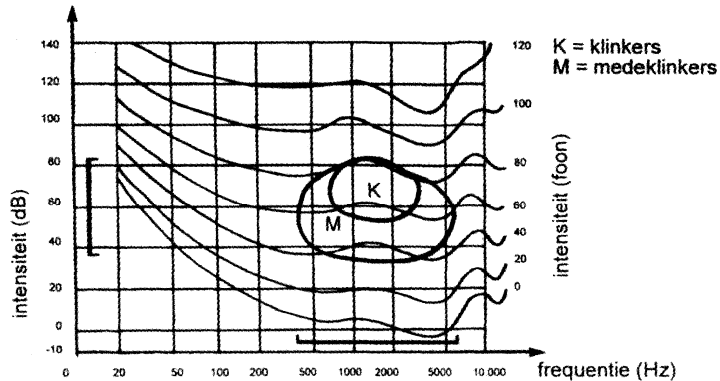
Spraak is een communicatiemiddel, dat gedurende de evolutie van de mens uitgegroeid is van simpel grommen, schreeuwen en lachen tot de meest uitgebreide en intensief gebruikte coderingssystemen, de gesproken (fonetische) talen, waarvan er ongeveer 3000 verschillende zijn en waarvan het geschreven woord weer een belangrijke afgeleide is. Zonder spraak zouden er geen sociale structuren van enige complexiteit en uitgebreidheid, geen cultuur, wetenschap of techniek bestaanbaar zijn. Het niet kunnen spreken of geen spraak (incl. gebarentaal) kunnen verstaan betekent een belangrijke sociale invaliditeit. Fysisch gezien bestaat spraak uit combinaties van op zichzelf reeds zeer complexe patronen van luchtdrukvariaties: de spraakelementen of fonemen genaamd.

De spraaktonen hebben:

- Een frequentie van 400 – 2000 – 7000 Hz (modale waarde is onderstreept).
- Een gemiddeld geluidsniveau op 1 meter afstand van 45 – 65 – 85 dB. Bij een normaal gesprek ligt het geluidsniveau dus rond de 65 dB. In figuur 13.6 is dit gebied weergegeven.

Factoren van spraakverstaanbaarheid

Voor de verstaanbaarheid van het gesprokene is een groot aantal factoren van belang, onder te verdelen in intrinsieke (die alleen betrekking hebben op de wijze van spreken en het taalgebruik) en externe (omgevings-)factoren, waaronder maskering door achtergrondlawaai, akoestiek, gehoorvermogen van de ontvanger en zijn vertrouwdheid met het gesprokene en bij gebruik van technische



Figuur 13.6 *Spraakgebied: frequentie en intensiteit.*

hulpmiddelen ook de eigenschappen daarvan.

Bij de spreker blijkt, dat men de spraakverstaanbaarheid kan verhogen door iets luider te spreken en beter te articuleren (vooral de medeklinkers), en tevens door de lettergrepen langer te laten duren, minder en kortere pauzes in te lassen en meer gebruik te maken van toonvariaties (intonaties). Schreeuwen vermindert evenwel de spraakverstaanbaarheid, omdat hierbij de articulatie sterk afneemt. Een andere factor van belang is de voorspelbaarheid van het gesprokene: in dit verband blijkt de geldigheid van de uitdrukking “een goed verstaander heeft maar een half woord nodig” (zie ook pag. 399). Het voorgaande is niet alleen van belang voor sociale communicatie, direct of telefonisch, maar ook voor de ontwikkeling van taal, die door machines wordt gesproken en voor ‘speechcontrol’ (machines met spraak-sensor) (zie ook § 10.6).

Localisatie van geluidsbronnen

Er zijn twee oren als auditieve sensor en die beide fungeren in onderlinge samenwerking, omdat elk oor aan beide hersenhelften signalen doorzendt. Geluid, arriverend in het frontale vlak (dus van opzij; figuur 6.6), komt bij het ene oor ongeveer 0,8 s later aan dan bij het andere oor en zelfs bij 3% uit het sagittale vlak is er een tijdsverschil van 30 msec, dat nog kan worden ontdekt. Daarom is het gehoor tevens een belangrijke sensor voor de richting van een geluidsbron. Het gaat echter om de hoek ten opzichte van het sagittale vlak en er is geen onderscheid tussen onder of boven, noch tussen voor en achter. Voor lage frequenties zijn het de tijdsverschillen die richting aangeven; voor hoge frequenties vormen vooral de intensiteitsverschillen de basis voor richtingsindicatie. Tussen 1 en 5 kHz lukt het minder om de richting van de geluidsbron te bepalen. Het is wel soms mogelijk de afstand tot een geluidsbron te schatten, indien de luidheid van de bron bekend is, omdat geluid op afstand verzwakt. Dit alles kan van belang zijn voor de interactie tussen mens en produkt. Kunnen dezelfde besignalen op verschillende panelen overbrengen welk paneel aandacht vergt? Kan de sleutelhanger met zoemer steeds worden gelocaliseerd?

13.3 Auditieve signaalgevers (audio-displays)

Eenvoudige en complexe audio-signalen

Een signaalgever op een toestel, werktuig of ander produkt geeft de gebruiker informatie over een aspect van het functioneren van een apparaat of product of over iets, dat de gebruiker ter plekke zelf niet direct kan ontdekken met zijn zintuig-systemen. Daarover is in de vorige hoofdstukken al enige uitleg gegeven. Tijdens het bedienen van een motorvoertuig kan een (geroutineerde) gebruiker aan het geluid van de motor horen of een geschikt toerental aanwezig is, om bijvoorbeeld over te schakelen naar een hogere versnelling. Deze vorm van terugkoppeling geschiedt wel door middel van een (auditieve) signalering, maar betreft geen machineonderdeel dat speciaal voor signaal geven is bedoeld en is dus geen 'display' in eigenlijke zin. Een claxon daarentegen wel.

Auditieve displays zijn bijvoorbeeld zoemers, toeters en bellen en – in een geavanceerdere vorm – de kunstmatig gegenereerde spraak (kortweg: kunstmatige spraak of artificial speech). Meestal betreft het bij zoemers en dergelijke slechts signalen, waarbij eenvoudige ja-nee informatie wordt overgedragen. Vaak zijn dit waarschuwings- en/of aandachttrekkende signalen in de trant van 'let-op'. De betekenis van het geluidssignaal is voor de gebruiker in de meeste gevallen direct volledig bekend. Bijvoorbeeld: een fluittoon duidt op einde werktijd; een belgeluid betekent, dat het warehouse gaat sluiten; het kliksignaal in een automobiel geeft aan, dat de richtingaanwijzer in gebruik is. Door leren van een eenvoudige afspraak (code) is in deze gevallen de lage informatiecapaciteit (figuur 16.2) toch toereikend.

In toenemende mate gaat de geluidssignalering meer informatie bevatten. De reeds lang in gebruik zijnde morse-code is daarvan een duidelijk voorbeeld. Men is tegenwoordig intensief bezig met het ontwikkelen van 'speech-output-devices', waardoor het mogelijk gemaakt wordt een belangrijk deel van de gewenste informatie te presenteren in de vorm van kunstmatige spraak. Deze vorm van informatie-presentatie kan nuttig gebruikt worden bij de interactie tussen mens en complexe produktsystemen zoals bijvoorbeeld computersystemen. Ook dashboards van auto's beginnen wat te stamelen, zoals: 'let op benzinetank'.

Gebruiksindicaties voor auditieve signaalgevers

Indien men geluidssignalering wil toepassen ter ondersteuning van gelijktijdig aangeboden visuele informatie, moet men rekening houden met het verwachtingspatroon van de gebruiker omtrent deze signalering (compatibiliteit). Aan een operator, die in een grote regelzaal van een fabriek of centrale een uitgebreid instrumentenpaneel 'bewaakt', wordt bijvoorbeeld een geluidssignaal aangeboden ter attendering op het feit, dat één of meer van de visuele signaalgevers zijn aandacht behoeven. Het geluidssignaal wordt ook opgevangen als de visuele signaalgevers uit zijn gezichtsveld zijn, om de hoek of als de aandacht elders is. De plaats van de bewuste displays kan dan gelokaliseerd worden aan de hand van bijvoorbeeld de toonhoogte en de geluidsterkte, de duur van het geluid of in

sommige gevallen de richting van het geluid. Tevens moet men het geluidsniveau en de geluidsfrequentie van de auditieve signalering aanpassen aan de desbetreffende situatie en afstemmen op het belang van de boodschap. De signalen moeten duidelijk waarneembaar zijn: speciale aandacht verdienen hierbij de signalen, die in een lawaaige omgeving aangeboden worden. Zij kunnen immers door geluiden vanuit de omgeving ‘weggedrukt’ worden (maskering). Het belang van het signaal moet te merken zijn aan de frequentie, of het geluidsniveau of de duur van het signaal. In sommige gevallen zal men het signaal een extra codering moeten geven om het indringende karakter van het signaal te vergroten (bijvoorbeeld meertonige hoorns van ambulances, brandweer- of politie-auto’s). In het algemeen kan een aantal situaties aangegeven worden, waarin het gebruik van auditieve signalering in de vorm van speciale signaalgegevens aan te bevelen is:

- als snelle aandacht gewenst is (denk aan korte reactie-tijd van het horen);
- als zekere en/of indringende aandacht gewenst is, vooral in situaties waarbij veel andersoortige informatie simultaan aangeboden wordt;
- bij een teveel aan visuele informatie;
- als visuele signalering niet mogelijk is (duisternis; er moeten veel mensen op verspreide plaatsen gewaarschuwd worden; als visuele signaalgevers te veel aan trillingen en/of schokken onderhevig zouden zijn);
- als de gebruikersgroep dit wenst of eist (slechtzienden, blinden);
- als snel een complexe boodschap doorgegeven moet worden (men maakt dan gebruik van spraak, via omroep, audio-tape, CD e.d. of kunstmatige spraak).

Ook zijn gevallen aan te geven, waarbij een auditieve signalering niet toegepast kan of moet worden (contra-indicatie):

- de signalering kan andere mensen hinderen;
- de signalering wordt gemaskeerd door achtergrondlawaai;
- zij kan bij gespannen ontvangers een heftige reactie (‘fight- or flight-reaction’) oproepen, die niet functioneel is; geluid is immers doordringender en emotioneler dan visuele prikkeling;
- indien de gebruikers slechthorend of doof zijn.

Begrippen

Bouw, werking en meeteenheden:

- k1 buiten-, midden-, binnenoor
- k1 trommelvlies
- k2 gehoorbeentjes
- k3 ovale en ronde vensters
- i1 overbrengingsverhouding
- k2 aambeeld-stijgbeugel reflex
- k1 slakkenhuis
- k1 vestibulair systeem: frie waterpasjes
- k2 transformatie-reeks van geluidsprikkels

- k1 decibel-schaal
- i1 van P_0 tot pijngrens
- k2 foon en soon
- k2 audiogram
- k1 octaafband
- k1 gehoorbeschadiging
- k3 presbyacuis

Auditieve waarnemingskwaliteiten:

- k2 latentietijd, fusering, reactietijd
- k1 optimale werkgebied
- k1 spraakgebied (in Hz en dB)
- k2 factoren van spraakverstaanbaarheid
- k2 lokalisatie van geluid

Auditieve signaalgevers (audio-displays):

- k1 waarschuwingsgeluid
- k2 speech-output devices
- i1 gebruiksindicaties en contra-indicaties
- k1 indringend karakter van geluid signalering

Vragen en suggesties

- 13.1. Geef schematisch aan hoe het gehoororgaan is opgebouwd en welke weg een geluidssignaal in het orgaan doorloopt.
- 13.2. Welke overbrengingsverhouding komen we tegen in het oor tussen trommelylies en het ovale venster?
- 13.3. Wat bevindt zich in het slakkenhuis?
- 13.4. Hoe komt het dat, als de oren goed met watjes afgesloten worden, men toch nog geluiden waarneemt?
- 13.5. Als een luchtdrukwisseling aan het oor aangeboden wordt, ondergaat deze een aantal transformaties, alvorens de wisseling als zenuwsignaal in de gehoorzenuw doorgegeven wordt aan de hersenen. Om welke transformaties gaat het hier?
- 13.6. Wat verstaat men onder een foon en hoe ziet een foonschaal eruit?
- 13.7. Wat is een meer bekende naam voor het vestibulair systeem?
- 13.8. Hoeveel maal groter is de intensiteit bij 10 dB dan de intensiteit in het gekozen nulpunt? En bij 20 dB?
- 13.9. Wat wordt bedoeld met een octaafband? Wat zijn de kenmerken?
- 13.10. Bij hoeveel dB treedt gehoorbeschadiging op?
- 13.11. Voor geluiden met een frequentie van 4000 Hz heeft het gehoor een negatieve foonwaarde als onderdrempel. Verklaar dit.
- 13.12. Wat verstaat men onder de 'pijngrens' en waarom is dit een ietwat vreemde benaming?

- 13.13. Voor welk frequentie- en intensiteitsgebied is het onderscheidingsvermogen van het gehoor het grootst?
- 13.14. Het auditieve zintuigstelsel heeft voor geluiden met een frequentie boven de 1000 Hz een andere jnd (pag. 286) dan voor geluiden met een frequentie beneden de 1000 Hz. Om welke verschillen gaat het hier?
- 13.15. Waar dient men bij het ontwerpen van auditieve displays op te letten? In welke omstandigheden zijn auditieve displays aan te bevelen en wanneer niet?
- 13.16. Ga van een aantal auditieve displays na welk geluid wordt gebruikt voor welke informatie.
- 13.17. Bij een PIN-apparaat wordt een geluidssignaal gebruikt om aan te geven dat er een foute code is ingetoetst. Is dit een terecht gebruik van auditieve displays?
- 13.18. Welke problemen ontstaan er met schakelen, als de motor van een auto niet meer hoorbaar is in de cabine? Hoe kan dat probleem worden opgelost?
- 13.19. Hoe kan met behulp van hetzelfde kliksignaal aangegeven worden of de linker of rechter richtingaanwijzer aanstaat? Is dit zinvol?
- 13.20. Bedenk voor- en nadelen van het vervangen van visuele door auditieve signaalgevers (bijvoorbeeld bij horloges).

14

Lawaai, vóórkomen en voorkómen

Samenvatting

Bij het horen is de aard van de fysische prikkel een drukwisseling, welke over het algemeen in lucht plaatsvindt, maar die zich ook vanuit en via productonderdelen kan voortplanten. De moderne techno-cultuur is lawaaiig en lawaaibestrijding vergt toenemende aandacht via wet en norm, via ontwerpen en installeren.

Het horen heeft, in tegenstelling tot de gelijktijdige prikkelaanbieding bij het zien, hoofdzakelijk te maken met de waarneming van een opeenvolging van prikkels. Vooral uit het ongestoord kunnen waarnemen van spraak blijkt de grote waarde van het gehoorzintuig.

Allerlei aspecten van het geluid en de geluidswaarneming zijn aan de orde gekomen (frequentie, intensiteit, deciBel, dB(A), foon, soon). Tevens is aangegeven, dat bij een excessieve prikkeling van het venster een tijdelijke of zelfs een blijvende doofheid kan optreden. Het niet kunnen spreken of doof zijn betekent een belangrijke sociale invaliditeit. Men zal moeten trachten een excessieve prikkeling van het gehoororgaan te vermijden.

In de praktijk komt dit erop neer, dat men moet streven naar het ontwerpen/installeren van geluidsarme producten. In dit hoofdstuk zal het verschijnsel 'lawaai' besproken worden. Met behulp van richtlijnen zal aangegeven worden welke aspecten en aandachtspunten bij het ontwerpen van geluidsarme producten en gebruikssituaties centraal staan.

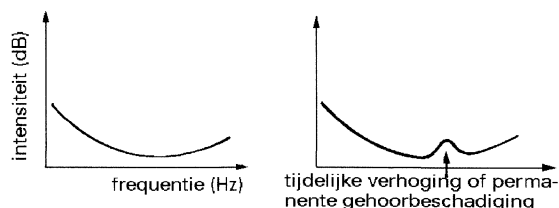
14.1 Lawaai-effecten en lawaai vóórkomen

Adaptatie en schade

Het gehoorzintuig past zich aan het omringende geluid (het heersende geluidsniveau) aan. Soms pas op het moment, dat het 'hinderlijke' geluid wegvalt, realiseert de mens zich, dat het hinderlijk geluid betrof: pas als de drillboor na lange tijd stopt, ervaart men door de rust het voorafgaande lawaai. Voor de geluiden met een zeer hoge frequentie en/of intensiteit (pijngrens) reageert het gehoororgaan (en het lichaam) wel afwijzend, maar voor grote delen van het frequentie- en intensiteitsdomein treden snel gewenningsverschijnselen op. Door deze aanpassing (adaptatie) is de mens zich niet bewust van het feit, dat de aanwezige prikkels een overbelasting voor het gehoororgaan vormen en dat zij langdurig of zelfs onomkeerbare verminderingen in de vensterspecificaties teweeg kunnen brengen. Tijdens het waarnemen van een geluidsprikkel boven de gehoordrempel vindt een drempelverhoging plaats. De duur en de omvang van die drempelverhoging hangen vooral af van de luidheid van de prikkel en ook enigermate van de toonhoogte:

hogere tonen zijn invloedrijker c.q. schadelijker. Indien het geluid een dB-waarde heeft beneden de 80, dan keert de waarnemingsgevoeligheid spoedig terug naar de aanvankelijke ondergrens. Heeft het geluid echter een hogere dB-waarde, dan kan dit herstelproces meer tijd kosten (tijdelijke doofheid) of zelfs achterwege blijven: er treedt een gehoorbeschadiging op (zie figuur 14.1).

Uit de praktijk is gebleken dat in het gebied rond de 4000 Hz een gehoorbeschadiging veel voorkomt en vaker aanwezig is dan een beschadiging bij andere frequenties. Het is zelfs waarschijnlijk dat excessieve prikkels die anders zijn dan



Figuur 14.1 Drempeilverhoging in het gehoorvenster na ontvangst van een geluidssignaal.

4 kHz, toch daar, kennelijk de zwakste plek, de beschadigende sporen achterlaten. Deze veelvoorkomende lawaai beschadiging noemt men ook wel de '4000 Hz-dip' (figuur 13.5). Het grote nadeel hierbij is, dat de gevoeligheid van het gehoor in het gebied rond de 4000 Hz een belangrijke functie heeft in de spraakwaarneming. In ernstige gevallen kan dit zelfs leiden tot een zekere mate van spraakdoofheid.

Weinig volwassenen in de huidige lawaaiige maatschappij hebben nog een volledig goed gehoor. Ook bij jonge mensen zijn vaak al afwijkingen aanwezig onder meer door walkmans, houseparties en disco's. Een gehoorvermindering, waar niet zoveel aan te doen is, treedt ook op door de slijtageverschijnselen bij het ouder worden, want het venster krimpt (presby acusis). Het is echter wel belangrijk te weten dat kleine gehoorbeschadigingen, welke eerder opgedaan zijn door een excessieve prikkeling, tijdens het ouder worden extra vergroot worden.

Beschadigend en hinderend lawaai

De Nederlandse Stichting Geluidshinder (Delft) laat jaarlijks onderzoeken in welke mate de Nederlandse ingezetenen ervaren ernstig gehinderd te worden door verschillende geluidsbronnen. Ook de overheid is daarbij actief in verband met de aanleg van infrastructurele voorzieningen, zoals wegen, spoorwegen, vliegvelden (Schiphol, vliegveld Maastricht, HSL [hoge-snelheidslijn] en Betuweroute e.d.), maar ook met het oog op wetgeving en normering. Een overzicht van de ernstig ervaren hinder vanuit verschillende omgevingsbronnen (verkeer, burenen, luchtvaart, industrie, spoorweg) en door verschillende typen (lawaai, stank, trilling, stof, licht) uit 1993 staat in figuur 14.2.

Uit deze onderzoeksresultaten kunnen enkele conclusies worden getrokken:

- de percentages gehinderden zijn aanzienlijk (de waarden van de cellen kunnen niet worden opgeteld wegens overlap);
- lawaai is kennelijk de meest uitgebreide soort hinder in vergelijking met stank etc.;
- de belangrijkste lawaai bron is het wegverkeer (een kwart van de bevolking

	verkeer	buren	luchtvaart	industrie	spoorweg
Noise	25	13	12	6	2
Odour	5	4	0	5	0
Vibration	6		3	1	1
Dust	5		1	2	0
Lighting	2			0	

Figuur 14.2 Percentages van 'ernstig gehinderde' Nederlandse ingezetenen in 1993, naar bron en aard van hinder.

ervaart er 'ernstige hinder' van), met burenlawaai in de tweede plaats.

Indien vergelijkingen worden gemaakt met soortgelijke onderzoeken twintig jaar eerder, blijken de percentages lawaaigehinderden meer dan verdubbeld. Toentertijd ging de aandacht nog vooral uit naar lawaai in de Nederlandse industrie, waar weverijen, spinnerijen en metaalbewerking met een continue blootstelling aan ≥ 90 dB(A) een geducht risico voor lawaaidoofheid vormden. Weversdoofheid was toen in de kringen van de textielindustrie bijna een positief statuskenmerk.

Het aanpassingsproces van het gehoororgaan aan het heersende geluidsniveau vond ook toen dus plaats, waardoor de werknemer niet direct de schadelijke werking van het geluid zal hebben ervaren. Tevens zal het ontbreken van een onderlinge communicatie gevolgen hebben in de sociale interactie- en beoordelingspatronen in de werkgroepen. Het sociaal beoordelen van collega's, dat dan beperkt wordt en hoofdzakelijk op basis van visuele prikkels plaats vindt, blijkt een sterke vorm van zwart-wit denken te induceren. Men kent elkaar minder en er is minder kans op nuancering!

In de huishoudelijke omgeving (13% van de bevolking serieus gehinderd door burenlawaai, figuur 14.2) blijken uit onderzoek door TNO in 1994 de in figuur 14.3 vermelde bronnen van ervaren hinder (inclusief ernstig en minder ernstig). Loopgeluiden, slaan van deuren, keukengeluiden e.d. blijken niet de enige hinderbron. Hierbij moet worden bedacht dat lawaai van de burenen her en der vergezeld zal gaan van lawaai in eigen huis, van was- en keukenmachines, stofzuigers, de muziekinstallatie van de studerende inwoners e.d. De geluidsisolatiënormen (bijv. de NEN 1070) zijn er voornamelijk tegen burenlawaai. Zelfveroorzaakt 'geluid' wordt immers minder vaak als 'lawaai' ervaren. Uit een en ander blijkt in ieder geval wel dat lawaai een hinderprobleem van de eerste orde

Bron van lawaai	gehinderd
geluiden woning, burenen totaal	27%
contactgeluiden	16%
muziekinstallatie, TV	16%
huisdieren	14%
doe-het-zelf apparatuur	14%
sanitair en installaties	11%

Figuur 14.3 'Hinder door milieuverontreiniging in Nederland'; 1994. Bron: TNO Preventie en gezondheid, Leiden.

is en daarom ook een ontwerp- en installatiezorg vormt van het hoogste belang.

Definiëren van lawaai

Een belangrijke en centrale vraag in deze problematiek is, hoe lawaai omschreven moet worden. Iemand, die op het platteland gaat wonen om van de rust te genieten, zal het motorgeluid (minder dan 60 dB) van een passerende tractor wellicht als lawaai betitelen, terwijl iemand die van het drukke, lawaaiige stadsleven houdt, een dergelijk geluidssignaal milder of in het geheel niet ervaart. Lawaai zou men kunnen omschrijven als ongewenst geluid of geluidsoverlast.

Afhankelijk van hoe ernstige vormen deze overlast aanneemt, onderscheidt men (in toenemende mate van ernst):

- subjectief ongewenst geluid, dat bijvoorbeeld de concentratie verstoort of het geestelijk welbevinden vermindert;
- lawaai dat menselijke communicatie stoort, zodat de mensen elkaar minder gaan kennen, waarderen en minder samenwerken;
- lawaai dat het lichamelijk welbevinden vermindert (discomfort, stress): verhoogde spierspanning, mindere huiddoorbloeding, hoofdpijn, misselijkheid, slapeloosheid;
- lawaai dat langdurige of zelfs onomkeerbare verhogingen van de gehoordrempel veroorzaakt: bekend is vooral de lawaai-dip rond de 4000 Hz, die het verstaan van gesproken woord kan gaan bemoeilijken.

Mede onder invloed van de ergonomie wordt gelukkig steeds meer gebruik gemaakt van technische principes en constructies, die het lawaai verminderen, de lawaai-bron afschermen of het oor van de bediener beschermen. Het is de taak van de ontwerper om bij zichzelf een zekere 'lawaai-bewustheid' te ontwikkelen en bij het ontwerpen van producten rekening te houden met de kans op hinderlijk (voor gebruik én omstanders) geluid tijdens het functioneren van zijn/haar product. Op dit gebied zijn reeds verschillende ontwerphandleidingen gemaakt (Plaisier, 1985).

Activatie-niveau en geluid

In sommige gevallen kan een hoger geluidsniveau ook een positieve invloed hebben op het functioneren van een organisme. Bij dieren is dit te constateren bij bijvoorbeeld koeien, die tot een hogere melkproductie komen, indien muzikale arbeidsvitaminen aanwezig zijn. De kippen komen onder soortgelijke geluidsomstandigheden tot meer leg. Bij de mens wordt bij het uitvoeren van routinematige taken de algemene productiviteit groter, indien muzikale klanken aangeboden worden. In supermarkten bevordert 'muzikaal behang' de kooplust. Het gevolg is namelijk, dat een toestand ontstaat van verhoogde activatie, die ook wel tot een verhoogde activiteit kan leiden. Dit activatie-niveau zal in 19.4 'Activatie-niveau en prikkelarmoede' nader worden behandeld.

Normen voor lawaai-blootstelling

Uit onderzoeksresultaten met betrekking tot de geluidsoverlast in het algemeen

kunnen normen opgesteld worden, die aangeven hoe groot de kans is op gehoorbeschadiging bij een bepaald geluidsniveau gedurende een bepaalde blootstelling (expositie) aan dat niveau. Als voorbeeld kan gegeven worden de ISO-norm, zij het dat deze al oud is gezien de werkuren per jaar (zie figuur 14.4).

constante dB (A) 40 uur x 50 weken/jaar	expositieduur (jaren)			
	5	10	15	30
< 80	0	0	0	0
85	1	3	5	8
90	4	10	14	18
95	7	17	24	31
100	12	29	37	44
115	36	77	83	81

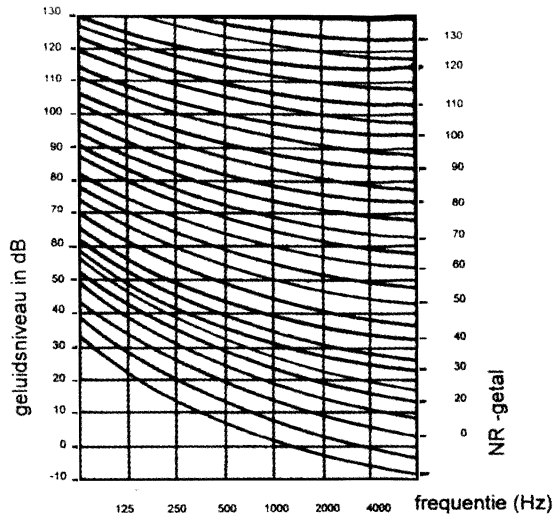
Figuur 14.4 Gehoorbeschadiging (in %) naar expositieduur en geluidsintensiteit (ISO-norm).

In figuur 14.4 wordt het geluidsniveau gegeven in dB(A)-waarden. De A, die tussen haakjes staat, geeft aan met welk doorlaatfilter gemeten is. Dit heeft men gedaan, omdat zowel amplitude als frequentie niet alleen de schadelijkheid maar ook de subjectieve hinder bepalen en dientengevolge een spectrale aanduiding nodig is. In het geval van lawaai meet men meestal in dB(A)-waarden (IEC 123), waarbij in de meting een bepaalde doorlaatkromme gebruikt wordt (soort filter), welke geluiden met een frequentie van 1000 - 5000 Hz een groter gewicht toekent en geluiden met een frequentie buiten dat gebied minder gewicht. In het geval van lawaai in de vorm van zeer lage tonen en/of hoge pieptonen zal men een ander filter moeten gebruiken (bijvoorbeeld B, C of D-filter). Men spreekt dan niet meer van dB(A)-waarden, maar van bijvoorbeeld dB(D)-waarden.

Voor voorbeelden van dB(A)-waarden van geluiden in het dagelijks leven wordt terugverwezen naar figuur 13.3. Globale gemiddelde waarden zijn: harde house-band 130 dB, opstijgend straalvliegtuig 130 dB, drillboor of cirkelzaag 100 dB, drukke straat 90 dB, rustig kantoor 50 dB en leeszaal circa 30 dB.

Er bestaan ook normen, die de intensiteit van geluid koppelen aan de frequentie en deze combinatie een waarde geven (figuur 14.5). De lijnen, die aldus ontstaan, noemt men Noise Rating curves en hebben een "NR-norm" gelijk aan de bij de lijn vermelde waarde, in de zin dat desbetreffende curve nergens in het spectrum mag worden overschreden. Als men bijvoorbeeld voor een operatie-kamer de NR 30 aanhoudt, mag op de 8 octaaf-punten 125 Hz, 250 Hz etc. de gemeten dB-waarde nergens boven de NR 30-lijn uitkomen. Bij 125 Hz dus ≤ 50 dB, bij 4000 Hz dus ≤ 25 dB. Met behulp van deze curves zijn richtlijnen op te stellen, waarin aangegeven wordt, welke NR-norm als maximale lawaai-belasting moet gelden:

- leeszaal: 25 NR;
- woonkamer: 35 NR;
- kantoor: 50 NR;
- werkplaats: 70 NR.



Figuur 14.5 Noise Rating Curves.

14.2 Geluidsarm ontwerpen

Aanpak van bron, weg en luisteraar

Voor het ontwerpen van geluidsarme producten moet de ontwerper, c.q. installateur, een aantal mogelijkheden in overweging nemen en indien mogelijk toepassen (zie bijvoorbeeld Plaisier, 1985) (in volgorde van prioriteit):

Primaire maatregelen:

- wegnemen van bron;
- reduceren van amplitude of frequentie.

Secundaire maatregelen:

- blokkeren van geluidsweg;
- absorptie in ruimte;
- vergroten afstanden.

Tertiaire maatregelen:

- gebruik maken van gehoorbeschermers.

In werkplaatsen wordt de geluidsoverlast meestal veroorzaakt door machines: machine-lawaai. In de volgende opsomming worden mogelijkheden genoemd ter voorkoming of vermindering van machine-lawaai, die ook enige geldigheid hebben voor gebruiksgoederen, zoals stofzuiger, ijskast, wasmachines en audio-apparaat.

Primaire maatregelen tegen machine-lawaai:

Primaire maatregelen die genomen kunnen worden tegen lawaai zijn:

- vermijd hoge toerentallen;
- goed uitbalanceren van roterende delen;
- glad oppervlak bij rollen en glijden;
- geen hoge stromingssnelheden;

- vermijd op elkaar slaan van harde delen;
- vermijd wervels in stromingen;
- vermijd drukstoten en plotselinge drukwisselingen;
- vermijd grote wrijvingskracht.

Voorbeelden van dergelijke maatregelen zijn:

- drukken in plaats van slaan;
- tandwielpompe in plaats van zuigerpompe;
- elektromotor in plaats van verbrandingsmotor;
- rollen in plaats van glijden.

Secundaire maatregelen tegen lawaai:

Secundaire maatregelen (geluid onderweg omzetten in warmte en/of van richting veranderen) die genomen kunnen worden tegen lawaai zijn:

- Geluidsabsorptie:
 - visceuze wrijving in kanaaltjes;
 - glas;
 - steenwol;
 - gordijn;
 - kunststof schuim (open cellen).
- Geluidsreflectie:
 - geluidsschermwanden;
 - geluidsdijken (bijvoorbeeld langs autoweg).
- Isolatie van lucht- of contactgeluid:
 - tussenwand;
 - vloerkleed;
 - hangvloer;
 - rubber.

Voorbeelden van secundaire maatregelen tegen lawaai zijn:

- Men kan gebruik maken van een omkasting. Hierbij dient goed rekening gehouden te worden met de bereikbaarheid en zichtbaarheid van specifieke machine-onderdelen. Tevens moet er opgelet worden of de warmte voldoende afgevoerd kan worden, of vocht- en/of stofophopingen worden voorkomen en in hoeverre de veiligheid gediend wordt.
- Men kan gebruik maken van een geluiddichte cabine.
- Dak- en wandabsorptie is goed mogelijk en geeft een geluidsreductie van 3 tot 5 dB(A).
- Geluidsschermen: bij 15 kg/m^3 - er is immers massa nodig - geeft dit een vermindering van 5 tot 10 dB(A).

Tertiaire maatregelen tegen lawaai:

Tertiaire maatregelen (afschermen van gehoorzintuig) die tegen lawaai kunnen worden genomen, zijn:

- Oordopjes: voor lawaai beneden de 90 dB(A);

- Oorkappen: voor lawaai met intensiteiten groter of gelijk aan 90 dB(A). Men moet zich echter realiseren dat deze laatste hulpmiddelen gewoonlijk maar 5-10 dB wegnemen. Daar komt bij dat in veel situaties, waar deze beschermingsmiddelen nodig zijn, ze toch niet worden gedragen, omdat ze de communicatie hinderen of er 'zo vreemd' uitzien. Er is ook een vrij algemene weerstand aanwezig tegen het zichtbaar dragen van gehoorapparaten, waar dat toch bij brillen niet het geval is. Verdoofd of doof worden is echter een te hoge prijs voor een 'gemiddeld uiterlijk'.

Begrippen

Lawaai-effecten en vóórkomen:

- k1 adaptatie
- k1 drempelverhoging
- k2 4000 Hz dip
- i1 sociale gevolgen van lawaai
- k2 lawaaidefinities: subjectief ongewenst, communicatie-storend, welbevindenverminderend, drempelverhogend
- k2 activatie en geluid
- k2 norm voor lawaaiblootstelling
- k1 dB(A) waarden
- k1 noise-rating curves (NR-krommen)

Geluidsarm ontwerpen:

- i1 aanpak van bron, weg, luisteraar
- k1 primaire, werktuigkundige maatregelen
- k1 secundaire: absorptie, reflectie, isolatie
- k1 tertiaire: oordopjes en -kappen
- k2 weerstand tegen gehoorbescherming en -verbetering

Vragen en suggesties

- 14.1. Geluiden, die een zekere overbelasting van het gehoororgaan vormen, worden niet altijd als overbelasting ervaren. Hoe komt dit?
- 14.2. In welk frequentiegebied is de kans op het optreden van een gehoorbeschadiging relatief het grootst? Waarom is juist dit frequentiegebied voor het auditieve zintuigstelsel zo belangrijk?
- 14.3. Lawaai zou men kunnen omschrijven als ongewenst geluid of geluids-overlast. In welke vormen (in toenemende mate van ernst) kan men deze overlast nader omschrijven?
- 14.4. Bedenk voorbeelden waar 'gewenst geluid' toch gehoorbeschadigend kan werken.
- 14.5. Tot welke dB-waarde keert de waarnemingsgevoeligheid snel terug naar de aanvankelijke gehoorrens?
- 14.6. Ga na welke vormen van lawaai u de laatste maand heeft ondergaan en of u

daardoor gehinderd werd.

- 14.7. Wat verstaat men onder activatie-niveau en welke rol kan dit niveau spelen in relatie tot de productiviteit?
- 14.8. Is een knal (geluid) schrikwekkender dan een flits (licht)?
- 14.9. Wat verstaat men onder dB(A) waarde en waarom hanteert men deze aanduiding?
- 14.10. Geef globaal aan welke maatregelen men kan nemen voor het wegnemen of beperken van geluidsoverlast.
- 14.11. Er zijn gehoorapparaten, ingebouwd in brillen, die alleen het geluid vanuit de blikrichting versterken. Noem voor- en nadelen.
- 14.12. Probeer na te gaan welke typen van lawaaibronnen in uw dagelijkse leven het luidste (hoeft niet minst gewenste) zijn. Zijn eenvoudige maatregelen daartegen te nemen?
- 14.13. Welke NR-norm zou u aanhouden voor uw studeerkamer? Is dit hoger of lager dan voor de woonkamer?
- 14.14. U heeft als taak een geluidsarme auto te ontwerpen. Welke logische stappen volgt u om dit voor elkaar te krijgen?
- 14.15. Zijn tertiaire maatregelen gewenst bij het ontwerpen van een geluidsarme auto?

15

Het visuele zintuigstelsel

Samenvatting

In de oriëntatie van de mens in de buitenwereld, zowel materieel als sociaal, spelen de zintuigvensters voor het horen en zien een zeer belangrijke rol. De mens ervaart meestal, dat het visuele zintuigstelsel het belangrijkste zintuigstelsel is in alle opzichten. Dat is echter objectief gezien twijfelachtig. Het horen betreft een meer sequentiële, emotionele en sociaal-gerichte waarneming; de visuele waarneming is meer exact, bewust en rationeel en betreft vooreerst parallelle input. De elektromagnetische signalen worden bij het zien gelijktijdig (simultaan) aangeboden en verwerkt. De prikkels worden hierbij in een ruimtelijk patroon gerangschikt. De informatieverwerkingssnelheid van het visuele zintuigstelsel is zeer groot. In dit hoofdstuk worden allerlei aspecten behandeld, die te maken hebben met de bouw en werking van het oog; de werking van achterliggende systemen; verschillende fysiologische processen, die tijdens de prikkelwaarneming optreden en welke resultaten dit oplevert voor de waarnemingskwaliteiten van het oog en van het totale visuele systeem.

Voor het ontwerpen van goede en effectieve vormen en bewegingen van producten is het van belang te weten welke karakteristieken het visuele zintuigstelsel heeft en met welke kwaliteiten en eigenaardigheden men in dit verband rekening dient te houden. Daarbij dient men ook te letten op de grote verschillen tussen individuen en op veranderingen, die hierin plaatsvinden tijdens het ouder worden. Het is tevens van belang inzicht te hebben onder welke verlichtingsomstandigheden het visuele systeem optimaal presteert of welke aanpassingen in het product bij een niet optimale verlichting nodig zijn. Aan het einde van dit hoofdstuk zullen daarom ook enkele algemene richtlijnen gegeven worden voor de verlichting van werkruimten.

15.1 Algemene bouw en werking van het oog

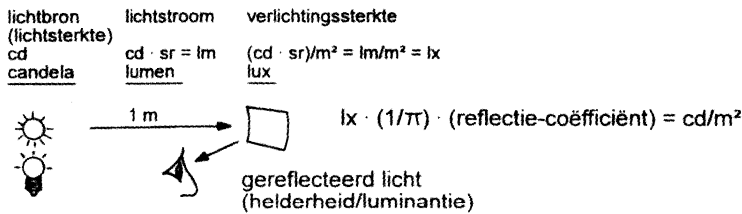
Licht en meeteenheden

De fysische aard van lichtsignalen is elektromagnetisch. Deze elektromagnetische energie is afkomstig van de zon en van kunstlicht en kan door oppervlakken in meer of mindere mate (in allerlei richtingen) gereflecteerd worden. De lichtbron heeft een bepaalde lichtsterkte, welke uitgedrukt wordt in candela (cd) en iets zegt over de hoeveelheid energie, die de bron uitstraalt (figuur 15.1).

De uitgestraalde lichtenergie noemt men lichtstroom, welke wordt uitgedrukt in candela-steradiaal (steradiaal = ruimtehoek), oftewel lumen (lm).

Voor een puntbron van 1 cd bedraagt de totale lichtstroom 4π lm.

Valt er op een oppervlak van 1 m^2 een lichtstroom van 1 lm, dus bijvoorbeeld 1 cd



Figuur 15.1 Elektromagnetische energie en corresponderende grootheden.

over een afstand van één meter, dan is de verlichtingssterkte van dit oppervlak 1 lm/m^2 , oftewel 1 lux (lx). Op een afstand van 2 meter gaat dezelfde lichtstroom (afkomstig van de puntbron) door 4 m^2 en is de verlichtingssterkte aldaar $1 lm/4m^2 = 0,25 lx$.

Voor de lichtsterkte van een oppervlak hanteert men de luminantie (cd/m^2) of ook wel helderheid genaamd. Veelal krijgt de mens visuele informatie aangeboden in de vorm van gereflecteerde lichtenergie. Immers, een krant – in tegenstelling tot een PC-scherm – die men leest, straalt zelf geen licht uit, maar reflecteert het opvallende licht in meer of mindere mate. Dit brengt met zich mee, dat de kwaliteit en intensiteit van de aan het oog aangeboden lichtprikkel voor een groot deel bepaald worden door de mate waarin en de richting waarin het licht door een oppervlak gereflecteerd wordt. De mate waarin dit geschiedt, wordt aangegeven door de reflectiefactor: gamma (γ). Dit is een getal tussen de 0 en 1 en geeft aan welk deel van het opvallende licht gereflecteerd wordt. Soms drukt men de reflectiefactor ook wel uit in procenten (0 - 100). De gereflecteerde hoeveelheid licht (luminantie) bedraagt nu: $\frac{1}{\pi} lx \gamma (cd/m^2)$.

In plaats van de eenheid cd/m^2 wordt ook hier wel gebruik gemaakt van een decibelschaal: $10 \log (I/I_0)$ waarbij de I_0 de visuele onderdrempel is van het aan het donker geadapteerde oog. Een TV-scherm is zo ongeveer 60 dB en wit papier bij gemiddeld leeslicht 70 dB en de zon 130 dB.

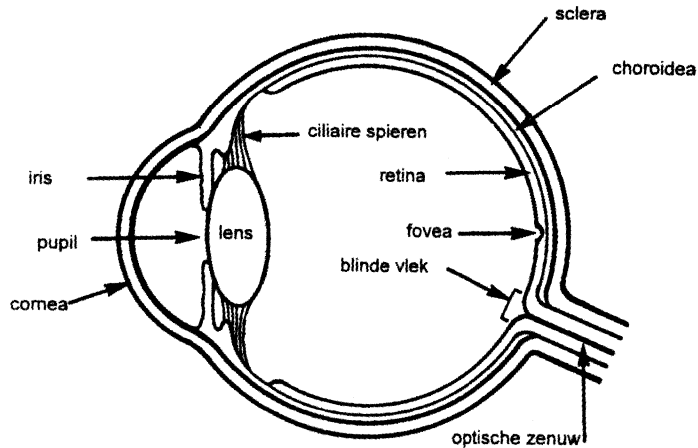
Het oog: bouw en fotonenstroming

Het oog is een bolvormig lichaam van circa 25 mm diameter.

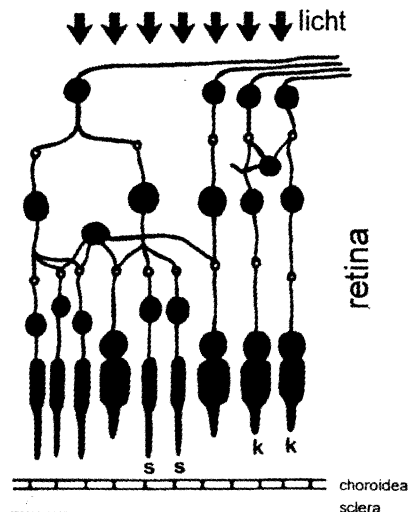
Het is door middel van spieren beweeglijk bevestigd in de oogkas. De oogbol heeft een stevige buitenlaag (oogrok of sclera), die aan de voorkant van het oog overgaat in het transparante hoornvlies (cornea), (zie figuur 15.2). De lichtprikkels (fotonenstromen) komen via het hoornvlies het oog binnen. Het hoornvlies heeft een grote brekingsindex, waardoor men met het oog min of meer achteruit kan kijken (14 graden minus frontale vlak).

Alvorens de fotonen de lens bereiken, gaan ze door een met vloeistof gevulde ruimte (voorste kamer) en passeren door een gat in het regenboogvlies (iris). Dit is een kringvormige spier met een ronde opening in het midden, welke de pupil genoemd wordt. De lens is via de ciliaire spieren bevestigd aan de binnenzijde van de oogbol. De lens heeft een variabele brekingsindex, afhankelijk van de afplatting c.q. bolling van de lens door deze spieren. Als de fotonen door de lens heengegaan

zijn, komen ze in een ruimte (achterste kamer) gevuld met een glasachtige gelei (glasachtig lichaam), om uiteindelijk op het netvlies (de retina) geprojecteerd te worden. In deze retina zitten onder meer grote hoeveelheden lichtgevoelige cellen, de staafjes en kegeltjes (figuur 15.3). De staafjes en kegeltjes dragen zorg voor de vertaling van elektromagnetische signalen naar chemo-elektrische signalen. De grootste waarnemingskwaliteiten heeft de retina in het gebied, dat in het verlengde ligt van de gezichtsas: de fovea centralis. Dit is een klein kuiltje met een diameter kleiner dan 1 mm. De lichtgevoelige zintuigcellen in de retina zijn verbonden met zenuwcellen, die de vertaalde signalen verder transporteren. Neuswaarts van de fovea is er een opening, waardoor bundels zenuwcellen naar buiten lopen in de optische zenuw. Op deze plaats van uittreden zijn geen zintuigcellen aanwezig en kan dus niet waargenomen worden: de blinde vlek.



Figuur 15.2 *Bouw van het oog (bovenaanzicht).*



Figuur 15.3 *De retina: staafjes (S) en kegeltjes (K).*

De pupil

De pupil wordt algemeen beschouwd als lichtregelaar van het oog. Net zoals bij een fotocamera over- en onderbelichting vermeden worden door het regelen van het diafragma, werkt de iris voor het oog. De iris is een kringvormige spier, welke de opening vormt voor het door te laten licht. Deze opening noemt men dus pupil. De diameter van de pupil kan variëren van 2 tot 8 mm en wordt geregeld op basis van de hoeveelheid invallend licht. Is de hoeveelheid invallend licht groot, dan is de diameter klein en vice versa. Dit regelproces geschiedt onbewust en kost wat tijd: van enkele tienden van een seconde tot één seconde: pupilreflex. Na een instelling duurt het enige tijd voor een nieuwe instelling volgt. Deze latentietijd kan oplopen tot 4 seconden. Indien het invallend licht snelle intensiteitswisselingen heeft, kan overbelichting optreden als het oog te traag reageert. Een overeenkomst is te zien met de spiertjes in het middenoor (pag. 304).

De verhouding tussen de kleinste en grootste pupiloppervlakte bedraagt ongeveer 1 : 16. Indien men bedenkt, dat de aangeboden lichtstromen helderheidsvariaties in een grootte-orde van 10^{18} mogelijk zijn, is dit regelbereik van de pupil beperkt te noemen.

De lens

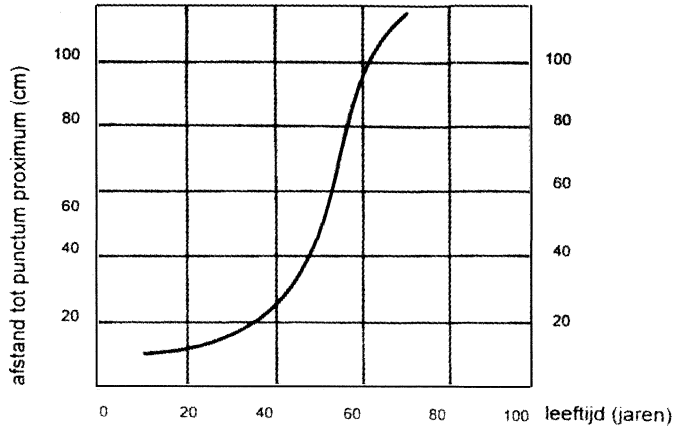
De lens is omgeven door een lenskapsel en bevestigd aan het (ciliair) straallichaam. In dit straallichaam zitten de kringspier en antagonisten, die ervoor zorgen, dat de lens een bollere of plattere vorm krijgt. Hierdoor kan de brandpuntsafstand van de lens zo veranderd worden, dat de invallende lichtsignalen precies op het netvlies geprojecteerd worden. Dit proces noemt men accommoderen. Het dichtst bij het oog liggende punt, dat door de ogen gefocusseerd kan worden, noemt men nabijheidspunt of punctum proximum. Het totale interval, waarover het oog kan focuseren noemt men de accommodatiebreedte.

De lens zelf bestaat uit cellen, die vanuit het centrum zijn uitgegroeid en is verder in lagen opgebouwd. Tijdens het ouder worden wordt de lens steeds groter en verliest voor een deel zijn elasticiteit. Het punctum proximum zal verder van het oog af komen te liggen (zie figuur 15.4), omdat de maximale bolling minder wordt. Tevens treedt een verkleuring op (de lens wordt gelig en troebel). Verschillende kwaliteiten van de lens verminderen hierdoor (presbyopie).

Het netvlies (de retina)

De visuele signalen, die het oog binnenkomen, worden geprojecteerd op de retina en worden vertaald in chemisch-elektrische signalen. Het gaat hier bij jonge, gezonde ogen om een vensterbreedte met een onderdrempel van 380 nm en een bovendrempel van 720 nm en om een vensterhoogte van 10^{-9} tot 10^{+9} cd/m². De retina bevat een groot aantal kleine lichtreceptoren, welke op basis van hun vorm kegeltjes en staafjes genoemd worden. Figuur 15.3 toont een doorsnede van een stukje retina. Opvallend is, dat de verbindingsdraden tussen de receptoren onderling en de verbindingsdraden tussen de receptoren en de zenuwvezels, die

naar de grote optische zenuw gaan, zich in de baan van het licht bevinden en als zodanig de lichtdoorgang enigszins belemmeren.

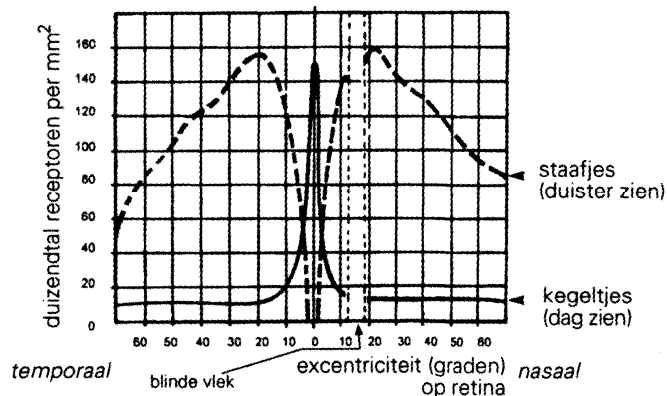


Figuur 15.4 Verandering in het punctum proximum bij het ouder worden.

15.2 Visuele processen

Fotopie en scotopie

Het aantal kegeltjes per oog bedraagt 6 - 7 miljoen en het aantal staafjes ongeveer 125 miljoen. Het is alsof we hier met twee verschillende sub-zintuigen van doen hebben. De kegeltjes, welke voornamelijk in en rond het centrum (de fovea) gedistribueerd zijn, hebben een groot onderscheidend vermogen op de gemiddelde en hogere helderheidsniveaus (dag-zien: fotopie) en kunnen kleur waarnemen. De staafjes daarentegen zijn meer voor schemer-zien (scotopie) en zijn meer gelocaliseerd in de perifere zone van de retina met een maximum dichtheid op 20 graden temporaal (kant van de slaap) van de fovea en 20 graden nasaal (kant van de neus). In figuur 15.5 is deze verdeling van kegeltjes en staafjes gegeven.



Figuur 15.5 Verdeling kegeltjes en staafjes in de retina (horizontale doorsnede, bovenaanzicht, linkeroog).

De staafjes zijn niet kleurgevoelig, maar hebben een zeer hoge gevoeligheid voor de lagere helderheidsniveaus (schemer-zien), zodat hun functie zich voornamelijk richt op het detecteren van zwakke lichtsignalen. Ze zijn verder uit elkaar gerangschikt dan de kegeltjes en dit is één van de redenen waarom het detailonderscheidend vermogen van het staafjes-zien (scotopisch-zien) veel minder precies is dan van het kegeltjes-zien (fotopisch-zien).

Samengevat: Het oog ziet het best centraal (fovea centralis) in helder licht; het detailonderscheid is in de fovea erg groot en kleurenzien is mogelijk. In het donker is het detailonderscheid erg gering en is kleurwaarneming afwezig. Bij donker is de beeldkwaliteit, alhoewel niet scherp, nog het beste, als het beeld op de retina 20 graden van het centrum verwijderd is. Iemand die veel kijkwerk moet doen in het donker weet dat hij beter ziet, als de bliklijn iets naast het te bekijken object gericht wordt. Bijvoorbeeld bij het waarnemen van kleine sterren.

De drie overige visuele processen

In het proces van de visuele waarneming spelen naast de fotopie en scotopie nog drie andere deelprocessen een belangrijke rol: adapteren, accommoderen en convergeren. Een korte omschrijving van deze begrippen luidt:

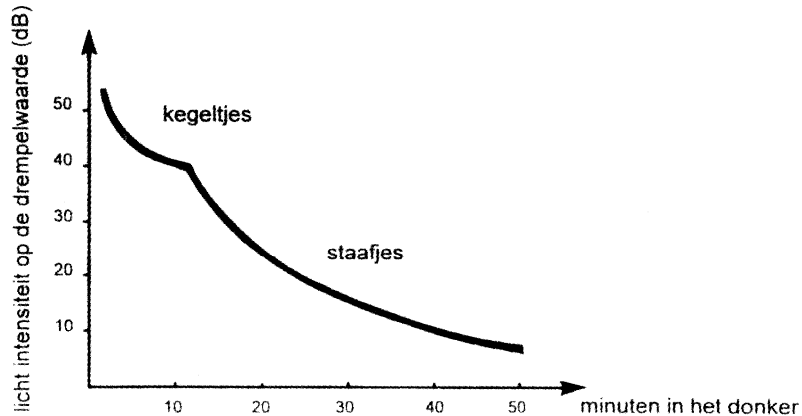
- Adapteren: Het aanpassen van de gevoeligheid van de lichtgevoelige zintuigcellen aan de lichtsterkte van de binnenkomende lichtsignalen.
- Accommoderen: Het in focus zetten van de lens, zodat het (omgekeerde) beeld op de fovea wordt geconcentreerd.
- Convergeren: Het binnenwaarts roteren van de oogassen om met beide ogen eenzelfde punt te fixeren.

Adapteren

Het oog beschikt over de mogelijkheid de (licht)gevoeligheid van de retina aan te passen aan de intensiteit van de binnenkomende lichtsignalen. Dit proces is vrij complex en vindt niet ogenblikkelijk plaats. Men neemt aan, dat het proces in verschillende stappen verloopt. Eén van deze stappen betreft foto-chemische transformaties, waarvan sommige gemeten kunnen worden in minuten, terwijl andere veel sneller plaatsvinden. Als een persoon vanuit een lichtrijke ruimte een donkere ruimte binnengaat, waarin het lichtniveau bijvoorbeeld overeenkomt met dat van sterrenlicht 's avonds, dan hebben de ogen ongeveer 10 tot 30 minuten nodig om zich aan te passen. In sommige gevallen kan een volledige aanpassing wel meer dan één uur duren (zie figuur 15.6). In het omgekeerde geval (van donker naar licht) vindt een snellere adaptatie plaats.

De eerste stap in de curve geeft een adaptatie aan van de kegeltjes, welke in tijd ongeveer 1 tot 10 minuten kost. De discontinuïteit in de grafiek wordt veroorzaakt door het punt, waarop de staafjes zich gaan aanpassen. De getalswaarden in de grafiek zijn enigszins subjectief (persoonsgebonden) en de curve hangt ook van de lichtkleur af: bij rood licht (600 nm) verloopt de curve na het kegeltjesdeel horizontaal op 40 dB; de getekende staafjescurve is die voor licht van violet (400

nm) tot blauw-groen (480 nm). Na het binnentreden in een donkere ruimte ziet men de eerste minuten niets. Daarna worden meestal plotseling vormen en omringende objecten waargenomen. Dit geschiedt op het moment, dat het staafjesmechanisme in werking treedt (zie 'knik' in grafiek van figuur 15.6). Het in een goed verlichte situatie dragen van een bril met rode glazen, ter voorbereiding op een overgang naar een slecht verlichte situatie, bevordert het scotopisch zien (nacht-zien), omdat de staafjes geen gevoeligheid hebben voor rood licht, dus in het donker verkeren en zich op het donker instellen.



Figuur 15.6 Donker-adaptatieproces voor licht van 400–480nm en < 10 dB.

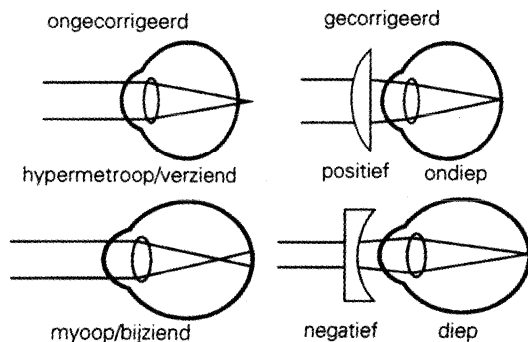
Accommoderen en leesbril

Voor het gedetailleerd waarnemen van objecten en dus hun ruimtelijke patronen (vormen), moet de lichtbundel die het oog binnenkomt, gefocuseerd worden, zodanig dat het beeld scherp op het netvlies geprojecteerd wordt. Het gaat hier hoofdzakelijk om een scherpe projectie van het beeld op de fovea, omdat daar de waarnemingskwaliteiten van het oog het grootst zijn. Dit focuseren geschiedt door de lens. Zoals reeds vermeld is, kan het oog door middel van spiercontracties in de lensspieren de lens boller en platter maken en dientengevolge de brandpuntsafstand van de lens over een zeker gebied (10 tot 600 cm) variëren. Alleen bij kijkafstanden kleiner dan 600 cm vindt een accommodatie plaats. Bij grotere afstanden wordt de platte lensstand aangehouden. Het dichtst bij het oog gelegen punt, dat nog scherp op het netvlies geprojecteerd kan worden, noemt men dus nabijheidspunt of punctum proximum (proximaal is dichtbij). Voor jonge mensen ligt dit punt op ongeveer 10 cm afstand van het oog. Omdat de elasticiteit van het lensweefsel tijdens het ouder worden afneemt (lensverstarring of presbyopie), ligt dit nabijheidspunt voor oudere mensen aanmerkelijk verder van het oog af dan voor jonge mensen (zie figuur 15.4). Indien deze afstand grotere waarden gaat aannemen, zal de krant bij het lezen steeds verder van de ogen afgehouden moeten worden om een scherpe retinale projectie te verkrijgen. “Mijn ogen zijn nog goed, maar m’n armen zijn te kort!” Een correctie blijkt dan vaak nodig in de vorm van een leesbril.

Verziendheid en bijziendheid

Bij sommige mensen blijkt de oogaslengte niet te corresponderen met de brekings eigenschappen van de lens. Indien de oogaslengte te klein is, valt het gefocusseerde beeld achter de retina en kunnen deze mensen niet scherpe vormen en contouren zien. Men noemt dit verziend (hypermetroop). Men kan deze afwijking corrigeren door gebruik te maken van bril met positieve lenzen (zie figuur 15.7). Dus: ondiep, verziend, hypermetroop, positieve lens, (ovhp).

Indien de oogaslengte te lang is, valt het gefocusseerde beeld voor de retina en kunnen ook deze mensen niet goed zien. Men noemt dit bijziend (myoop). Deze afwijking kan gecorrigeerd worden door een bril met negatieve lenzen (figuur 15.7). Dus: te diep, bijziend, myoop, negatieve lens, (dbmn).



Figuur 15.7 Corrigerende lenzen voor verziendheid en bijziendheid.

Onderzoek door de A.N.W.B. toont herhaaldelijk aan dat desalniettemin onder bril dragers 9% geen scherp beeld van de weg en het verkeer heeft en bij niet-bril dragers blijkt dat bij 10% het geval. Bij de jongere leeftijdsgroepen treedt het onscherp zien in minder dan 9% op, doch boven de 70 jaar wordt dit al één vijfde tot één derde van de leeftijdsgroep.

Een aspect, waar men vooral bij het ontwerpen van visuele taken ook rekening mee moet houden, is dat lichtsignalen met verschillende golflengten op een verschillende wijze door de lens gebroken worden. Verderop in dit hoofdstuk zal hier nader op ingegaan worden.

Convergeren

De ogen kunnen (binnenwaarts) roteren, met als doel de optische assen van de ogen in een bepaald fixatiepunt te laten snijden. Dit roteren noemt men convergeren.

Nadat een snijpunt van de oogassen (fixatiepunt) gekozen is, worden de binnenkomende lichtbundels gefocusseerd om een scherpe projectie op het netvlies te realiseren. De projecties op de retina in de ogen afzonderlijk zijn niet gelijk, maar worden door de waarnemer toch als één (ruimtelijk) beeld ervaren.

Dit veronderstelt het plaatsvinden van functionele integratie tussen beide ogen. In het hoofdstukonderdeel 'diepte-zien' zal hier nader op ingegaan worden.

15.3 Visuele waarnemingskwaliteiten

Camera of cortex?

De waarnemingskwaliteiten van het oog zelf zijn niet zo geweldig. Van de fotonenbundel, die aan het oog aangeboden wordt, bereikt slechts een gedeelte de

retina. Een groot gedeelte gaat namelijk verloren, doordat bepaalde delen van het oog het licht terugkaatsen, verstrooien en/of absorberen. Dit betekent, dat het uiteindelijk gevormde beeldpatroon op de retina vage contouren heeft en er geen scherpe ‘verblekingspatronen’ in de retinacellen te onderscheiden zijn. Toch blijkt de mens met het totale visuele systeem scherpe contouren, velerlei kleurdetails en allerlei nuances in helderheid waar te nemen. Deze constatering onderstreept het feit, dat de mens vooral ‘ziet met het achterhoofd’ (occipitale hersenschors, ofwel visuele cortex) (figuur 12.10) en met de visuele geheugens. Het armelijk beeld in de retina wordt in verschillende stappen opgewerkt door de ‘processing’ onderweg naar en in het achterhoofd. De hersenmassa, waarmee de mens ter wereld komt, wordt in het leven gevuld met allerlei informatie (I-stromen). Bij elk individu geschiedt dit op een eigen manier. Zo draagt de inhoud van die opslag individuele kenmerken. De werkzaamheid van het achterhoofd bij het zien leidt dus dan ook tot individuele manieren van kijken. Vandaar dat elk mens op een eigen manier beelden visueel interpreteert. Bij eenzelfde prikkeling, objectief gezien, zal een grote kans aanwezig zijn dat twee individuen niet precies hetzelfde waarnemen.

Het leren zien

Bij de geboorte zijn de waarnemingskwaliteiten in aanleg aanwezig. De mens zal deze kwaliteiten moeten ontwikkelen om het visuele waarnemen mogelijk te maken. Hij moet elk object leren zien als een patroon, c.q. als een typerende verzameling van kenmerken, die bij elkaar plegen te horen. Indien een stoel bekeken wordt, zal de waarnemer de stoel als een vormobject waarnemen en heeft hij/zij daar geen enkele moeite mee. Het visuele systeem kan dit echter pas dan, nadat een leerproces dit mogelijk gemaakt heeft. Met andere woorden, de waarneming is niet zo natuurlijk of vanzelfsprekend, als de waarnemer denkt dat zij is. De waarnemingskwaliteiten in aanleg vertonen in de eerste kinderjaren een sterke ontwikkeling, waarbij tactiele waarnemingen een belangrijke rol meespelen (aanraken, betasten, manipuleren). In het resultaat van de waarneming spelen, zoals reeds aangegeven is, ook individuele aspecten een rol. Het gaat hier onder meer om de interpretatie van het waargenomene, zoals deze door de desbetreffende persoon gehanteerd wordt op basis van de inhoud van de geheugens en van interesses, behoeften en verlangens. Bij het aanschouwen van een schaakstelling op een schaakbord zal het ene individu het geheel waarnemen als een samenraapsel van zwarte en witte poppetjes op een zwart-wit geblokt vlak, terwijl het andere individu een stelling waarneemt, waarbij bijvoorbeeld zwart in drie zetten mat staat. Getuigenverklaringen over verkeersongevallen kunnen elkaar dus tegenspreken zonder dat er sprake is van bewuste vervalsing. Wat de één ziet aan een gebruiksvoorwerp, hoeft de ander niet te zien. Dit is mede de verklaring voor de grote inter- en intra-individuele s^2 in mens-product interactie.

Indeling van visuele waarnemingskwaliteiten

De visuele waarnemingskwaliteiten zijn in te delen in primaire kwaliteiten van

visuele perceptie en in afgeleide kwaliteiten van objecten in het visuele veld.

De primaire waarnemingskwaliteiten zijn:

- gezichtsscherpte,
- kleurgevoeligheid,
- helderheidswaarneming.

De afgeleide waarnemingskwaliteiten zijn:

- vorm,
- diepte,
- kleur,
- beweging,
- grootte.

Gezichtsscherpte

Met de gezichtsscherpte (of visus) wordt bedoeld de capaciteit van het visuele systeem om fijne details te onderscheiden (scheidend of oplossend vermogen, beeldresolutie). Het gaat hier dus om een vaardigheid van het oog om ruimtelijke patronen van helderheidsverschillen als zodanig waar te nemen en een totaalvorm te herkennen. De visus wordt uitgedrukt in een getal, dat ongeveer overeenkomt met 1 gedeeld door het aantal boogminuten van de kleinste, correct herkende opening van de Landolt-ring (C-vorm in 4 oriëntaties) op de optotype-kaart. Bij visus 1 kan men op 3 m afstand een opening van 1 mm in een zwarte lijn op een witvlak (1 boogminuut) onderscheiden, ofwel 2 mm op 6 m afstand. Bij visus 2 betreft het 0,5 boogminuut, 0,5 mm op 3 m en 1 mm op 6 m. Voor visuele hoeken tot aan 10 booggraden kan men de volgende formule gebruiken:

$$\text{Gezichtshoek} = (3438 \cdot H) : A$$

waarbij H de hoogte van het waar te nemen detail is, en A de afstand van het oog tot het detail. Deze worden beide uitgedrukt in mm.

Bij een normale visus van 1 kan dus een detail met een gezichtshoek van 1 boogminuut nog net worden onderscheiden. Bij belettering van gebruiksvoorwerpen houdt men daar dus rekening mee. Bij gebruikers met een afwijkende visus moet dit dus door het dragen van de juiste bril of contactlenzen op 1 zijn gebracht.

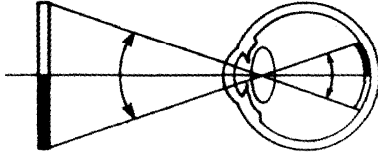
Factoren van de waarneembaarheid

Factoren, die, gegeven de individuele gezichtsscherpte, de visuele waarneembaarheid direct beïnvloeden, zijn:

- grootte beeldhoek,
- luminantie/helderheid,
- helderheidscontrast,
- tijdsduur van waarneming,
- snelheid van beweging,
- excentriciteit.

Tevens kunnen aspecten zoals schittering en flikkering genoemd worden, maar dit zijn verstoringen.

Grootte beeldhoek



Figuur 15.8 Beeldhoek.

Voor de gezichtsscherpte is niet de grootte van het waar te nemen object van belang, maar de beeldhoek met welke het object gezien wordt (zie figuur 15.8). Vandaar dat ergonomische normen voor zichtbaarheid in booggraden of milli-radialen (1 booggraad = 17,5 mrad) worden uitgedrukt. Visus 0,5 en 1

en 2 corresponderen dus respectievelijk met 0,6 en 0,3 en 0,15 mrad. (1 boogminuut = 0,3 mrad = visus 1).

Helderheid

De helderheid van een waar te nemen object is de hoeveelheid licht (cd/m^2), die het object uitstraalt en/of reflecteert naar het oog toe. De gezichtsscherpte neemt toe naarmate de helderheid toeneemt (voor de zeer hoge helderheden geldt dit niet meer).

Helderheidscontrast

Het visuele systeem heeft een gevoeligheid voor tegenstellingen c.q. verhoudingen in helderheid: helderheidscontrasten. Indien de helderheidscontrasten puntsgewijs aaneensluiten, worden lijnen waargenomen en als die lijnen grenzen zijn van gebieden met onderling helderheidscontrast, spreekt men van contouren. Een soortgelijke redenering geldt voor kleurencontrast. In de voor het venster normale werkgebieden geldt, dat als de totale hoeveelheid licht toeneemt, ook deze contrast-gevoeligheid groter wordt.

Tijdsduur van waarneming

Het zien gebeurt niet ogenblikkelijk. Het elektro-chemisch proces, dat in de retina plaatsvindt, vergt enige tijd. Ook voor de processen accommoderen en convergeren is enige tijd nodig. Het visuele signaal moet enige tijd aangeboden worden, om goede gezichtsscherpte, helderheid- en kleuronderscheid mogelijk te maken. In de regel worden enigermate complexe, nieuwe afbeeldingen bij een expositieduur kleiner of gelijk aan 0,1 seconde niet meer goed waargenomen.

Snelheid van beweging

Voor het duidelijk en correct waarnemen van visuele stimuli moeten deze een niet te grote bewegingssnelheid hebben. Deze factor staat in verband met voornoemde factor tijdsduur en de beperkte mogelijkheid van de oogbollen een bewegend object goed te volgen of om de snelheid van de verschuiving van het beeld over de retina-cellen juist te interpreteren naar richting en snelheid.

Excentriciteit

De gezichtsscherpte is niet voor alle plaatsen in de retina gelijk. Er zit een verloop in. In het kuiltje in de retina – de fovea centralis – zijn de waarnemingskwaliteiten met betrekking tot het dag-zien het grootst. Elke kegel heeft hier een eigen zenuwbaan; elders delen sensorcellen een zenuwbaan. De prestaties op het gebied van de gezichtsscherpte zijn in de fovea dan ook superieur. Het verloop van de gezichtsscherpte-kwaliteiten als functie van de plaats in de retina is in een grafiek weer te geven (zie figuur 15.5). In deze grafiek wordt het verloop van de gezichtsscherpte geschetst voor zowel de staafjes als de kegeltjes als functie van hun dichtheid.

De gezichtsscherpte van de staafjes is beduidend minder dan die van de kegeltjes. Het verloop in de gezichtsscherpte van de staafjes geeft maximum waarden aan op ongeveer 20 graden temporaal en 20 graden nasaal. Dit verklaart, zoals ook eerder uitgelegd, waarom 's nachts een zwak lichtpunt beter waargenomen wordt, als men er iets naast kijkt.

15.4 Het waarnemen van kleur, helderheid, diepte en beweging

Kleurgevoeligheid door drie typen kegeltjes

De kleurwaarneming geschiedt door de kleurreceptoren die dus 'kegeltjes' genoemd worden. In de retina zijn drie soorten kegeltjes aanwezig, elk met een eigen spectrale gevoeligheid door eigen verblekende stoffen:

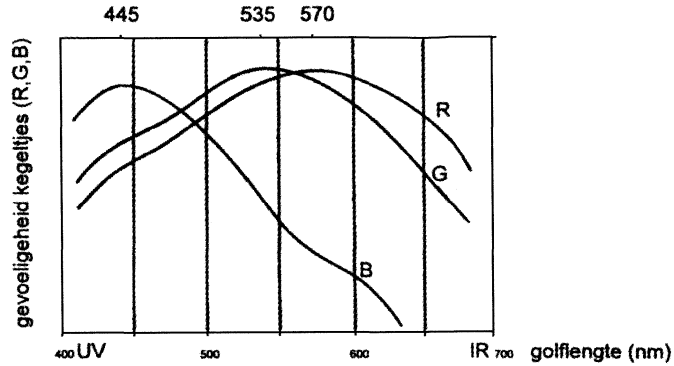
- de 'rood'-gevoelige kegeltjes met een optimum gevoeligheid voor 570 nm, de langere golflengte naast infra-rood (IR);
- de 'groen'-gevoelige kegeltjes met een optimum gevoeligheid voor 535 nm;
- de 'blauw'-gevoelige kegeltjes met een optimum gevoeligheid voor 445 nm, kortere golflengten naast ultra-violet (UV).

In figuur 15.9 zijn de spectrale gevoeligheden van deze kegeltjes getekend. Uit deze figuur blijkt, dat bijvoorbeeld rood-gevoelige kegeltjes niet alleen gevoelig zijn voor lichtsignalen met golflengten uit het rode deel van het spectrum, maar slechts dat voor dit gebied de grootste gevoeligheid aanwezig is. Evenzo geldt dit ongeveer voor beide andere kegeltjessoorten.

De mate, waarin de drie typen kleurreceptoren geprikkeld worden (verbleken van golflengte-gevoelige stoffen) en de verhouding waarin dit gebeurt, bepalen de kleurgewaarwording. Het kleurvlak, dat bekeken wordt, moet een minimale grootte hebben om de kleur te kunnen waarnemen (minimaal 0,5 booggraad ofwel 8 mrad kijkhoek). Let dus op de grootte van kleurvlakjes bij het ontwerpen van letters en figuren van beeldschermpagina's.

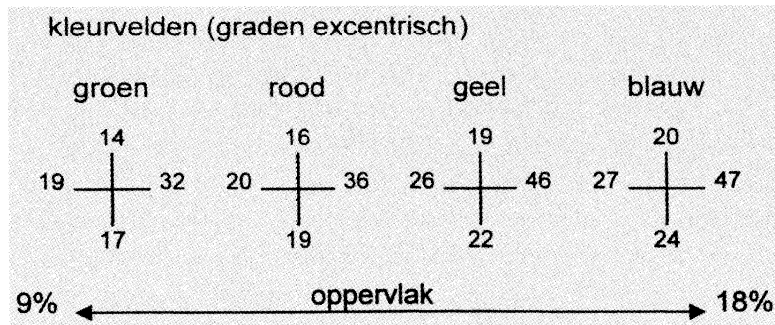
Kleurvelden

De kleurreceptoren zijn niet in gelijke mate verdeeld over het netvlies. Men kan in het oog dientengevolge ook verschillende kleurvelden onderscheiden. In figuur



Figuur 15.9 Spectrale gevoeligheid van de kegeltjes (R = rood, G = groen, B = blauw) met een gemeenschappelijk optimum bij 560 nm; 3 curves op verschillende schaal.

15.10 zijn deze kleurvelden aangegeven. Opvallend hierbij is, dat ongeveer slechts 18% van het gezichtsveld (in en rond de fovea) in staat is kleur te onderscheiden. Voor goede vormonderscheiding is dit nog veel minder, namelijk ongeveer 1%. Het kwalitatief goed waarnemen van vorm en kleur geschiedt dus via een smalle bundel. We zijn ons er echter niet van bewust dat we bijvoorbeeld van een gebruiksvoorwerp meestal maar een klein plekje per oogfixatie goed waarnemen en dat dan de rest vaag en grijsig is. Door aftasten met de blik en door het voorwerp te leren kennen hebben we van de beperktheid van deze vensterbundel gewoonlijk weinig last. Twee groene stippen verliezen echter kleur als ze worden waargenomen in één blik onder een kijkhoek van meer dan 31 booggraden. Hun kleur kan dus niet tegelijkertijd herkend worden.



Figuur 15.10 Kleurvelden van het oog, volgens H. Schober (1970).

'Kleurenblindheid'

Omdat drie typen van kleurreceptoren in het kleurwaarnemingsproces betrokken zijn, noemt men dit wel tri-chromatisch. Als één of meer van de drie typen kleurreceptoren niet of niet voldoende functioneren, dan spreekt men van kleurenzwakte of kleurenblindheid. De meest voorkomende vorm van kleurenblindheid is dichromatisch (rood-groen kleurenzwakte) en in iets mindere mate blauw-geel kleurenblindheid. Is de persoon totaal kleurenblind (monochromatisch),

wat echter hoogst zelden voorkomt, dan worden alleen zwart, wit en grijs tinten waargenomen. In totaal heeft ongeveer 8% van de mannen en 0,5% van de vrouwen een afwijking in de kleurwaarneming. Die afwijking wordt gewoonlijk via de vrouwelijke lijn overgedragen.

Golflengte en breking

De kleur van het waargenomen licht wordt voornamelijk bepaald door de golflengte van het licht. Lichtsignalen met verschillende golflengten worden door een medium met een bepaalde brekingsindex niet met dezelfde sterkte gebroken. Vandaar dat kleuren-stimuli (verschillende golflengten), welke in een voorwerpsvlak liggen, door het oog nooit tegelijk op de retina geprojecteerd kunnen worden en dus niet scherp gezien worden. Vooral als de golflengten van de stimuli grote verschillen vertonen (bijvoorbeeld rood en blauw) is dit duidelijk waarneembaar in de grenslijn tussen de twee kleurvlakken. Dit contrast kan visueel vermoeien. Tevens is het zo, dat kortgolvig licht (bijvoorbeeld violette stimuli) niet meer exact geprojecteerd kunnen worden op de retina bij kijkafstanden groter dan 1 meter en langgolvig licht (bijvoorbeeld rode stimuli) niet meer op afstanden kleiner dan 0,5 meter. Men zal derhalve in kranten en leesboeken teksten in rode letters moeten vermijden en op verkeersborden violette letters.

Helderheid en contrast van kleuren

Helderheidsniveaus en kleurcontrasten zijn belangrijke en invloedrijke factoren in de kleurwaarneming. Voor het waarnemen van kleuren is een minimaal helderheidsniveau nodig. Bij zeer grote helderheidsniveaus blijkt de kleur in de waarneming vaak te verbleken. Ook de golflengten van het opvallende licht bepalen tezamen met het pigment van het oppervlak, dat selectief die golflengten weerkaatst, welke kleur van het oppervlak wordt waargenomen. Kleurcontrasten hebben soms een grote invloed op de kleurwaarneming. Indien verschillende kleurvlakken naast elkaar geplaatst worden, blijkt een overstraling plaats te vinden en wordt een kleur anders waargenomen dan bij afwezigheid van de omringende kleurvlakken het geval zou zijn. Ook worden hierbij soms kleuren waargenomen, die er niet zijn. Van het hoe en waarom van deze verschijnselen is nog niet zoveel bekend. Hoofdstuk 16 zal de praktijk van de kleurwaarneming verder behandelen.

Helderheidswaarneming

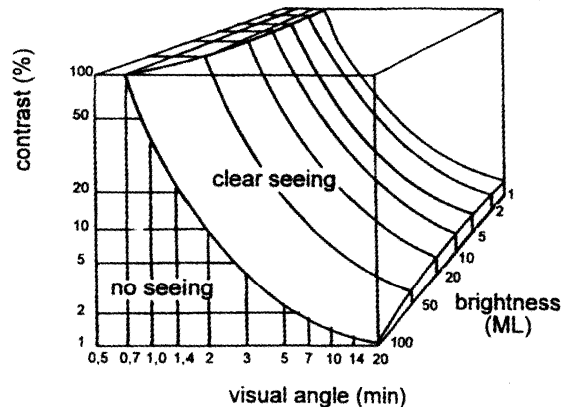
De helderheidswaarneming heeft betrekking op de hoogte van het venster en loopt van 10^{-9} cd/m² tot 10^{+9} cd/m². Het gaat hier om de waarneming van de hoeveelheid licht, die op de retina valt (intensiteit). De maximale gevoeligheid voor helderheidswaarneming heeft het venster voor lichtprikkel met golflengten rond de 560 nm (geel-groen licht). Het goede werkgebied (zie hoofdstuk 16) kan echter wel ruimer worden genoemd van 450 tot 600 nm (figuur 12.11).

Het discriminatievermogen van het oog wordt uitgedrukt in $\Delta I/I$ en heeft ongeveer als beste prestatie de waarde 0,05. De kijkhoek moet hiervoor minstens 1 boog-

seconde bedragen.

Vergelijkenderwijs en simultaan kan het oog ongeveer 500 helderheden onderscheiden; bij opeenvolgende waarnemingen (absoluut onderscheidingsvermogen) echter slechts 3 - 5.

Woodson (1981) hanteert voor het zien van een object als drie hoofdparameters het helderheidscontrast, de kijkhoek en de helderheid en heeft hiervoor een driedimensionale grafiek opgesteld, zoals getekend is in figuur 15.11.



Figuur 15.11 Het zien/niet-zien van een object (Woodson, 1981), waarin: ML = millilambert = mlm.cm^{-2} ; min = boogminuut.

Diepte-zien, ruimte en afstanden

Objecten worden waargenomen met twee ogen, waarbij de kijkbeelden een zekere overlapping hebben. De vertaling van deze beelden door achterliggende optische zenuwsystemen geven de waarnemer de indruk, dat het om één beeld gaat en wel een ruimtelijk beeld. De waarnemer kan in dit beeld een diepte waarnemen en afstanden tot zichzelf bepalen: diepte-zien. Men noemt dit ook wel stereoscopie. Tot op zekere hoogte kan ook met één oog diepte worden gezien. Het diepte-zien betreft een complex samengestelde problematiek.

Zoals reeds eerder aangegeven is met betrekking tot de waarnemingskwaliteiten, gaat het hier ook om een kwaliteit, welke in aanleg aanwezig is, maar in de tijd geleerd en ontwikkeld moet worden. Iemand, die bijvoorbeeld tot zijn 30e jaar blind is geweest en plots door een operatieve ingreep de mogelijkheid krijgt om te zien, zal niet weten wat dieptewaarneming is en zal dit moeten leren.

Verschillende factoren, die te maken hebben met het diepte-zien, zullen achtereenvolgens kort besproken worden.

Dispariteit

Het object wordt met twee ogen en dus vanuit twee lichtelijk verschillende invalshoeken bekeken. De retina-beelden zijn niet gelijk. Dit noemt men dispariteit. Naarmate de kijkafstand kleiner is, zal de dispariteit groter zijn. Op basis van de

verschillen in dispariteitgrootte kan diepte worden waargenomen in het traject vanaf het punctum proximum tot ongeveer 6 m.

Convergentie

Om de oogassen op een bepaald punt te laten snijden, worden de ogen naar binnen of naar buiten geroteerd, al naar gelang de afstand tussen kijkobject en ogen. De somesthesie/kinesthesie (figuur 12.8) van de grootte van de rotatie/draaiing van de oogassen en dus van de stand en spanning van de oogspieren kan een indicatie geven over de diepte tot op enkele meters.

Accommodatie

Het contraheren van de kringspieren van de lens is nodig om de invallende lichtsignalen scherp op het netvlies te projecteren. De somesthesie van de mate van contractie geeft enige indruk van de diepte (deze en voorgaande twee werken dus slechts tot op enkele meters).

Gekende objectgrootte

Bij het aanschouwen van een manspersoon op grote afstand wordt hij niet als dwerg waargenomen, maar als een manspersoon op grote afstand. Doordat de grootte van het kijkobject min of meer bekend is, kan uit de grootte van de beeldhoek de afstand globaal geschat worden.

Bewegingsparallax

De beelden van verafgelegen, bewegende objecten verplaatsen zich langzamer over het netvlies dan die van dichtbijgelegen, bewegende objecten (met dezelfde snelheid).

Schaduw

Bij de aanwezigheid van schaduw kan vaak iets afgeleid worden met betrekking tot de ruimtelijke configuratie.

Textuurgradiënten

Men kijkt bij het betreden van het pad naar het grind. Vlakbij ziet men de afzonderlijke stenen nog, maar verderop niet meer. Eenzelfde effect ziet men bij een bloembollenveld. De regelmatige opbouw en oppervlakteverschillen (textuur) laten verderaf een afnemend (gradiënt) detailonderscheid toe.

Overlapping

Indien in het kijkbeeld een object deels voor een ander object staat en het eerste het tweede dus overlapt, kan een diepte afgeleid worden.

Interpositie

Op basis van de tussenruimte tussen voorwerpen kan de waarnemer schatten om welke afstanden het gaat.

Perspectief

Voorwerpen die gezien worden hebben, naarmate delen ervan verderaf zijn, een perspectivische vertekening (bijv. een trapezoïde grid van bollenvelden).

Luchtverblauwing

Lucht is geen perfect transparant gas en geeft op grote afstand een blauwe indruk. Verder weg liggende bergen zijn blauwer. Ook indien in de lucht veel stofdeeltjes of verontreinigingen aanwezig zijn, ervaart de waarnemer de afstand van een object tot het oog groter, dan bij heldere lucht het geval is.

Vormwaarneming

In de buitenwereld is een geheel aan helderheid- en kleurverschillen aanwezig. De contrasten in kleur en helderheid vormen een ruimtelijk patroon, dat tot ruimtelijke relaties, objectvormen en onderdeelvormen herleid kan worden. De vorm van een object is te beschouwen als een groot aantal aaneensluitende helderheden (en kleuren), die een totaalbeeld vormen. Daar het waarnemen van vormen in sterke mate bepaald wordt door de kwaliteiten van helderheidswaarneming, gezichtscherpte, kleurwaarneming en diepte-zien, is het vanzelfsprekend dat de beste prikkelverwerking voor de vormwaarneming kan geschieden door dat deel van de retina, waarvoor deze kwaliteiten de beste prestaties leveren: de fovea. Voor het waarnemen van vormen is echter een actief en individueel leerproces nodig en worden belangrijke delen van het visuele systeem door ervaring geprogrammeerd. Het volgende hoofdstuk zal verder ingaan op de waarneming van vormen en patronen in de praktijk.

Grootte-waarneming

De grootte van (onderdelen van) een voorwerp en de vorm hebben vaak met elkaar te maken. Objecten van een bepaalde schaal vertonen vaak ook typerende vormverhoudingen. Het oog kan deze karakteristieken van een object min of meer afzonderlijk waarnemen. De grootte van een object voor de waarnemer wordt onder meer bepaald door de beeldhoek van een totaal van aaneensluitende helderheden (en kleuren) in combinatie met de interpretatie van het visuele systeem van de afstand van object tot aan oog (diepte-zien). De aspecten, op basis waarvan deze interpretatie plaatsvindt, zijn in het onderdeel diepte-zien reeds aan de orde gekomen.

De visuele perceptie van beweging

Beweging van objecten kan op twee manieren worden waargenomen. Ten eerste door met de ogen het object te volgen (een voorbeeld van volgsturing: tracking). Meestal zal hierbij getracht worden de beeldprojectie in de fovea, dus op dezelfde plek, te houden. De richting en snelheid kunnen worden afgeleid uit de beeldveranderingen, die optreden (object ten opzichte van omgeving) en uit de contracties van de oogbolspieren.

In het tweede geval beweegt het oog niet, waardoor de projectie van het beeld zich verplaatst over de retina. De retinale celprikkeling (volgorde, richting en snelheid) geeft een indicatie over de snelheid en richting van de objectbeweging.

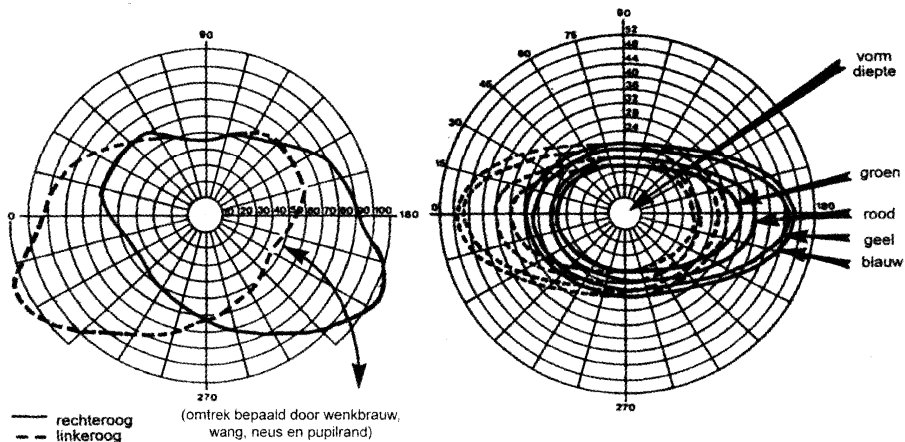
Meestal spelen bij het waarnemen van bewegingen (vooral trage bewegingen) de kijkomstandigheden en referentiepunten een rol. Indien men een grote (analoge) klok zonder schaalmarkeringen aandachtig bekijkt, zal een beweging van zelfs de grote wijzer moeilijk waarneembaar zijn. In het geval, dat schaalmarkeringen aanwezig zijn, blijkt de wijzerbeweging gemakkelijker waarneembaar.

15.5 Blickvelden

Oogvelden

Tijdens het kijken naar iets ervaart men veelal een bont patroon van allerlei vormen en kleuren in het totale blikveld. Toch gelden verschillende waarnemingskwaliteiten van het venster slechts voor een beperkt deel van het venster, zoals al werd aangegeven bij de behandeling van de visuele kleurvelden (figuur 15.10). Doordat het oog veelvuldig de kijkrichting en aandachtsbundel wijzigt, krijgt de waarnemer de indruk dat hij het totaal aan kleuren, vormen en contrasten in het gehele blikveld volledig en nauwkeurig waarneemt. Dit is dus niet het geval.

In figuur 15.12 is aangegeven in welke gebieden van de retina's de verschillende kwaliteiten gelden.



Figuur 15.12 Globale aanduiding in booggraden van visuele (kleur-)velden, één- en twee-ogig.

Visuele kleur

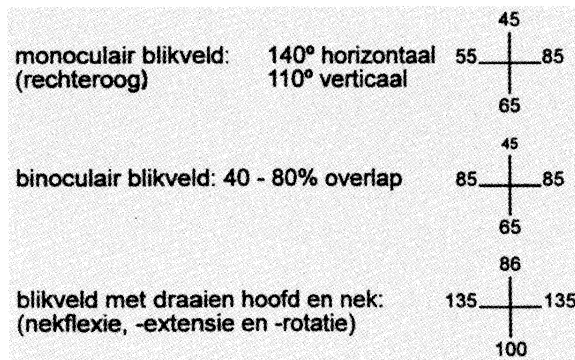
Enkele opmerkingen bij deze schema's:

- de bliklijn valt samen met de fovea en bij twee-ogig (binoculair) zien dus met beide fovea's (denk aan convergeren);
- de wenkbrauw, neus, wang en pupilrand bepalen de begrenzing van het blikveld;

- het betreft hier een projectie op een plat vlak vanuit concave retinavelden.

Oogbewegingsveld en hoofdbewegingsveld

Indien de ogen in eenzelfde stand gehouden worden, spreekt men van het statisch blikveld (monoculair: met één oog, of binoculair: twee-ogig). Door de ogen in hun kassen te draaien kan het blikveld dynamisch worden verlegd. Dit noemt men het dynamisch blikveld. Door het draaien en knikken van hoofd en nek kan een nog wijdere omgeving bekeken worden. Globale schattingen leveren dan begrenzingsen op voor de z- en y-as van gemiddelde blikvelden. Deze zijn in figuur 15.13 weergegeven.



Figuur 15.13 Begrenzingsen van gemiddelde blikvelden in graden (globale schatting, voor de Z- en Y-as).

Door verplaatsen van het gehele lichaam kunnen de blikvelden in principe overall op gericht worden indien er geen visuele obstakels zijn.

Verouderingsverschijnselen (presbyopie)

Naarmate men ouder wordt, blijken verschillende kwaliteiten van het visuele zintuigstelsel te veranderen, zoals uit het voorafgaande bleek. Vatten we dit nog eens samen:

- Het blikveld wordt kleiner;
- Het nabijheidspunt oftewel punctum proximum zal verder van het oog af komen te liggen (leesbril);
- De gezichtsscherpte (gevoeligheid) neemt af, waardoor een hoger verlichtingsniveau nodig is om taken goed te kunnen uitvoeren. In de praktijk blijkt vaak, dat vooral bij gewend productgebruik de opgedane ervaring een laag verlichtingsniveau voldoende kan compenseren. In en om huis verdient het bewerkstelligen van een hoger verlichtingsniveau de eerste aandacht: doorgangen, trappen, etcetera (Molenbroek et al., 1984);
- De kleurgevoeligheid (met name blauwgevoeligheid) neemt af;
- De adaptatietijd neemt toe;
- De absolute drempelwaarde bij het nacht-zien wordt hoger;
- Sterke lichthelderheden en reflecties hinderen oudere mensen sneller en

langer dan jongere mensen; ouderen worden dus eerder en langduriger verblind;

- De reactiesnelheid op visuele prikkels neemt af en de reactie tijd neigt groter dan 0,25 s te worden.

Zowel voor het ontwerpen van werktaken, maar vooral voor het ontwerpen van de mens-product interactie van gebruiksvoorwerpen, vervoerssituaties en woning-inrichtingen moet de ontwerper met deze veranderingen rekening houden en trachten te streven naar het bereiken van een optimaal niveau in gebruikscomfort en gebruiksveiligheid (zie Steenbeekers en Van Beijsterveldt, 1998).

15.6 Verlichting

Normering

In deze paragraaf zullen kort enkele aspecten behandeld worden, die de aandacht verdienen met betrekking tot de verlichting in werkruimten. Er bestaan diverse normen, zoals de NEN 1890 en ISO 8995, welke aangeven, hoeveel lux nodig is voor bepaalde (visueel-manipulatieve) taken en situaties.

Hierbij wordt voor de taken een klasse-indeling gehanteerd op basis van de 'fijnheid' van het werk, met andere woorden welk detailonderscheid gemaakt moet kunnen worden (zie figuur 15.14).

In die norm worden tevens de kleureigenschappen van lichtbronnen voorgeschreven.

Door de tijd heen heeft men in de praktijk voor de verlichting steeds grotere lux-waarden genomen, in de veronderstelling dat een grotere lichtzee in een homogene lichtverdeling een ideale oplossing zou zijn.

Men is daar echter van teruggekomen om verschillende redenen:

- hoge kosten van aanschaf en energieverbruik,
- koelingsproblemen (overmatige warmteproductie),
- hoge, homogeen verdeelde lichtniveaus veroorzaken een indruk van een kille sfeer,
- men ontbeert dan functionele verlichting, welke subruimten onderscheidbaar maakt.

Op dit laatste punt zal verder ingegaan worden.

Niveaus van verlichting

De verlichting moet opgedeeld worden in niveaus:

- Algemene verlichting: Deze is meestal aan het plafond bevestigd en is bedoeld voor verlichting van de doorgang (laag verlichtingsniveau).
- Verlichting individuele werkplekken: Deze verlichting is nodig om de werkplek aan te geven en om een globale oriëntatie in deze werkplek mogelijk te maken (middelmatig lichtniveau).
- Verlichting werктаak: Hiervoor is een hoog verlichtingsniveau nodig om de werktaken goed te kunnen uitvoeren. Meestal betreft het een klein gebied,

klasse	aard van de verlichting	sub-klasse	typering van de taak	standaard-verlichtingssterkte lx	voorbeelden van taken en/of ruimten
I	oriëntatie-verlichting (geen of slechts incidenteel gebruik van de ruimte als werkruimte)	a	waarnemen van grote objecten en beweging van personen	50	opslagruimte, parkeergarage
		b	waarnemen van zeer grove details en herkenning van personen	100	gang, trappenhuis
II	werkverlichting (permanent gebruik van de ruimte als werkruimte)	a	waarnemen van grove details	200	grof constructiewerk, smederij, (werk)magazijn
		b	lezen en schrijven en vergelijkbare details en contrasten	400	kantoor, leslokaal
		c	waarnemen van kleinere details en zwakkere contrasten dan bij II b	800	tekenkamer, fijn montagewerk
III	speciale werkverlichting	a	waarnemen van zeer fijne details en zwakke contrasten op donkere achtergrond	1600	precisiewerk, kadastraal tekenwerk, fijn inspectiewerk
		b	waarnemen aan de grens van het gezichtsvermogen	>3200	microminiaturisatie, operatietafel

Figuur 15.14 Verlichtingsnorm volgens NEN 1890

bijvoorbeeld het schrijfgedeelte op een bureau, of toetsenbord en documenthouder, of aanrecht en fornuis in de keuken; dus bij voorkeur de visueel-manipulatieve comfortzone.

Met deze wijze van verlichten geeft men door de verlichtingsverschillen de ruimte een zekere nuanciering (functionele ruimten). De totale ruimte gaat meer leven en krijgt een kleurrijker karakter.

Enkele aandachtspunten, welke in deze context nog vermeld dienen te worden zijn:

- vermijd sterke helderheidscontrasten tussen de functionele ruimten onderling en in de functionele ruimten zelf (1:3:10 = algemeen: werkplek: werktaak);

- vermijd verblinding, schittering, flikkering;
- inspecteer periodiek de verlichting (teruggang lamprendement en dergelijke), maar ook het werk (geleidelijke verandering van opstelling, objecten, instrumenten, werkwijze en dergelijke) en eveneens de visus (veroudering).

Begrippen

Bouw en werking:

- k2 electro-magnetische energie
- i1 zon- en kunstlicht
- k1 candela, lumen en lux
- k1 helderheid, luminantie, cd/m^2 , dB
- k2 reflectie-factor γ
- k1 oogbol en -spieren
- k1 reeks: cornea, iris-pupil, lens, retina
- k1 fovea (centralis) en blinde vlek
- i2 pupilfunctie
- i1 lens (groei) en punctum proximum
- k2 kegeltjes ($6 \cdot 10^6$) en staafjes ($125 \cdot 10^6$)

Visuele processen:

- k1 fotopie en scotopie (dagzien en schemerzien)
- i2 dichtheid en excentriciteit van sensortypen
- k1 adapteren, accomoderen en convergeren (≤ 6 m)
- k2 adaptatie-tijd, licht-donker en donker-licht
- i2 leesbril en presbyopie
- k3 ver- en bijziendheid, oogdiepte en lensvorm

Waarnemingskwaliteiten:

- i2 camera of cortex?
- i1 leren zien en individuele perceptie
- k1 primaire en afgeleide visuele kwaliteiten
- k1 visus en booghoek
- k2 Landoltring
- t2 gezichtshoek ($\leq 10^\circ$)-formule
- k1 visus 1 = 1 boogminuut = 0,3 mrad
- i2 retinale excentriciteit
- k2 rood-, groen- en blauw-gevoelige kegeltjes
- k2 kleurvelden: groen < rood < geel < blauw
- k2 dichromatisch kleurzien
- i3 breking van rood en blauw
- i1 visuele hoek · helderheid · contrast
- k2 factoren van dieptezien
- i3 twee vormen van bewegingsperceptie

- i1 monoculair en binoculair blikveld
 - k1 verschijnselen van presbyopie
- Verlichting:
- i1 normering op aard en taak
 - i1 oriëntatie, werkplek, eigenlijke taak
 - i2 contra-indicaties voor hoge, homogene verlichting
 - k2 reeks van helderheidscontrasten

Vragen en suggesties

- 15.1. Omschrijf welke verschillen er bestaan tussen de grootheden lichtstroom, lichtsterkte, verlichtingssterkte en helderheid/luminantie.
- 15.2. Alvorens een lichtsignaal de fotogevoelige cellen in de retina bereikt, passeert het enkele onderdelen van het oog. Hoe heten deze onderdelen?
- 15.3. Wat is de definitie van de fovea?
- 15.4. Waarom wordt de pupil algemeen beschouwd als lichtregelaar van het oog? Waarom is het regelbereik van de pupil beperkt te noemen?
- 15.5. Wat bedoelt men met het punctum proximum en waarom ligt dit bij oudere mensen verder van het oog af dan bij jonge mensen?
- 15.6. Welke twee soorten fotogevoelige zintuigcellen zijn in de retina te onderscheiden? Hoe zijn deze zintuigcellen over de retina verdeeld en welke primaire kwaliteiten bezitten ze?
- 15.7. Wat verstaat men onder adapteren, accommoderen en convergeren en wanneer treden deze visuele processen op?
- 15.8. Als men vanuit een lichtrijke omgeving een donkere omgeving betreedt, zullen de zintuigcellen in de retina hun fotogevoeligheid aanpassen aan het heersende lichtniveau. Welke grafiek verkrijgt men als de drempelwaarde van deze gevoeligheid uitgezet wordt tegen de tijd? Verklaar de vorm van de grafiek.
- 15.9. Hoeveel minuten hebben de ogen ongeveer nodig om van een lichtrijke omgeving naar een donkere ruimte te adapteren? Hoe zou dit ten positieve benut kunnen worden in het ontwerpen van een bioscoopzaal?
- 15.10. Met het visuele zintuigstelsel blijkt de mens scherpe contouren, velerlei kleuren en allerlei nuances in helderheid te kunnen waarnemen. Toch blijken de waarnemingskwaliteiten van het oog zelf niet zo geweldig te zijn. Hoe zijn deze twee feiten te rijmen?
- 15.11. Hoeveel maal intenser is de zon dan een TV-scherm?
- 15.12. Wat verstaat men onder visus en heeft deze voor de gehele retina eenzelfde waarde?
- 15.13. Wat is de meest voorkomende vorm van kleurenblindheid en waarom geeft men dit deze naam?
- 15.14. Wat is hypermetropie en hoe is deze afwijking te corrigeren?
- 15.15. Noem een aantal factoren op basis waarvan men in meer of mindere mate diepte kan zien.

- 15.16. Probeer de objecten om u heen te zien als basisvormen/solids (kubus, cilinder, bol, etc.). Welke vormen ziet u het meest?
- 15.17. Wat verstaat men onder een functionele verlichting in werkruimten? Geef aan welke niveaus hierin onderscheiden moeten worden.
- 15.18. Zouden de 'minder scherp zienden' in het verkeer vaker betrokken raken bij een ongeval dan 'scherp zienden'?
- 15.19. Wat zijn de primaire waarnemingskwaliteiten?
- 15.20. Wat is een ander woord voor visus?
- 15.21. Met hoeveel mrad correspondeert een visus van 1?
- 15.22. Neemt de gezichtsscherpte toe of af als de helderheid toeneemt, of blijft de gezichtsscherpte gelijk?
- 15.23. Schets het monoculaire- en binoculaire blikveld. Wat bepaalt de grenzen?
- 15.24. Noem drie verschijnselen in het visuele systeem die optreden doordat men ouder wordt.
- 15.25. Vraag NEN 1890 of opvolgende norm op bij het Nederlands Normalisatie Instituut te Delft.

16

Waarneming en ontwerp van visuele vormen, patronen en kleuren

Samenvatting

In dit hoofdstuk zal dieper worden ingegaan op de kwaliteiten van het oog met betrekking tot de vorm- en kleurwaarneming. Tevens zal hierbij een nog weinig besproken kwaliteit van het visuele zintuigstelsel aan de orde komen: de patroonherkenning. Door de tijd heen heeft men voor het herkennen van patronen in visuele stimuli enkele wetmatigheden kunnen afleiden, zoals bijvoorbeeld de Gestalt-wetten. Het analyseren en doorgronden van de kwaliteiten vorm en patroon zijn nodig voor het opstellen van richtlijnen en aandachtspunten, die gebruikt kunnen en moeten worden bij het realiseren van een effectieve en comfortabele informatie-overdracht van product naar gebruiker in de mens-product interactie. Het goed ontwerpen van een code, die opvallend is, eenduidig, begrijpelijk en snel, is daarbij van groot belang.

Hierna zal een nadere uitleg van kleurgebruik aan bod komen. Ondanks de beperktheid van de retinale kleurvelen leeft de mens in een gekleurde wereld. De kleurgeving van gebruiksvoorwerpen kan functioneel zijn voor de snelle herkenning van het type product en zijn onderdelen. Tint, chroma en helderheid dienen goed te worden onderscheiden evenals de regels voor het mengen van lichtkleuren en die van kleurstoffen. Woorden voor kleuren blijken niet exact, ook al omdat de herinnering soms meer domineert dan de retinale kleursignalen. Met kleur valt informatie over te brengen, omdat er afspraken bestaan en kleur snel ontdekt wordt, maar kwantitatieve betekenisgeving van kleur is riskant. Er wordt besloten met enkele aandachtspunten voor het ontwerpen van mens-product interactie met behulp van kleur, visuele en tactiele vormen.

16.1 Vorm en patroon als gevolg van visueel organiseren

Patroonherkenning

In de vorige hoofdstukken is aangegeven, hoe het visuele zintuigstelsel in elkaar zit en tot welke waarnemingskwaliteiten dit complexe systeem in staat is. In het oriënteren en functioneren in een omgeving spelen voor de mens zijn vorm- en kleurwaarnemingscapaciteiten een belangrijke rol. In het kader van deze capaciteiten dient zeker ook patroonherkenning genoemd te worden. Een patroon is algemeen te beschouwen als een waarneembare structuur van kwaliteiten (vormverschillen, kleurverschillen, bewegingen, etc.). Door ervaring kan de mens leren karakteristieke, in een ruimte of tijd te samen of opeenvolgend optredende, visuele

elementen als bij elkaar horend te beschouwen.

Het kan hier dus gaan om het gelijktijdig aanwezig zijn van specifieke elementen (bijvoorbeeld zwarte stippen in de vorm van een stippellijn op wit papier), maar ook is een opeenvolging in tijd mogelijk (denk aan het zien van een mensfiguur in een film, waarbij ondanks de bewegingen en dus zeer verschillende visuele configuraties toch steeds dezelfde persoon wordt waargenomen). Het onderscheiden van patronen, objecten of processen is een zaak van actief structureren op basis van ervaring. Zoals reeds aangegeven is, blijkt het totale verblekingspatroon in de fotogevoelige celletjes in de retina een vaag beeld op te leveren. De achterliggende nerveuze (zenuw-) systemen zullen, met behulp van de reeds door ervaring geprogrammeerde centra, hieruit een al dan niet betekenisvol patroon afleiden. Omdat deze programmering subjectief bepaald is, heeft het resultaat van de waarneming, zoals eerder behandeld, individuele kenmerken: iedereen neemt iets op een eigen manier waar. Door grote overeenkomsten in biologische structuren van menselijke visuele opvang- en verwerkingscentra en omdat tussen mensen een intensieve onderlinge kennis- en ervaringsoverdracht plaatsvindt, hebben individuele waarnemingen veel overeenkomsten en blijken verschillen (met name in kleur-, vorm- en patroonherkenning) meestal overbrugbaar.

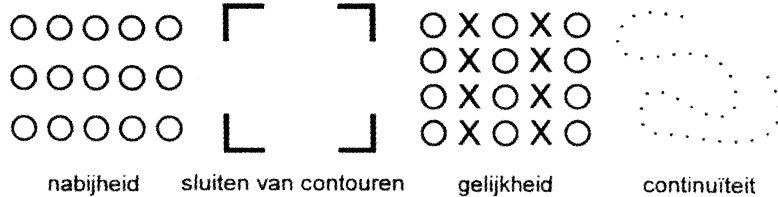
Het leren van object-vormen

De mens heeft geleerd een groot aantal zaken als bij elkaar horend te beschouwen. Men kan hierbij een zekere wetmatigheid onderscheiden. Vrij lang heeft men gedacht dat een patroonherkenning pas plaatsvond, nadat de elementen van de structuur (details) afzonderlijk waren bekeken (vanaf detail naar totaal). Men is hier echter van teruggekomen en het is waarschijnlijk geworden, onder meer door het werk van Hebb (1949) en van Gibson (1979), dat er in het begin direct een totaalindruk is. Het uitgangspunt hierbij is, dat niet uitgegaan wordt van een optelling van detailwaarnemingen, maar dat het beeld in zijn totaal een indruk oplevert, die direct vertaald en geïnterpreteerd wordt. Bij het zien van een bekend schilderij van Rembrandt zullen niet eerst details bekeken worden, maar zal het schilderij vanwege de karakteristieken in de totale beeldprojectie op de retina (proporties, globale helderheids- en kleurcontrasten, vlakverdeling, etcetera) ogenblikkelijk herkend worden. Pas daarna zal een detailmatige verkenning plaatsvinden (vanaf totaal naar detail). Voor nog onbekende objecten of zaken zal vaak de ogenblikkelijke herkenning uitblijven, maar zal getracht worden vanuit een detailherkenning naar een totaalherkenning of -interpretatie te komen; soms echter zal ook hier de totaalindruk, bijvoorbeeld op basis van een vage gelijkenis, voorafgaan.

Gestalt-wetten

Wetmatigheid in de patroonherkenning (of patrooninterpretatie) wordt aangegeven door de Gestalt-wetten. 'Gestalt' zou men kunnen vertalen met 'patroon'. Een verzameling van visuele prikkels betekent dan meer dan een optelsom en het geheel

krijgt een ‘ding-karakter’. In deze wetten gaat men er van uit dat in een bepaalde rangordening van losse elementen een patroon, object of eenheid wordt waargenomen, welke zich onderscheidt van de achtergrond. Voor een adstructie van enkele dezer ‘wetten’ zie figuur 16.1.



Figuur 16.1 Enkele voorbeelden van de werking van Gestalt-wetten.

Door nabijheid worden in 16.1 eerder rijen dan kolommen gezien; maar door vormgelijkheid van elementen worden eerder kolommen dan rijen gezien; door een neiging losse elementen te integreren worden vier hoeken in contour aangevuld tot een vierkant; door aaneenschakelen van elementen als kralen van een gekronkelde ketting wordt een aaneengesloten reeks onderscheiden; elementen neigen bijeen gezien te worden als zij een bekende figuur kunnen aanduiden.

16.2 Het ontwerpen van codes

Coderen

In de interactie tussen mens en product vindt een veelal uitgebreide bilaterale informatie-overdracht plaats: van mens naar product (bijvoorbeeld bedieningshandelingen (10.3)) alsmede van product naar mens (bijvoorbeeld wijzerindicaties op een visuele signaalgever, of een belgeluid). Voor de gebruiker van een product is het belangrijk dat hij de informatie snel, doeltreffend en comfortabel kan ontdekken, onderscheiden, begrijpen en interpreteren. Het ontdekken en onderscheiden van externe informatie geschiedt door de zintuigsystemen (zien, horen, voelen, ruiken, etc.) en het verwerken en interpreteren door de achterliggende systemen (hersenen). Om productinformatie compact, duidelijk en snel te kunnen aanbieden, maakt men gebruik van informatiecodes. Deze kunnen allerlei kwaliteiten hebben (kleur, helderheid, toonhoogte, enzovoort). Men noemt deze kwaliteiten codedimensies. Figuur 16.2 geeft een overzicht van verschillende codedimensies en enkele karakteristieken daarvan (zie ook pag. 263).

De karakteristieken zijn op de eenheid, in welke de dimensie uitgedrukt wordt; maar ook hoeveel stappen van onderscheid effectief mogelijk zijn bij absoluut onderscheid en dus welke te onthouden zijn. Evenals bij de bedieningselementen het aantal standen dit aangaf (figuur 10.2), geeft dit de ‘informatie-capaciteit’ van die code-dimensie weer. Tenslotte staat in de figuur hoeveel tijd ongeveer nodig is voor de verwerking en interpretatie van de code (decoderen) na enig leer- en gewenningsproces. Om aan te geven op welke wijze de gegevens in deze lijst gebruikt kunnen worden, zal een voorbeeld gegeven worden.

Dimensie	Eenheid	Stappen	Tijd (s)
kleur	nm	9	0,1
grootte	cm ² ; booggraad	7	0,1
korrel	n/cm ²	7	0,5
helderheid	cd/m ²	5	0,1
aantal	n	6	1,0
lijnlengte	cm	4	1,0
hoek	graad	24	0,5
richting	graadfrequentie	15	0,1
flikkerfrequentie	c.p.s.	4	5,0
vorm: (langer leerproces)			
getal		> 100	0,5
letter(s)greep		>1000	0,5
standaardfiguur		≈ 15	0,5
toonhoogte	Hz	5	0,5
luidheid	dB	5	0,1
geur		4	10,0

Figuur 16.2 Codedimensies, eenheid, informatiecapaciteit bij absolute resolutie en geschatte verwerkingstijd.

Men heeft besloten in een grote firma de verschillende product-divisies een kleurcode te geven (functioneel onderscheid). De kleurcode kan gebruikt worden voor herkenning en onderscheid van bijvoorbeeld:

- postpapier,
- verpakking,
- opslag- en transportsystemen.

Men dient voor deze codering niet meer dan 9 - 10 kleuren te gebruiken. Deze kleuren moeten duidelijk van elkaar te onderscheiden zijn (in kleurtint). Het aantal van 9 - 10 moet als effectief maximum beschouwd worden, omdat anders bij haast en slechte verlichting vergissingen sneller optreden. Veiliger is het, indien slechts 5 of 6 kleuren nodig zouden zijn. Het gaat immers om een absoluut contrast. De tijdkolom in de lijst geeft aan hoeveel tijd ongeveer nodig is voor het waarnemen en interpreteren van de code.

Richtlijnen voor coderen

Sommige codedimensies hebben wel een gelijke informatiecapaciteit, maar blijken in de benodigde aanbiedingsduur/verwerkingstijd duidelijke verschillen te hebben. In bepaalde toepassingen kan dit een belangrijk selectiecriteria zijn. Vergelijk bijvoorbeeld lijnlengte, toonhoogte en luidheid in figuur 16.2.

Opmerkelijk is de grote informatiecapaciteit van de alfanumerieke codedimensie: letters, cijfers, woorden, getallen, teksten, tabellen. Wel dient hierbij vermeld te worden dat in vergelijking met de andere codedimensies een langere leertijd nodig is. In de westerse wereld treft men weinig analfabeten aan, maar begrijpen van woor-

den, teksten en tabellen vergt meer dan alleen maar kunnen lezen.

Door het combineren van verschillende codedimensies kan men de informatie-capaciteit aanmerkelijk vergroten, versnellen en/of de kans op foutieve code-interpretaties sterk reduceren. Voorbeeld: stoplichten hebben niet alleen kleur als codedimensie, maar tevens is een codering aanwezig door boven- en onderplaatsing; dus twee codes in wederzijdse ondersteuning ofwel overvloedige (redundante) codering. Als voorbeeld: vier signaallampen op een rij geven aan welke van vier programma's op een wasautomaat aan het draaien is. In figuur 16.3 zijn enkele mogelijkheden van codering afgebeeld.



Figuur 16.3 Coderingsmogelijkheden voor vier signaallampen op een wasautomaat.

Het effectief hanteren en interpreteren van een dergelijke redundante combinatie vergt in sommige gevallen echter wel meer leertijd.

Bij het toepassen van sommige codedimensies moet men rekening houden met afwijkingen in de kwaliteiten van de zintuigvensters, welke in de gebruikerspopulatie (kunnen) voorkomen (bijvoorbeeld kleurenblindheid). Ook daarom is het zinvol gebruik te maken van meer dan één codedimensie (redundant coderen).

Tekens

In de westerse cultuur speelt bij informatie-overdracht vorm als codedimensie een belangrijke rol. De alfanumerieke codering is hiervan een duidelijk voorbeeld. Het is daarom zinvol in dit hoofdstuk nog in te gaan op het coderen van informatie in de vorm van andere tekens: pictogrammen en ideogrammen. Standaardtekens c.q. -figuurtjes worden ook wel als 'iconen' aangeduid.

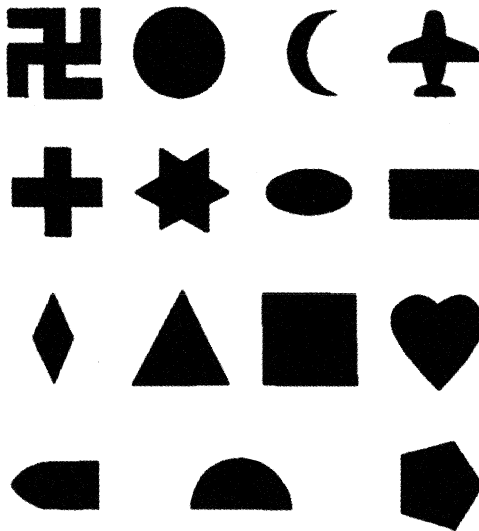
Pictogrammen zijn plaatjes, meestal in de vorm van een objectsilhouet (gestileerde weergave van het object). Als voorbeeld kunnen enkele verkeerstekens genoemd worden (het bord met de twee autootjes: verboden in te halen).

Ideogrammen zijn tekens, die een bepaald begrip overdragen zonder een weergave van een object: een kruis als verwijzing naar een hospitaal, een hoofdletter I voor een informatie-loket en dergelijke.

De alfanumerieke tekens zijn zelf ook te beschouwen als ideogrammen (het teken '6' voor het begrip 'aantal zes' of voor een 'beoordeling: net voldoende'), want er is geen sprake van een naïef herkenbare afbeelding.

De consument wordt tegenwoordig regelmatig geconfronteerd met allerlei ingewikkelde apparaten, die op één of andere manier bediend moeten worden. Het is meestal niet mogelijk (of wenselijk) uitgebreide instructies op het bedieningspaneel in de vorm van bijvoorbeeld teksten aan te brengen. Naast een duidelijke handleiding zal men met behulp van tekens op het apparaat de gebruiker duidelijk willen maken, op welke wijze dit apparaat bediend moet worden en/of welke functies bepaalde systeemonderdelen hebben. In sommige gevallen kunnen de alfanumerieke tekens hieraan een grote bijdrage leveren als bijschriften en opschriften (bijvoorbeeld 'AAN/UIT' en in de vorm van schaalverdelingsgetallen). Vaak blijken echter tekens nodig, die specifieke informatie moeten overdragen, bijvoorbeeld hoe de versnellingshendel in een auto bediend moet worden, de tekens voor choke, verlichting, ruitenwisser etc.

In figuur 16.4 is een set (verzameling) van tekens gegeven, welke voor de snelste en zekerste herkenning en de minste onderlinge verwarring zijn opgesteld door Sleight. Het is overigens niet aan te bevelen deze tekens voor bedieningsinstructies te gebruiken, maar ze zijn hier getoond als voorbeeld van tekens, die een duidelijke onderscheidbaarheid hebben ten opzichte van elkaar. Sleight gaf hierbij als richtlijn aan, dat de tekens minimaal 12 boogminuten kijkhoek moeten beslaan voor een goede detectie.



Figuur 16.4 Tekens zonder veel onderlinge verwarring volgens Sleight, 1948.

Enkele richtlijnen en aandachtspunten voor het ontwerpen van tekens:

- het aantal ('vocabulair' van) tekens per product (-soort) moet beperkt gehouden worden;
- elk teken moet duidelijk herkenbaar zijn onder de verschillende, te verwachten omstandigheden, zoals omgevingsverlichting;
- de tekens moeten duidelijke verschillen hebben ten opzichte van elkaar (het gaat hier immers om een absoluut contrast);

- minimale kijkhoek 12 boogminuten;
- de leertijd mag niet te groot zijn;
- de betekenis van het teken moet zoveel mogelijk met de spontane interpretatie en verwachting van de gebruiker(sgroep) overeenstemmen (compatibiliteit);
- men moet geen tekens gebruiken, die tevens – al dan niet bij een ander product – voor een andere reeds bestaande boodschap gebruikt worden of die een duidelijke gelijkenis daarmee vertonen.

16.3 Kleur als biologisch, fysisch en cultureel verschijnsel

Kleur is in het oog

Licht is een elektromagnetisch golfverschijnsel en heeft als hoofdparameters intensiteit en golflengte. De golflengte van licht noemt men ook wel eens de kleur. Licht wordt echter pas kleur, nadat het in het oog is opgevangen en als zenuw-sig-naal doorgestuurd en verwerkt wordt door het brein. Wat kleurwaarneming is, wat de mens als kleur waarneemt en op welke wijze een vertaalslag plaatsvindt van golflengte en helderheid naar kleur, is nog niet geheel bekend. Over het algemeen hanteert men als definitie voor kleurenzien: het vermogen om verschillen waar te nemen tussen lichten van gelijke helderheid maar van verschillende spectrale samenstelling (Walraven, 1981). Veel diersoorten beschikken niet over de mogelijkheid kleuren te zien. Sommige dieren kunnen dit alleen, als het om grotere kleuroppervlakken gaat (bijvoorbeeld bij katten). Bij de mens is het kleurenzien zeer ver ontwikkeld en zijn de mogelijkheden zeer groot. In dit hoofdstuk zullen slechts enkele belangrijke aandachtspunten met betrekking tot de kleur en kleurwaarneming aan de orde komen.

Kleurtint, kleurverzadiging, kleurhelderheid

Het visuele systeem kan weliswaar globaal 120 – 160 kleuren onderscheiden (simultaan contrast), maar men gaat er van uit, dat zelfs miljoenen schakeringen van helderheid-kleurcombinaties waargenomen kunnen worden. Kleuren worden door drie parameters gekarakteriseerd: tint, verzadiging en helderheid.

Met de kleurtint wordt bedoeld de kleursoort, oftewel de plaats in het zichtbare spectrum (rood, geel, groen, blauw, etc.).

De verzadiging geeft aan, hoe zuiver een kleur is, of anders gezegd hoeveel wit- en zwartbijmenging in de kleur afwezig is. Men hanteert voor verzadiging ook wel het begrip saturatie. Een felrode kleur heeft een grote verzadiging, terwijl een flets-groene kleur een geringe verzadiging heeft.

De helderheid geeft aan in welke mate het kleurvlak licht reflecteert of uitzendt (in de richting van het oog). Een donker rood vlak en een lichter rood vlak kunnen eenzelfde kleurtint en kleurverzadiging hebben, terwijl ze een verschillende helderheid hebben.

Optellen van gekleurde lichten

Licht met een bepaalde kleur is vaak samengesteld uit lichten met verschillende golflengten. In wit licht kunnen bijvoorbeeld alle golflengten van het spectrum aanwezig zijn. Met behulp van optische hulpmiddelen (bijvoorbeeld een prisma) kan een lichtbundel gesplitst worden in verschillende kleuren licht. Newton ontdekte, dat bepaalde kleuren licht niet meer op te splitsen waren in andere kleuren, zoals bijvoorbeeld geel uiteenvalt in rood en groen. Hij noemde deze geïsoleerde kleuren de primaire kleuren: rood, groen en blauw (figuur 15.9). Deze kleuren licht kunnen, indien samengevoegd, wit licht geven. Met complementaire kleuren worden bedoeld de kleuren licht, welke samengevoegd grijs licht geven, bijvoorbeeld geel en blauw, of oranje en groenig blauw.

Indien men bundels licht met verschillende 'kleuren' (golflengten) gaat mengen, zullen de golflengten van de afzonderlijke lichtbundels allemaal in de eindbundel aanwezig zijn. Het betreft hier een toevoeging (additie) van golflengten. Men spreekt in dit verband van een additieve menging. De resultaten van mengen van gekleurd licht zijn wat onverwacht: rood + groen = geel, maar blauw + geel = grijs.

Onttrekken door pigmenten (kleurstoffen)

Als een bundel fotonen op een voorwerpsvlak valt, zal een gedeelte van deze bundel geabsorbeerd en een gedeelte gereflecteerd worden. De absorptie is selectief en wordt bepaald door een groot aantal factoren (atoombouw oppervlaktelaag, oppervlakte-textuur en -structuur, etcetera). De golflengten van het gereflecteerde licht veroorzaken de kleur van het voorwerpsvlak. In het geval van een rood voorwerpsvlak worden de groene, blauwe en gele golflengtegebieden van het witte opvallende licht geabsorbeerd en alleen het rode golflengtegebied gereflecteerd. Indien men verschillende kleuren verf bij elkaar brengt, zal het mengsel het opvallende licht absorberen (filteren) voor die golflengtegebieden, die door de afzonderlijke kleuren geabsorbeerd zouden worden. Men noemt dit subtractieve menging (subtractie = onttrekking). De resultaten van pigmentmenging zijn ons vertrouwer dan die van lichtmenging: blauw + geel = groen etc.

Kleurwoorden in culturen

Naarmate men zich door de tijd heen meer systematisch met het fenomeen kleurwaarneming ging bezighouden, rees de vraag of de mens altijd kleur heeft kunnen waarnemen en welke aanduidingen men hanteerde voor de verschillende kleuren.

Onderzoekingen op dit gebied richtten zich hoofdzakelijk op de gegevens, welke aanwezig zijn in oude geschriften en boeken. Men heeft daarbij ontdekt, dat wat betreft de kleuraanduiding een opmerkelijke culturele ontwikkeling aanwezig is en is geweest. Berlin en Kay hebben rond 1969 een uitgebreide studie uitgevoerd, om uit te vinden welke kleuraanduidingen in verschillende landen (door de tijd heen) gehanteerd zijn (Basic Color Terms). In het kort volgen enkele resultaten uit dit onderzoek. De woorden en begrippen, die gebruikt werden om verschillende

kleuren aan te duiden, kunnen van cultuur tot cultuur verschillen. Er zijn talen, waarbinnen geen kleuraanduidingen gehanteerd worden, maar waar alleen zwart en wit als aanduiding voorkomen.

Hiermee is niet gezegd, dat geen kleuronderscheidend vermogen bij deze mensen aanwezig zou zijn, integendeel. In dergelijke culturen is gevonden, dat men bijvoorbeeld een kleuraanduiding geeft in de vorm van een kleurgelijkenis, -overeenkomst (bijvoorbeeld met kleuren van bepaalde planten, dieren of vruchten). De aard van de gelijkenis of overeenkomst wordt in sterke mate bepaald door de leefomgeving van deze mensen (denk bijvoorbeeld aan verschillen tussen de leefomgeving van de Inuit (Eskimo's) en die van Bosnegers). Ondanks deze verschillen kwamen Berlin en Kay tot de conclusie, dat er wel degelijk sprake is van een reeks basis kleurtermen. Ook blijken zij een zekere wetmatige historische ontwikkeling in de kleuraanduiding te kunnen aangeven, welke in culturen plaatsvond. In elke menselijke taal zijn termen aanwezig voor wit en zwart, een verdere ontwikkelingsstap is het woord voor rood. Bij een verdergaande ontwikkeling blijken hier basiskleuren aan toegevoegd te worden in een specifieke volgorde. Deze volgorde is aangegeven in figuur 16.5.

1	2	3	4	5	6	7
wit		groen	groen			paars
en	rood	of	en	blauw	bruin	rose
zwart		geel	geel			oranje
						grijs

Figuur 16.5 Cultural development of Basic Color Terms, Berlin en Kay (1969).

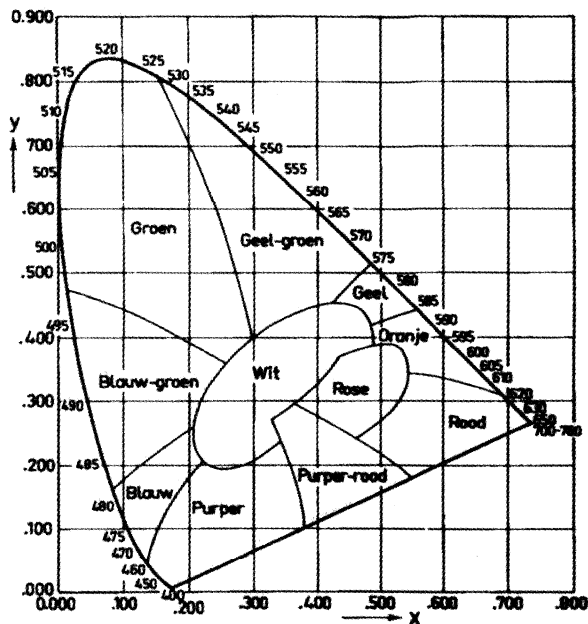
Naast deze cultuurgebonden kleuraanduidingen bestaan er binnen één cultuur ook verschillen in kleurinterpretaties, niettegenstaande dat men over dezelfde kleuraanduidingen beschikt (Gage, 1993). Vandaar dat men onderling nogal kan strijden of iets bijvoorbeeld blauw is of paars. Rouge, red en rot blijken niet precies hetzelfde gebied van nm en cd/m² te beslaan. Een aspect, dat hier nog vermeld moet worden, is, dat sommige kleuren en objectvormen voor de waarnemer onlosmakelijk aan elkaar verbonden zijn (object-kleur). Dit kan het resultaat van een waarneming sterk beïnvloeden. Een sinaasappel, welke beschenen wordt door bijvoorbeeld paars licht, krijgt een andere kleur, maar wordt in het merendeel der gevallen toch door waarnemers als oranje omschreven. In een medische omgeving kan wit ongemerkt grijs worden. Bij slecht licht merken we niet dat vertrouwde objecten een andere kleur krijgen.

16.4 Kleursystemen en coderen met kleur

Er zijn verschillende systemen om kleur aan te duiden en te definiëren. Enkele daarvan worden hier besproken.

Munsell

In dit systeem worden de kleuren aangegeven door:



Figuur 16.7 Kleuraanduiding volgens C.I.E.

- Voor absoluut onderscheid niet meer dan 10 kleuren gebruiken. De optimale set van code-kleuren heeft dan golflengten (nm) van: 430 - 476 - 494 - 504 - 515 - 556 - 582 - 596 - 610 - 642 (respectievelijk violet, blauw, groenig-blauw, groen, gelig groen, geel, oranje, oranje rood, rood, paarsig rood).
- In gevallen, waarbij met kleurzakken (mensen met een bepaalde vorm van verminderde kleurgevoeligheid) rekening gehouden dient te worden, hantere men de kleuren rood, groen en blauw redundant door uiteenliggende helderheid. In sommige gevallen is een extra codering zeer wenselijk (bijvoorbeeld verkeersstoplichten: plaatscodering).
- Kleurinterpretatie naar betekenis wordt hoofdzakelijk bepaald door opgedane ervaringen, aangeleerde associatiesystemen en afspraaksystemen. Uit onderzoek blijkt, dat bepaalde kleuren wel een inwerking kunnen hebben op het menselijk presteren of de comfortbeleving, maar dat zal hier niet verder besproken worden.

Algemeen geldt:

- rood = alarm;
- oranje = riskant;
- geel = aandacht;
- groen = veilig;

en de minder bekende:

- blauw = reparatie, mededeling;
- paars = radio-actief.

Het gaat hier om duidelijke afspraken, welke eenduidig gehanteerd moeten worden. Voorbeeld: Betekenisvolle delen van een wijzerschaal (display) kunnen voorzien

worden van een kleurcodering. In het veilige gebied van de schaal plaatse men dan een groene band, in het aandachtsgebied een gele, in het riskante gebied een oranje en in het alarmgebied een rode (figuur 17.10). Men moet bij het toepassen van een kleurcodering er op letten, dat het visuele beeld niet te druk wordt. Als op een displayschaal veel kleuren gebruikt worden, kan dit te druk zijn en kan de codering haar effectiviteit verliezen.

Kleur is geen kwantitatief codeermiddel

Het is belangrijk het codeermiddel kleur te beschouwen als een ondersteuning van een andere code (helderheid, vorm, arcering, textuur, enzovoort) en dus als redundante toevoeging aan een andere code-dimensie. In sommige gevallen is het mogelijk kleur als enkele code te gebruiken, maar voorzichtigheid is geboden. Bij het gebruik van redundante coderingen wordt de kans op een foutieve interpretatie kleiner. Kleur heeft, zoals eerder benadrukt, identificerende en geen ordinale of kwantitatieve waarde. Dus rood is duidelijk anders dan blauw, maar niet meer of minder dan blauw en zeker niet twee of drie maal zoveel als blauw.

Op landkaarten en satellietfoto's doet men vaak alsof de regenboog een meetlat is; er is dan weliswaar het voordeel van snelle identificatie, maar er blijft het nadeel van misinterpretaties in volgorde of intensiteit.

Vorm- en kleurperceptie bij het ontwerpen van berichten en producten

De mens wordt in zijn omgeving voortdurend geconfronteerd met betekenishebbende vormen en kleuren. In het detecteren van vormen en kleuren spelen de vensters voor de visuele en tactiele waarneming een centrale rol. Ontwerpers zijn bij het ontwerpen van producten doorlopend bezig met het onderscheiden, selecteren en combineren van vormen en kleuren (zwart en wit worden in dit verband als kleuren beschouwd). Zij dienen bij het maken van keuzen rekening te houden met de verschillende kwaliteiten en eigenaardigheden van de zintuigvensters en de wijze, waarop objectkarakteristieken door achterliggende systemen worden vertaald tot specifieke patronen en boodschappen (codering/decoding, vorm- en kleurinterpretatie).

Aandachtspunten bij het vormen en kleuren van mens-product interactie

Vormfuncties visueel:

Het visuele zintuigvenster kan vormen waarnemen in hoogstens 1% van het gezichtsveld. Dit houdt niet in, dat dit ook maar 1% van het menselijk bewustzijn betreft. Het geprojecteerde beeld op de retina is dan wel grotendeels vormloos, maar voor het verkrijgen van informatie wordt de bliklijn als aandachtsbundel voortdurend gericht en ondergaat het oog standveranderingen.

Vormen geven iets aan:

- waarneming van aanwezigheid (ook perifeer zien vanuit de ooghoeken);
- waarneming van afstand, globale ruimtelijke oriëntatie, beweging(sbaan) en

massa/volume;

- waarneming van opbouw, eenheden, complexiteit, materialen;
- waarneming van globale hoedanigheden, primaire functies;
- waarneming van een positieve of negatieve gevoelston, in de zin van aspecten die de waarneming emotioneel 'kleuren' en die de houding ten opzichte van het product beïnvloeden.

Vormen verwijzen naar iets (betekenis, code), betreffende:

- tot welke groep producten iets behoort;
- de stijl van gebruiksomgeving of van gebruikerstype;
- periode van ontstaan (tijdgebonden karakteristieken);
- plaats van ontstaan (land van herkomst).

Waarneming van functionele componenten en aspecten:

- bedieningsmiddelen en informatiepunten en hun details, zoals (alfanumerieke) tekens, symbolen (tekens met emotionele verwijzingswaarde, zoals de nationale vlag).

Vormfuncties in tactiele zin:

Deze waarneming heeft bij het voelen en aftasten van vormen met de huid, waarvan vooral de vingertoppen, te maken met de micro-ruimten. Het gaat niet om veel informatie in één oogopslag, maar om informatiedelen in een opeenvolging, zoals dit ook bij het gehoororgaan geschiedt. Het waarnemingsproces vindt meestal plaats na een visuele voorbereiding van de desbetreffende actie of reactie in de zin van reiken, richten, grijpen, krachtdosering.

- Waarneming van: grootte, gelijkheid van opbouw, textuur, temperatuur, gladheid, stabiliteit, weerstand (initieel, voorafgaand aan beweging);
- waarneming van contactvlakvorm en huidaangepassing, van druk tijdens houden en/of bewegen, van verplaatsing en krachten in de kinetische keten van lichaamssegmenten plus extern object.

De kleurfuncties:

De kleurvelden beslaan hoogstens 18% van het gezichtsveld.

- Ondersteuning van de waarneming van vorm, diepte, grootte en beweging: identificatie, variatie, stimulatie;
- ondersteuning van emotionele waarden, groep van producten, stijl;
- codering van specifieke informatie betreffende functies in globale zin van bedienings- en informatiepunten, details, contrasten.

Begrippen

Vorm en patroon:

- i1 combineren van visuele prikkels in ruimte en of tijd
- i1 individualiteit en gemeenschappelijkheid in patroon-perceptie
- k1 waarneming van totaal naar detail
- k2 Gestalt-wetten

k1 ding-karakter van figuur tegen achtergrond

Ontwerpen van codes:

i1 reeks van ontdekken, onderscheiden, begrijpen en interpreteren

k1 codedimensies

k1 informatie-capaciteit (stappen)

i1 tijd voor decoderen

k1 alfanumerieke tekens

i1 redundante codering

k1 picto- en ideogram

k1 standaardtekens

i1 onderlinge verwarring bij teken-set

i1 vocabulair van tekens

Kleur: biologisch, fysisch, cultureel:

k1 tint (nm), verzadiging (zwart-wit bijmenging), helderheid (cd/m^2)

k1 primaire kleuren: rood, groen, blauw

i1 complementaire kleuren (als licht bijeen geeft grijs)

i1 additief kleurmengen (licht)

i1 subtractief kleurmengen (pigment)

k2 historische reeks van kleurtermen

i1 'object-kleur' en 'herinneringskleur'

Kleursystemen en coderen:

k2 Hue (tint), Chroma (verzadiging), Value (helderheid): Munsell colors

k2 kleuratlas en kleurstaal

k2 CIE-systeem met x - en y -dimensies

k1 ondergrens in gezichtshoek en helderheid

k1 absoluut contrast in reeks van 10 kleuren

i1 kleurcoderen met redundantie

i1 kleurbetekenins door afspraak

i1 kleur niet als kwantitatieve aanduiding

i1 visuele vormbetekenissen bij mens-product interactie

i1 tactiele vormbetekenissen bij mens-product interactie

Vragen en suggesties

16.1. Leg uit waarom het kleuronderscheidend vermogen van het visuele zintuigvenster niet voor het gehele zichtbare golflengtegebied een gelijke waarde heeft.

16.2. Voor welke golflengten geldt een optimale gevoeligheid en hoe groot is hier het kleuronderscheidend vermogen?

16.3. Hoe zou men het begrip patroon kunnen definiëren? Wat is het verschil tussen de waarneming vanaf detail naar totaal en de totaal-waarneming? Welke theorie hangt men in dit verband tegenwoordig aan?

- 16.4. Welke denkwijze onderschrijft de wetmatigheid zoals deze aangegeven wordt in de Gestalt-wetten?
- 16.5. Probeer de omgeving eens te beschouwen als de som van detailwaarnemingen in plaats van totaalwaarneming ineens.
- 16.6. Ga van een afstandsbediening na wanneer u ontdekt, onderscheidt, begrijpt en interpreteert.
- 16.7. Noem enkele praktijk-voorbeelden waarin gebruik gemaakt wordt van informatiecodes.
- 16.8. Zijn deze informatiecodes in alle gebruiksomstandigheden effectief?
- 16.9. Geef enkele richtlijnen en aandachtspunten voor het ontwerpen van tekens (ideogrammen, pictogrammen).
- 16.10. Hoeveel verschillende kleurstappen zijn te onderscheiden, en hoeveel verschillende richtingen (oriëntaties van een lijnstuk)?
- 16.11. Hoeveel tijd is ongeveer nodig om een kleurwisseling van een stoplicht te interpreteren? Hoeveel meter bent u dan al verder als u 50 km/u rijdt?
- 16.12. Is de informatiecapaciteit van alfanumerieke tekens groter of kleiner dan die van kleuren?
- 16.13. Heeft een stoplicht een redundante codering?
- 16.14. Is het verkeersbord 'verboden in te halen' een pictogram?
- 16.15. Waarop is de tekenset van Sleight (figuur 16.4) gebaseerd?
- 16.16. Hoeveel tekens zitten er op uw wasmachine? Kunnen deze verminderd en/of verbeterd worden?
- 16.17. Een product dat door u ontworpen moet worden, zal een bepaalde kleur-codering moeten krijgen. Het product zal zowel in Europa als de USA als in Azië op de markt gebracht worden. Waar moet u rekening mee houden?
- 16.18. Hoe zou men kleuren zien kunnen definiëren?
- 16.19. Wat wordt bedoeld met de tint, de verzadiging en de helderheid van een kleur?
- 16.20. Wat is het verschil tussen additieve en subtractieve menging van kleuren?
- 16.21. Wat zijn de primaire kleuren?
- 16.22. Wat zijn complementaire kleuren en waarom?
- 16.23. Welke wetmatige historische ontwikkeling in de kleuraanduiding vonden Berlin en Kay op basis van hun wereldwijde onderzoekgegevens?
- 16.24. Beschrijf in het kort de kenmerkende verschillen tussen het Munsell kleursysteem en de kleuraanduiding volgens C.I.E.
- 16.25. Als men voor het overdragen van informatie als codeermiddel kleur gaat gebruiken, dient een aantal zaken overwogen te worden. Welke zaken zijn dit?
- 16.26. Hoeveel kleuren mogen er maximaal worden gebruikt bij absoluut contrast bij kleurcodering?
- 16.27. Noem een aantal ontwerpen die gebruik maken van kleurcodering. Maken zij gebruik van redundantie?
- 16.28. Ga na of er mensen zijn die 'rood' minder vinden dan 'blauw', of juist

meer. Klopt dit met de theorie?

- 16.29. Ga de vorm- en kleurveranderingen na van een automobiel vanaf de jaren zestig tot nu. Ziet u een trend en kunt u toekomstige vormen en kleuren voorspellen?

17

Visuele signaalgevers (displays): meters, schalen en elektronische indicatoren

Samenvatting

Bij het eerste hoofdstuk van dit deel over de sensorische ergonomie werd een overzicht gegeven van de categorie sensorisch ondersteunende producten. Daarbij werd een onderscheid gemaakt tussen de directe zintuiglijke hulpstukken enerzijds en anderzijds de signaalgevers. Op gebruiksgoederen, toestellen en machines worden vaak visuele signaalgevers aangetroffen. Een belangrijk deel van de interactie tussen mens en product verloopt dus via deze signaalgevende elementen en productonderdelen. Daarom wordt aan het ontwerp en gebruik ervan dit laatste hoofdstuk van dit deel gewijd. Er wordt aangegeven in welke situaties visuele 'displays' kunnen worden gebruikt. Dat is wederom een zaak van aanpassen aan de gebruiker en aan het gebruiksdoel en moment. Niveaus en typen van signalering worden onderscheiden. Daarna gaat het verder vooral over de dynamische visuele signaalgevers, die mechanisch of elektronisch kunnen zijn uitgevoerd. De soorten van mechanisch uitgevoerde, dynamische visuele signaalgevers blijken niet alle voor elk gebruiksdoel geschikt, gezien de afleesfouten en -tijden. Er worden richtlijnen gegeven voor het ontwerpen van de visuele detaillering van schalen. Tenslotte wordt een driedeling van elektronische indicatoren gegeven en nader ingegaan op het vormen van elektronische tekens. Ergonomische inzichten in de klassieke signaalgevers helpen ook bij het ontwerpen van de elektronische schermen.

17.1 Het gebruik van visuele signaalgevers

Visuele signaalgevers als hulpmiddelen

Wanneer maakt men gebruik van een 'display' en wat bepaalt welke eisen er aan gesteld moeten worden?

Regelmatig heeft de mens behoefte aan informatie omtrent producten en gebruikssituaties, die hij niet, of niet adequaat, direct met zijn zintuigen kan opnemen, verwerken of vastleggen. Daar werd in 12.3 'Zintuigen als vensters naar de buiten- en binnenwereld' (figuren 12.5, 12.6 en 12.7) al een overzicht van gegeven. In deze gevallen maakt de mens gebruik van displays die hem de informatie in een goed toegankelijke vorm aanbieden. Omstandigheden die het gebruik van displays noodzakelijk of wenselijk maken, treden bijvoorbeeld op als de mens informatie wil winnen uit signalen die weliswaar door hun aard direct door hem waarneem-

baar zouden kunnen zijn, maar die:

- een te kleine of te grote intensiteit hebben (bijvoorbeeld beneden de waarnemingsdrempel of boven de comfortgrens); versterking respectievelijk verzwakking (bijvoorbeeld elektronisch of optisch) is dan een oplossing;
- schuilgaan in een overmatige ruis; filtering of selectieve versterking kan dan een oplossing zijn;
- op een verkeerde plaats of tijd beschikbaar zijn (bijvoorbeeld een moeilijk toegankelijke of gevaarlijke plaats of 's nachts);
- moeilijk kwantificeerbaar zijn, terwijl kwantitatieve informatie nodig is (bijvoorbeeld de temperatuur van een reactievat, de snelheid van een schip);
- over langere tijden met elkaar vergeleken moeten worden; een mnemische, display, dus geheugensteun, (bijvoorbeeld een x-t schrijver) kan dan een oplossing bieden;
- te snel verlopen in de tijd.

Ook gebruikt men uiteraard een visuele signaalgever als men informatie wil winnen uit signalen die door hun aard niet direct door de mens waarneembaar zijn, zoals bijvoorbeeld elektromagnetische golven in het U.V.-gebied, ultrasone trillingen, kosmische straling. In deze gevallen is bovendien transformatie van het informatiedragend signaal op een andere fysische drager noodzakelijk.

Signalering: voor wie, wanneer, wat?

Heeft men op grond van dit soort overwegingen besloten één of meer displays te gebruiken, dan is het zaak deze zodanig te ontwerpen, dat de informatie op optimale wijze aan de mens aangeboden wordt, dat wil zeggen zodanig dat deze persoon in de gelegenheid is haar taak optimaal te vervullen, c.q. dat er een optimale mens-product interactie in verschillende gebruiksfasen kan optreden. De ontwerper dient zich daarbij voortdurend af te vragen voor wie (opleiding, taak, neventaken, alertheid, training) is wanneer (omstandigheden, tijdstip, duur, frequentie) welke informatie (soort, vorm, volgorde) nodig en welke specifieke eisen stelt de gewenste taakvervulling/interactie aan deze informatie (bijvoorbeeld de gebruiker moet snel informatie hebben, of zij mag beslist geen afleesfouten maken; hij moet een bepaalde waarde zo exact mogelijk weten of slechts globaal; zij moet de geringste afwijking reeds detecteren enzovoort).

De beantwoording van deze vragen maakt het noodzakelijk dat de ontwerper onder meer een systeemanalyse uitvoert van desbetreffende mens-product interactie of het mens-machine-systeem. Deze werkwijze moet voorkómen dat men de algemene trend volgt om de display te richten op de grootst mogelijke volledigheid en nauwkeurigheid die ooit dienstig zouden kunnen zijn, in plaats van de signalering te richten op het gebruik ervan in de dagelijkse praktijk.

Deze trend leidt behalve tot exorbitante kosten aan apparatuur ook tot een overbelasting van de gebruiker (operator), die ertoe kan leiden dat in noodsituaties uiterst essentiële informatie juist niet wordt gedetecteerd.

Soorten en doelen van visuele signaalgevers

Tussen signaallamp of -vaan en kleuren t.v.-monitor ligt een hele reeks mogelijkheden om visueel informatie over te brengen van een simpel ja-nee signaal tot zeer complexe signalen. Globaal kunnen we de visuele signaalgevers ('displays') indelen in statische en dynamische displays.

Statische displays geven informatie over tijdonafhankelijke parameters van een systeem (bijvoorbeeld stroomschema's, plattegronden, opschriften en pictogrammen en wel op panelen, kaarten, voorfront van huishoudmachines etc.).

Dynamische displays geven informatie over tijdafhankelijke parameters van een systeem. Dit zijn dus de displays die de waarde of toestand van een variabele (continu of discontinu) aangeven, zoals manometers, thermometers, hoogtemeters, signaallampen, C.R.T.'s (cathode ray tube = kathodestraalbuis = beeldbuis), enz.

Verdere indeling vindt plaats op grond van het niveau van de aangeboden informatie, waarbij als belangrijkste niveaus onderscheiden worden:

- **Controle-informatie:** is het apparaat aan of uit; is de belasting laag, normaal of hoog; bevindt de waarde van een bepaalde variabele zich in een acceptabel gebied. Vaak worden voor dit doel signaallampen gebruikt.
- **Kwalitatieve informatie:** hierbij wordt globaal, bijvoorbeeld vergelijkenderwijs, de waarde van een variabele, zijn snelheid en richting van veranderen (tendens) of de afwijking (+ of -) van een bepaalde normwaarde gegeven. Men denke bijvoorbeeld aan de temperatuur in een auto, waarbij de wijzer aangeeft hoe hoog de temperatuur van het koelwater is, de schaal bestaat evenwel slechts uit drie gebieden: te koud, normaal, te heet. Ook een peilglas zonder markering, dat het niveau in een voorraadvat aangeeft, is een goed voorbeeld.
- **Kwantitatieve informatie:** op een dimensie met markeringen en/of getallen kan een intensiteit worden afgelezen (op een schaal met een nulpunt en intervallen, of digitaal) van de waarde van een systeempaarparameter (snelheidsmeter in de auto, horloge, gasmeter, kWh-meter enz.).

Verder kennen we alfanumerieke, symbolische en grafische informatie; te denken valt aan het tonen op een beeldbuis van vluchtgegevens (luchtvaart), een lichtkrant, de hartslag weergegeven op een oscilloscoop, een schematische weergave op een lichtbak (bijvoorbeeld boekbehandeling in een bibliotheek). Deze drie typen van displays kunnen eventueel ook nog aangeven wat de oorzaak is van een bepaalde ongewenste toestand en welke corrigerende handeling vereist is.

Ook valt hier nog te denken aan zogenaamde 'tracking'- (volgsturing-) informatie, waarbij bijvoorbeeld op een beeldbuis een punt, dat de werkelijke situatie van het systeem representeert, tot dekking moet worden gebracht met een variabel streefpunt (denk aan een radarscherm in de lucht- of scheepvaart).

Onderscheid in dynamische visuele signaalgevers

Bij dynamische visuele signaalgevers maken we verder onderscheid tussen displays die:

- alleen momentane waarden geven, welke een korter of langer moment gelden, maar deze niet vastleggen (bijvoorbeeld gewone wijzerinstrumenten, eenvoudige beeldbuizen);
- waarden geven over een bepaalde periode in het verleden ('historic displays'), zoals schrijvers, plotters, printers, de 'storage oscilloscope', wijzerinstrumenten met een extra meeneemwijzer en bijvoorbeeld ook de maximum-minimum thermometer;
- ook de meest waarschijnlijke waarde(n) in een toekomstige periode geven ('predicting displays'); dit is vaak een beeldbuis, gekoppeld aan een computer die extrapoleert.

Er zijn behalve displays die de toestand of verandering in één gemeten grootheid tonen, ook multipale displays die dit doen voor meer grootheden, hetzij tegelijk (meerpensschrijver, meter met meer schalen en wijzers, 'dual beam oscilloscope'), hetzij afwisselend (een penschrijver of teller met 'chopper' of 'scope met chopper' of in de 'alternating mode').

17.2 Technische oplossingen voor dynamische visuele signaalgevers

Mechanische en elektronische indicatoren

Wat betreft de technische oplossingen onderscheiden we twee hoofdgroepen:

- de mechanische indicatoren (wijzerinstrumenten + mechanische tellers), welke gebruik maken van één of meer bewegende elementen (wijzer, kwikkolom, schaal, cijferdrum en dergelijke).

Deze verliezen terrein aan de tweede hoofdgroep:

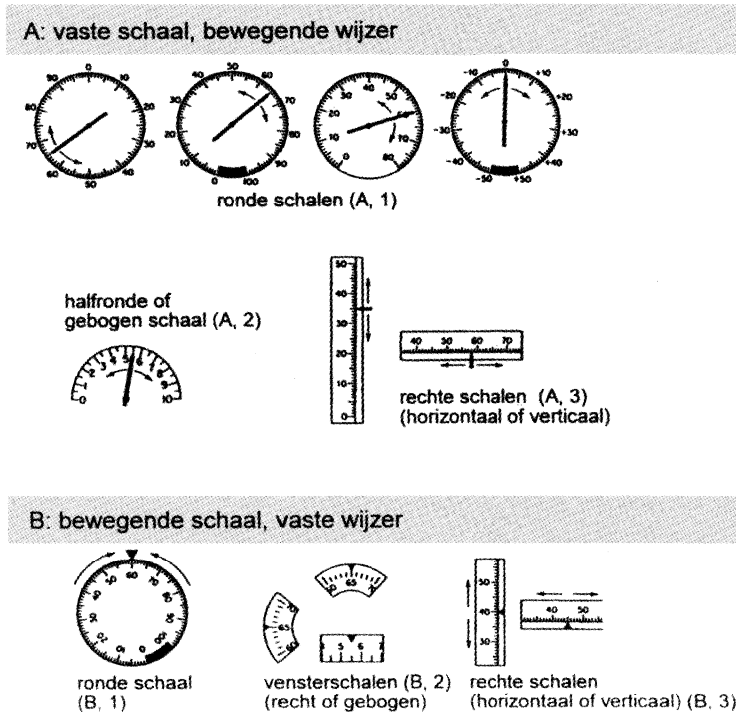
- de elektronische indicatoren die gebruik maken van lampjes, L.E.D.'s (Light Emitting Diodes), beeldschermen, 'elektronische' cijfers en letters, projectie enz.

De mechanische indicatoren voor dynamische visuele signalering

Er is veel onderzoek verricht naar de geschiktheid van mechanische indicatoren in praktijksituaties. Enige algemene aanbevelingen vindt men in figuur 17.1.

Gebruiksdoel	Teller	Bewegende wijzer langs schaal	Bewegende schaal langs wijzer
kwantitatief aflezen	+	0	0/+
kwalitatief aflezen, controleren	-/0	+	-
instellen	+	+	0
'tracking'(volgsturing)	-	+	0
snel oriënteren	-	+	+
algemeen gebruik	0	+	0

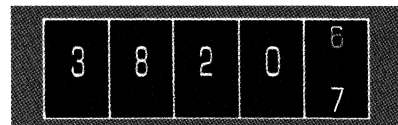
*Figuur 17.1 De geschiktheid van enkele typen indicatoren voor diverse doeleinden; (+ = geschikt; 0 = neutraal; - = minder geschikt; * mits met gebruik van kleur-codering).*



Figuur 17.2 Uitvoeringsvormen wijzerinstrumenten (Sanders and McCormick, 1993).

De belangrijkste voordelen van tellers bij kwantitatief aflezen zijn:

- hoge afleessnelheid,
- minimale kans op afleesfouten.



Figuur 17.3 Teller.

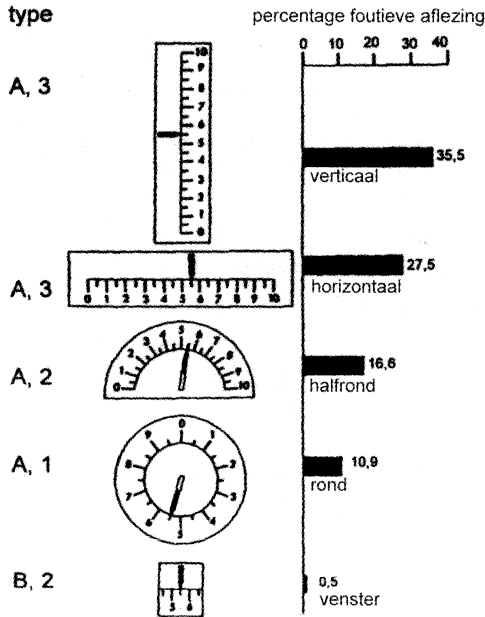
In figuur 17.3 is een voorbeeld van een teller opgenomen.

Er zijn aanwijzingen dat geschikt uitgevoerde tellers ook te verkiezen zijn voor kwalitatief aflezen en controleren.

Men realiseer zich evenwel dat de geschiktheid van een mechanische indicator, als een dynamische visuele signaalgever, in een concrete situatie sterk afhangt van de specifieke uitvoering, en dus van vorm, kleur, afmetingen en onderlinge situering van schaal, schaalverdeling, wijzer en cijfers. In figuur 17.2 staan enkele veel gebruikte uitvoeringsvormen van wijzerinstrumenten.

Afleesfouten

De resultaten van een tachistoscopisch (zeer kort tonen van een beeld, in dit geval een aanbestedingstijd 0,12 sec.) onderzoek (Sleight, 1948) naar het percentage afleesfouten, gemaakt bij het kwantitatief aflezen van 5 typen meters die alle dezelfde schaalindeling hadden, zijn weergegeven in figuur 17.4.



Figuur 17.4 Afleesfouten bij kwantitatieve aflezing van diverse typen meters (Sleight, 1948; in Lazet, 1967).

Hierbij zij evenwel opgemerkt dat de oplossing B.2, die hier als beste uit de bus komt, volledig ongeschikt is voor kwalitatief aflezen; ook realiseren men zich dat het beperken van de afleesduur tot 0,12 sec. een situatie is die in de praktijk nauwelijks voorkomt en type B.2 bevoordeelt (men hoeft niet eerst de wijzer te lokaliseren).

Een onderzoek van Thomas (1957) naar kwantitatief aflezen van dezelfde typen meters, maar nu alle sterk verkleind om de zoektijden te beperken, geeft bij een aanbiedingstijd van 0,50 sec. de volgende rangordes (van goed naar slecht):

1^e : A.3 (horizontaal), 2^e : B.2; derde plaats voor A.1 en de vierde voor A.3 (verticaal) en 5^e tenslotte : A.2

en bij een aanbiedingstijd van 0,04 sec.:

1^e : A.3 (horizontaal), 2^e : A.1, 3^e : A.3 (verticaal, 4^e : A.2 en 5^e : B.2

Bij een onderzoek van Elkin (1959) moesten proefpersonen drie typen meters met kwantitatieve schaal ook kwalitatief aflezen. Bij 1440 aflezingen werden slechts drie fouten gemaakt. In figuur 17.5 zijn de gemiddelde afleestijden voor de drie typen vergeleken met de tijden, nodig voor kwantitatieve aflezing.

type meter	gemiddelde afleestijd (in msec)	
	kwalitatief	kwantitatief
vensterschaal B.2	115	112
ronde schaal A.1	107	113
verticale schaal A.3	101	118

Figuur 17.5 Gemiddelde afleestijden bij kwalitatief en kwantitatief aflezen (Elkin, 1959).

We zien hieruit dat de vensterschaal, die kwantitatief het snelst afgelezen werd en met weinig fouten (figuur 17.4), kwalitatief het langzaamst afgelezen werd.

De verticale schaal daarentegen werd kwalitatief het snelst afgelezen en kwantitatief het langzaamst en met de meeste fouten. Deze resultaten, gecombineerd met de uitkomsten van een onderzoek van Hamer en Critchley (1967) aan ronde, halfronde en rechte horizontale schalen, leiden tot de volgende algemene aanbeve-

lingen voor de toepassing van meters met kwantitatieve afleesmogelijkheid:

- voor uitsluitend kwantitatief aflezen: teller, vensterschaal (B.2) of, bij gebruik van zeer kleine meters, rechte schaal horizontaal of verticaal (A.3) en ronde schaal (A.1);
- voor uitsluitend kwalitatief aflezen: vaste verticale schaal (A.3) of ronde schaal (A.1);
- voor zowel kwalitatief als kwantitatief aflezen: ronde schaal (A.1) of halfronde schaal (A.2) of geschikte teller.

17.3 Richtlijnen voor de uitvoering van schalen

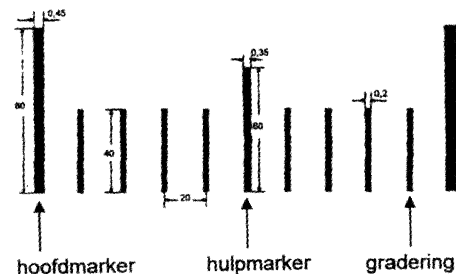
De schaalverdeling

Wijzerinstrumenten, die bedoeld zijn voor kwantitatief aflezen, zijn voorzien van een schaalverdeling, waarbij de ruimte tussen de uiterste aan te geven waarden is onderverdeeld met behulp van strepen. In de praktijk komt de keuze van de onderverdeling vaak tot stand op grond van verkoopoverwegingen (fijne onderverdeling suggereert nauwkeurigheid), van smaak of traditie.

Daar evenwel uit onderzoek is gebleken dat de schaal in belangrijke mate de afleesnelheid, -nauwkeurigheid en -fouten bepaalt, dient deze met het oog op een goede functievervulling ontworpen te worden. Dat geldt uiteraard ook als men deze klassieke schalen op beeldschermen weergeeft.

Enkele aanbevelingen zijn:

- kleur: zwart op een witte achtergrond in een goed verlichte situatie; wit op een zwarte achtergrond in duistere ruimten.
- relatieve maten en lijndikten: In figuur 17.6 staat een schaal volgens de aanbevelingen van Baker en Grether (1954; in Lazet, 1967).



Figuur 17.6 verhoudingsmaten van de schaalverdeling.

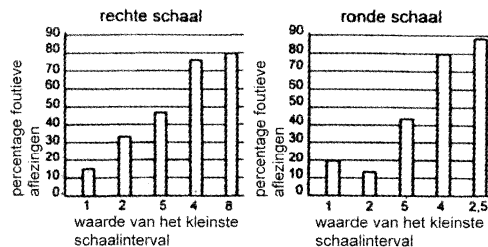
De minimaal te gebruiken lijndikte is 0,2 mm, de minimale afstand tussen graderingsstreepjes 0,8 mm en tussen twee hoofdmarkers ongeveer 8 mm.

Deze minimale afstanden gebruikte men alleen bij afleesafstanden tot aan 60 cm, zoals bij de meeste mens-product interactie het geval is. Bij grotere afleesafstanden late men de intervalgrootte recht evenredig toenemen met de afleesafstand, zodat de hoek waaronder het interval waargenomen wordt gelijk blijft. Voorbeeld: 8 mm afstand tussen de hoofdmarkers bij 60 cm afleesafstand leidt tot 12 mm bij 90 cm

en tot 24 mm bij 180 cm.

- De waarde van het kleinste schaalinterval:

Met welke stappen van gemeten eenheden moet een schaal per kleinste markering oplopen? Doet men dat bijvoorbeeld op een temperatuurschaal met stappen van één graad, of 2 of 4; met stapjes van 0,1 graad of van 0,33 of 0,8? In figuur 17.7 wordt zowel voor rechte als ronde schalen voor een aantal waarden van het kleinste interval het percentage foute aflezingen gegeven. De onderzoeker stelde de stand in, waarna de proefpersonen gedurende 2 s de meter konden zien. De conclusie is dat men voor de waarde van het kleinste schaalinterval (tussen de graderingsstreepjes dus) bij voorkeur 1 (rechte schaal) of 2 (ronde schaal) of de decimale equivalenten hiervan (10; 20; 100 enz.) moet kiezen.



Figuur 17.7 Percentage afleesfouten als functie van de waarden van het kleinste schaalinterval.

Getalsaanduidingen op schaalverdelingen

In figuur 17.8 worden enige resultaten gegeven van een onderzoek (Barber en Garner, 1951) naar de doelmatigheid van de diverse opeenvolgingen van getallen op een schaal. Hun conclusies zijn opgenomen in figuur 17.8.

goed					middelmattig				slecht			
1	2	3	4	5	2	4	6	8	3	6	9	12*
5	10	15	20	25	20	40	60	80	4	8	12	16
10	20	30	40	50	200	400	600	800	0	2,5	5	7,5
50	100	150	200	250					0	1,5	3	4,5
100	200	300	400	500					0	60	90	120*

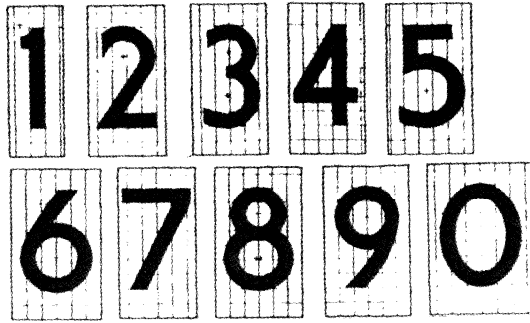
Figuur 17.8 De doelmatigheid van de mogelijke opeenvolgingen van getallen op een schaal; * met uitzondering van schalen met een klokverdeling en schalen waarop hoeken afgelezen moeten worden, in dat geval goed.

Leesbaarheid van tekens

Een goed leesbaar cijfertype (tachistoscopisch onderzoek, Lazet, 1955) op schalen is gegeven in figuur 17.9.

Gezien het grote aantal beschikbare letter- en cijfertypen via elektronische weg, kan men uit vele geschikte typen kiezen, zolang ze eenvoudig en open zijn en onderling voldoende verschillend.

De cijfer- en letterhoogte voor de gewenste (niet te grote) afleesafstand en onder



Figuur 17.9 Goed afleesbare standaardcijfers (deze worden benaderd door het Nobel en Gill type), Lazet, 1955.

verschillende verlichtingscondities, wordt wel berekend uit onderstaande formule (Peters en Adams, 1959):

$$H = 0,0022 \cdot D + K1 + K2$$

waarbij H de cijferhoogte is (cm), D de kijkafstand (cm) en K1 en K2 correctiefactoren.

K1 corrigeert voor verlichtingsconditie en afleesomstandigheden, volgens:

$$\begin{aligned} K1 &= 0,15 \text{ cm (bij een verlichtingssterkte} > 10 \text{ lx en gunstige afleesvoorwaarden)} \\ &= 0,40 \text{ cm (bij een verlichtingssterkte} > 10 \text{ lx en ongunstige afleesvoorwaarden)} \\ &= 0,40 \text{ cm (bij een verlichtingssterkte} < 10 \text{ lx en gunstige afleesvoorwaarden)} \\ &= 0,65 \text{ cm (bij een verlichtingssterkte} < 10 \text{ lx en ongunstige afleesvoorwaarden)} \end{aligned}$$

K2 is een correctiefactor die de belangrijkheid van de tekst verdisconteert: K2 = 0,19 cm voor belangrijke tekst (zoals waarschuwingen) en K2 = 0 in alle andere gevallen.

Voor een belangrijke mededeling (K2 = 0,19 cm) bij 50 lx verlichtingssterkte onder ongunstige omstandigheden (trillen bijvoorbeeld), dus K1 = 0,40 cm, en een afleesafstand van 100 cm, moet H derhalve zijn: $0,22 + 0,40 + 0,19 = 0,81$ cm.

Overigens zijn er nog vele andere formules in gebruik. In de praktijk houdt men vaak de globale regel aan dat de hoogte 0,5% moet zijn van de afleesafstand, mits deze laatste groter is dan 60 cm. Voor belangrijke mededelingen onder ongunstige omstandigheden komt men dan evenwel een factor 2 te laag uit; met 1% van de afleesafstand zit men dan aan de zeer veilige kant.

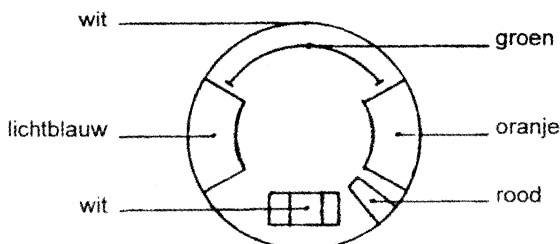
De plaats van cijfers op de schaal moet zodanig zijn dat ze gemakkelijk af te lezen zijn. Als daar voldoende ruimte is, moet men de cijfers aan de buitenkant van de gradering plaatsen, zodat de cijfers niet bedekt kunnen worden door de wijzer. De wijzer mag ook de gradering niet bedekken.

Bij cirkelschalen kiese men de stand van de cijfers overeind en niet radiaal.

De volgorde van de getallen neme men oplopend van links naar rechts voor horizontale, van onder naar boven voor verticale en kloksgewijs voor ronde schalen. De regel voor het aantal is: Alleen getallen aanbrengen die noodzakelijke

informatie geven; niet meer dan zeven.

Voor niet kwantitatieve doeleinden worden schalen vaak voorzien van een vormtextuur of kleurcodering (doe kleur niet bij rode omgevingsverlichting). De aanbevolen kleuren zijn gegeven in figuur 17.10. In combinatie hiermee wordt vaak nog vormcodering gebruikt.



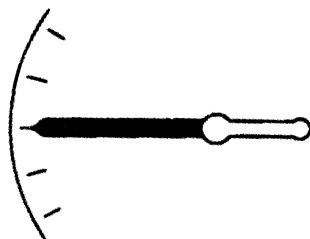
Figuur 17.10 Aanbevolen kleuren en vormen voor codering (rechthoek = teller).

De beste methode, om de operator snel te alarmeren dat een meter in het gevarengedebied staat, is volgens onderzoek van Kurke (1956) een rode wig om de wijzerpunt, die verschijnt zodra de wijzer in het gevarengedebied arriveert.

De wijzers

Algemene aanbevelingen voor wijzers vindt u in figuur 17.11 en hierna:

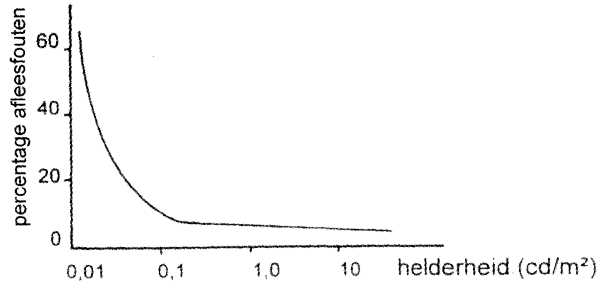
- de punt van de wijzer moet de gradering raken maar niet overlappen en mag niet breder zijn dan de (smalste) graderingsstrepen;
- parallax bij het aflezen moet zoveel mogelijk voorkomen worden door bijvoorbeeld: òf de wijzerpunt zo dicht mogelijk langs de schaal te laten lopen en een meswijzer te gebruiken òf een spiegelschaal toe te passen òf het gedeelte waarover de wijzernaald draait, verdiept te maken, zodat de wijzer in hetzelfde vlak komt te liggen als de schaalverdeling;
- voor de meeste toepassingen geve men de wijzer van draaimidden tot punt de kleur van de schaalverdeling en voor de rest die van de schaal; de verhouding tussen deze lengten moet men stellen op ongeveer 2 : 1;
- een eventuele tophoek van de wijzer make men ongeveer 40 graden.



Figuur 17.11 Algemene aanbevelingen voor de uitvoering van wijzers (Van Cott en Kinkade, 1972)

Verlichting

De verlichtingssterkte en daarmee de luminantie (helderheid, resultante van verlichtingssterkte en reflectievermogen) bepalen mede het aantal afleesfouten dat gemaakt wordt. Zie de grafiek in figuur 17.12 die gebaseerd is op onderzoek van Chalmers et al., 1950.



Figuur 17.12 Percentage afleesfouten als functie van de luminantie.

In de grafiek zien we dat luminanties kleiner dan ongeveer 0,1 cd/m² vermeden moeten worden. Enkele aanwijzingen voor de wijze van verlichten en de gewenste luminantie en specifieke gevallen staan in figuur 17.13.

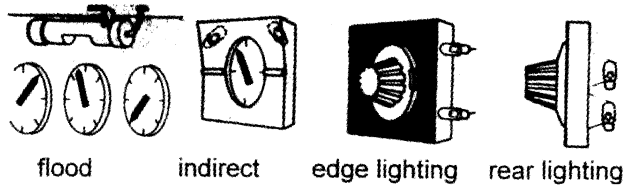
aard van het gebruik	aanbeveling		
	verlichtingswijze	helderheid	regeling van helderheid
aflezen van meter donker adaptatie noodzakelijk	rood licht, inwendig	0,07 – 0,35 (cd/m ²)	continu instelbaar over het gehele bereik
aflezen meter donker adaptatie gewenst	rood of rossig licht (lage kleurtemperatuur) inwendig en/of uitwendig naar keuze van operator	0,07 - 0,35 (cd/m ²)	continu instelbaar over het gehele bereik
aflezen meter donker adaptatie niet nodig	wit licht, uitwendig	3,5 - 70 (cd/m ²)	vast ingesteld of continu

Figuur 17.13 Aanbevelingen voor de verlichting van wijzerinstrumenten in relatie tot de gewenste adaptietoestand van de operator.

Rood licht wordt, zoals eerder uitgelegd, gebruikt in verband met de ongevoeligheid hiervoor van de in het duister actieve staafjes in het netvlies. De operator blijft dan optimaal geadapteerd.

Wat verstaan wordt onder uitwendige en inwendige verlichting van afleesinstrumenten en verschillende mogelijkheden hiervoor, is schematisch weergegeven in figuur 17.14.

Een overzicht van de voor- en nadelen van de verschillende methoden volgt hierna. Voordelen van uitwendige verlichting zijn:



Figuur 17.14 Methode van paneelverlichting (Van Cott en Kinkade, 1972).

- uniforme lichtverdeling gemakkelijk te realiseren;
- groot verlicht veld voor knoppen, schakelaars, schalen en verscheidene meters tegelijk maakt afstanden schatten gemakkelijker;
- gemakkelijk toegankelijk om lampen te verwisselen;
- goedkoop.

Nadelen van uitwendige verlichting zijn:

- veel strooilicht;
- verlichtingsarmaturen beperken soms zicht op instrumentarium en nemen werkruimte in beslag;
- uitstekende delen op het paneel werpen soms lange schaduwen;
- reflectie op glimmende paneel delen (glas) kan tot verblinding leiden.

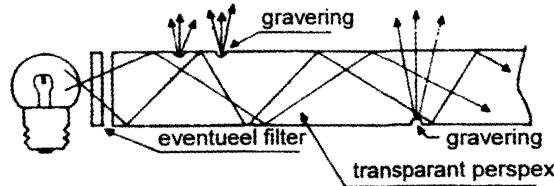
Voordelen inwendige verlichting zijn:

- weinig strooilicht;
- helderheid voor elke meter afzonderlijk regelbaar;
- neemt geen werkruimte in beslag.

Nadelen van inwendige verlichting zijn:

- ruimte tussen markers onderling en instrumenten is niet verlicht en daardoor is het moeilijk afstanden schatten;
- moeilijk om uniforme verlichting te realiseren;
- lampjes verwisselen vaak moeilijk.

Uit dit overzicht blijkt dat inwendige verlichting in principe zeer fraai is. Realisering is echter vaak moeilijk of kostbaar. Een eenvoudig principe is als volgt: men neemt een geschikt materiaal (bijvoorbeeld perspex), laat het licht aan één zijde naar binnen schijnen, het wordt dan door de gladde oppervlakken steeds verder het materiaal ingespiegeld (totale reflectie); waar het gladde oppervlak onderbroken is door bijvoorbeeld een graving wordt het licht naar buiten verstrooid. De graving licht daardoor op tegen de donker blijvende perspex achtergrond (figuur 17.15).



Figuur 17.15. Indirecte verlichting van wijzer(plaat) of paneel (Lazet, 1967).

17.4 De elektronische indicatoren en elektronisch gegenereerde tekens

Driedeling

De elektronische indicatoren voor dynamische visuele signalering verdelen we onder in drie groepen, te weten:

- Lampjes, L.E.D.'s ('light emitting diodes') en dergelijke, die alleen aan/uit (eventueel nog helderheid en knipperen) informatie verstrekken en voor het overbrengen van complexe boodschappen in een patroon gerangschikt moeten worden (bijvoorbeeld een lichtkrant).
- Elektronische cijfers, letters en andere tekens zoals bijvoorbeeld gebruikt in elektronische tellers, met insluiting van die welke gerealiseerd worden met behulp van projectietechnieken.
- Beeldbuizen, (Cathode Ray Tubes, kathodestraalbuizen) waaronder TV-schermen, geschikt voor het overbrengen van veel(soortige) en complexe informatie, ook in kleur.

Elektronisch gegenereerde tekens (signs)

De methoden om 'elektronisch' cijfers, letters en andere tekens te maken, kunnen we onderverdelen in vier groepen, namelijk die welke gebruik maken van:

- Een puntmatrix waarbij door het doen 'oplichten' van verschillende combinaties van punten de tekens gevormd worden (bijvoorbeeld een matrix van 7×5 L.E.D.'s geschikt voor de weergave van cijfers, letters en additionele tekens, zie figuur 17.16).

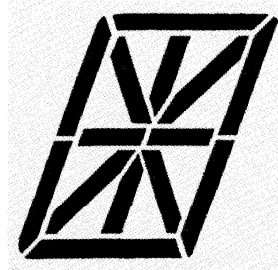
the quick brown fox
jumps over the lazy dog

Figuur 17.16 Opbouw van een alfabet in kleine letters in puntmatrix 7×5 (Dirken 1972b).

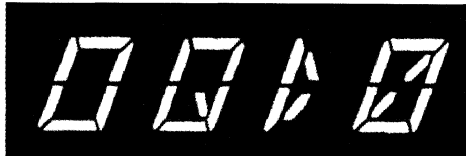
- Een aantal stripvormige segmenten waarmee door het doen oplichten van verschillende combinaties de cijfers gevormd worden (bijvoorbeeld de 7-segmenten cijfers (figuur 17.17), of de 14 en meer segmenten voor cijfers en letters (figuur 17.18, 17.19 en 17.20).



Figuur 17.17 7-segmenten cijfer.



Figuur 17.18 14-segmenten voor alfanumerieke tekens (Van Cott en Kinkade, 1972).



Figuur 17.19 Oplossingen voor moeilijke 'letters' bij 14 segmenten (Van Cott en Kinkade, 1972).



Figuur 17.20 Enkele voorbeelden van alfanumerieke segment-tekens.

- Continu vast gevormde cijfers (en letters) in sets (0 t/m 9) per 'digit' die naar keuze oplichten (bijvoorbeeld met Nixie buisje).
- Continu x, y en eventueel z sturing (helderheid, kleur) van een straal die een afbeelding vormt op een gevoelig materiaal; bijvoorbeeld een gestuurde laserstraal schrijft op een vloeibaar kristal (Liquid Crystal Display: LCD) of een elektronenstraal schrijft op een fluorescerend scherm (beeldscherm).

Over de derde groep van elektronische dynamische visuele signaalgevers, de beeldbuizen die heden ten dage de belangrijkste soort zijn, zal in dit studieboek niet verder worden ingegaan. Het vormt een onderwerp voor een voortgezette ergonomie-studie van de sensorisch en cognitief ondersteunende producten.

Begrippen

Gebruik van visuele signaalgevers:

- i1 in welke situaties visuele displays
- i1 signalering voor wie, wanneer, wat
- i1 informatie overbelasting
- k1 statische versus dynamische displays
- k1 informatie-niveaus: controle, kwalitatief, kwantitatief
- k1 momentane, historische en predictieve waarden

Technische oplossingen van dynamische visuele signaalgevers:

- k1 mechanische versus elektronische indicatoren
- k2 gebruiksdoelen en typen van mechanische aanwijzing
- k1 tellers
- k1 bewegende wijzer langs vaste schaal
- k1 bewegende schaal langs vaste wijzer
- k1 ronde, halfronde of rechte schalen
- k3 richtlijnen voor schalen
- i2 afleesfouten en afleestijden
- k2 lay-out van schaalmarkering
- k3 waarden van interval
- i2 keuze van getallen
- t2 leesbaarheidsformule voor tekens
- i2 kleurgebieden op schalen
- k3 aanwijzingen voor verlichting voor schalen

Elektronische indicatoren:

- k1 lampen, tekens en beeldschermen
- k1 LED en CRT en LCD
- k2 puntmatrix
- k2 alfanumerieke segment-tekens

Vragen en suggesties

- 17.1. Als er van uitgegaan wordt dat de titel van het hoofdstuk de belangrijkste tekst is, klopt de grootte van de letters dan met de formule

$$H = 0,0022 D + K_1 + K_2?$$

- 17.2. Is de lettergrootte van de lopende tekst in dit boek aan de veilige kant voor de door u toegepaste leesafstand?
- 17.3. Volgens Kurke is een rode wig rond een wijzer de beste methode om een

operator te waarschuwen. Hoe oordeelt u daarover in vergelijking met een auditieve signalering?

- 17.4. Wat zijn – functioneel gezien – de visuele displays op/van het menselijke lichaam?
- 17.5. Welke typen en vormen van statische en dynamische displays vindt men in de gebruikelijke verkeerssignalering?
- 17.6. Welke niet-visuele signaalgevers voor blinde en slechtziende verkeersgebruikers kent u?
- 17.7. Er zijn ontwerpen voor een (groot) polshorloge met beeldscherm voor algemene audio-video communicatie en individuele data-opslag. Welke display problemen onderkent u?
- 17.8. Op een monumentale fabriekshal zichtbaar op 700 meter van de snelweg moet de firmanaam afleesbaar staan. Hoe hoog zijn die letters?
- 17.9. Bedenk de voor- en nadelen van digitale versus analoge wijzerplaten van horloges.
- 17.10. Op een eenvoudig, klein beeldschermje in een nachtwakerscabine moeten diverse waarschuwingsboodschappen worden aangeboden. Hoe wordt op de juiste wijze aandachtgetrokken?
- 17.11. Is het volgens de theorie in dit boek noodzakelijk de koelwatertemperatuur in de auto middels een visuele display weer te geven? Of zou er alleen een signaal, in welke vorm dan ook, nodig zijn als de motor oververhit is?
- 17.12. Herontwerp de visuele display van een giromaat. Maak daarbij gebruik van een optimale mens-product interactie.
- 17.13. Ga na in welke dagelijkse gevallen er sprake is van informatie overbelasting voor wie.
- 17.14. Welke belangrijke informatie-niveaus kunnen we onderscheiden?
- 17.15. Noem een dynamisch display dat alleen momentane waarden geeft. En noem er een die waarden geven over een bepaalde periode in het verleden.
- 17.16. Welke soorten indicatoren zijn er en welke van die twee zijn er in opkomst? Moet u daarom altijd voor de meest moderne kiezen?
- 17.17. Is de kilometerteller in uw auto optimaal?
- 17.18. Herontwerp de kilometerteller in uw auto naar aanleiding van de vuistregels betreffende het minimaliseren van afleesfouten.
- 17.19. Welke drie groepen bestaan er betreffende elektronische indicatoren?
- 17.20. Stel uw eigen alfabet samen met 18 LED's (lichtpuntjes). Lukt dit?
- 17.21. Een recente innovatie bestaat uit een geminiaturiseerde, dynamische visuele signaalgever in een contactlens of vlak voor het hoornvlies. Noem voor- en nadelen.

Deel

IV

Cognitieve
ergonomie

18

Denken en besluiten over producten

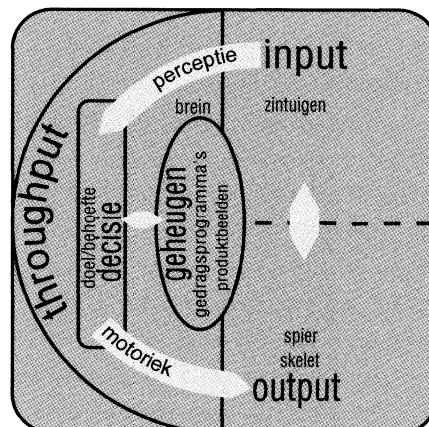
Samenvatting

In beide voorgaande delen zijn vooral de fysieke en zintuiglijke aspecten van de mens-product interactie aan de orde gekomen. Tussen die output en input zitten echter de nog belangrijker ‘throughput and storage van informatie’. Het brein overweegt, stuurt, onthoudt en plant het productgebruik. Een groeiend aantal gebruiksgoederen en -systemen is ook vooral bedoeld als hulpmiddel voor het brein en dus om beter te kunnen overzien, beslissen en onthouden: de categorie cognitief ondersteunende producten. De mentale processen en cognitieve determinanten van productgebruik zijn uiterst gevarieerd en nog weinig bekend. Desalniettemin zijn er al vele belangrijke inzichten, zoals over het ontstaan van productbeelden bij gebruikers en over kenmerken en factoren van het leren bedienen. Vormen van gebruiksonderzoek met ontwerpmodellen of met bestaande producten kunnen belangrijke bijdragen leveren bij het innoveren van gebruiksgoederen en dat geldt vooral bij het ontwikkelen van ‘intelligente’ producten en productsystemen.

18.1 Informatie-verwerking in het mens-product interactie model

Wikken en wegen, onthouden en vooruitzien

In het model van de mens-product interactie, dat in dit studieboek steeds als leidraad dient, staan in de linkerhelft van de Mens enkele belangrijke functies van geleiding en bewerking van informatie-stromen (figuur 18.1).



Figuur 18.1 Mens-deel van het mens-product interactie model.

Het kan gaan om een verbinding van een input aan een output, maar niet zo direct dat er sprake is van een reflex die nagenoeg direct van het zintuig-systeem naar het spier-skelet systeem loopt (bril zakt plots af en je grijpt ernaar) (figuur 3.11). Het gaat hier om complexere verbindingen tussen input en output, vooral die waar tijd wordt uitgetrokken voor interpreteren, voor gebruik van geheugens, voor afwegen en besluiten (bijvoorbeeld wanneer er tegelijkertijd vier auto's uit de vier richtingen komen op een kruispunt zonder stoplicht). De verbindingen van het hoogste niveau lopen via het bewustzijn (zie ook figuur 3.12). Door het geheugen wordt de tijdsdimensie toegevoegd en kunnen ervaringen en handelingen van vroeger, korter, of langer geleden van invloed zijn (bijvoorbeeld: bij een bepaald exemplaar van een centrifuge weet men uit lange ervaring dat de deksel pas goed sluit als er een klap op is gegeven). Door het bewustzijn met zijn vooruitzien, verwachten en plannen kan de tijdsdimensie ook als toekomst van invloed zijn (bijvoorbeeld: als ik dit vlak snel verf, is het net droog voordat ik weg moet).

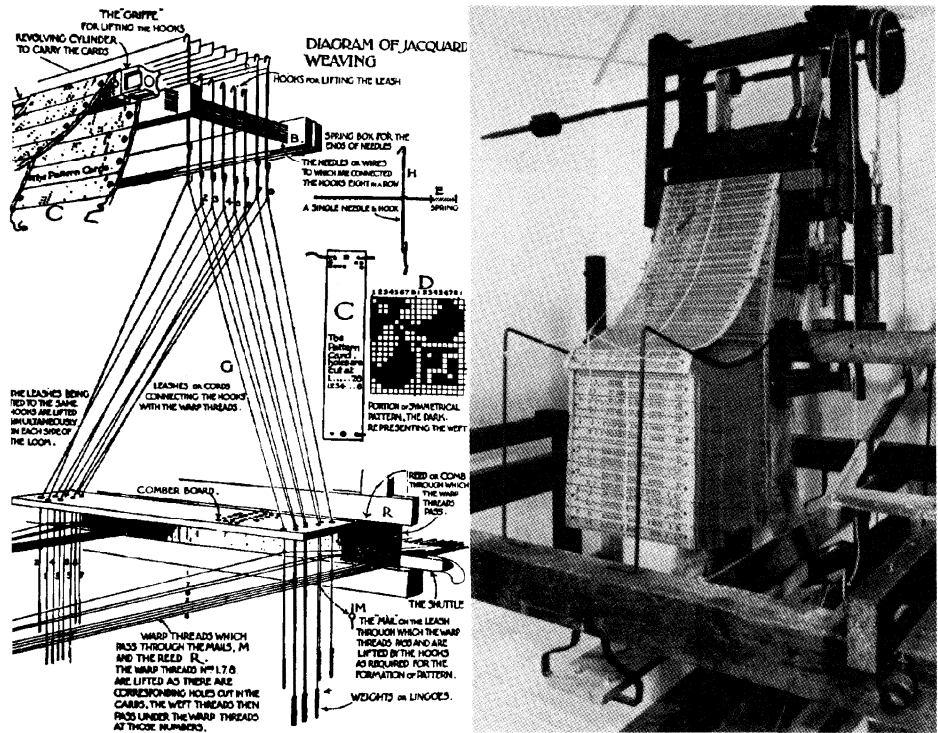
Cognitief ondersteunende producten

In het model staan als spiegelbeeld ook, in de rechterhelft van het Product, overeenkomstige functies van doorgeleiden van signalen en bewerken ervan. Bij niet alle producten zijn de functies van geheugen (bijvoorbeeld wasmachine met wasprogramma's), decisie (bijvoorbeeld elektrisch waterketeltje dat bij koken stroomtoevoer afsluit) of zelfs van leervermogen (veelal nog in experimenteel stadium, bijvoorbeeld bij een automatisch verkeersregelingsysteem) aanwezig. Indien één of meer van die functies wel zinvol kunnen worden onderscheiden, kan gesproken worden van 'intelligente producten' (smart-products). Het zijn juist deze producten die de cognitieve ergonomie typeren. Overeenkomstig de delen van dit studieboek kunnen die worden aangeduid als 'cognitief ondersteunende producten'. Dit neemt niet weg dat de informatiebewerkende functies van de mens, zoals herkennen, beslissen en routines aanleren, ook van groot belang zijn bij de overige categorieën van producten: fysiek-, sensorisch- en algemeen ondersteunende producten.

Opkomst van intelligente producten

De intelligente producten vormen in zekere zin de moeilijkste en tot nu laatst verschijnende groep van hulpmiddelen in de techno-culturele evolutie. Weliswaar vormden tekeningen en schrift een type van geheugenhulpmiddel, dat al duizenden jaren oud is, maar pas na 1750 ontstaan de eerste machines met programmering en regeling. Voorbeelden hiervan zijn het weefgetouw met ponsband van Jacquard, dat te zien is in figuur 18.2, de toerental-begrenzer op de stoommachine, en het mechanisch computer ontwerp van Babbage. Door de recente opkomst van de meet- en regeltechniek, micro-elektronica en informatica, is de stroom van intelligente producten zich snel aan het verbreden en vernieuwen. Waren tot voor kort intelligente producten alleen aan te treffen in professionele sectoren, nu is er ook een forse penetratie in huishoudelijke omgevingen en in openbare ruimten.

Ook de lerende machines zijn in opkomst, al gaat dat nog niet zo snel.



Figur 18.2 Weefgetouw van Jacquard (Browdy, 1979).

Automaten met menselijke trekken

Het blijft toch een opmerkelijk verschijnsel dat de homo sapiens in staat is materialen zodanig om te vormen dat er materiële functievullers ontstaan met nauwkeurig bepaalde functies van onthouden en besluiten en soms zelfs van plannen en leren. De wasautomaat loopt een program af van wassen, spoelen, drogen. De tijdsdimensie wordt in het product aangebracht (wekker, veevoeder dosering) en dat is dus een andere tijdsinvloed dan slijtage als opeenhoping van verleden. Er ontstaan kunstmatige, eenvoudige, breinen, waarmee gebruikers een symbiose aangaan; 'het brein wordt deels buiten het lichaam geplaatst: ge-externaliseerd'. Het begrip 'automaat' (zelf-beweger, zelf-denker) wordt ook wel eens voor die cognitief ondersteunende producten gebezigd. Omdat deze automaten menselijke trekjes vertonen, treden er ook bijzondere verschijnselen op. Ofschoon de verlengstuk-theorie steeds opgaat - het gaat immers nog steeds om 'prothesen en orthesen', maar nu voor het brein - wordt de ervaren afstand tot het product groter. Intelligente producten worden vaak als bijna-mens ervaren, zij vervangen ook vaak mensen (functies van rekenaars, boekhouders, bewakers enzovoort). Er ontstaan interacties, die soms lijken op omgangspatronen met andere mensen. Het oogmerk is vanzelfsprekend dat de automaat dan een assistent of partner is en niet een

dictator. Die vermenschelijking blijkt ook in het spraakgebruik, wanneer bijvoorbeeld over dood rekentuing wordt gesproken als: 'hij wil vandaag niet', en 'waarom is 'ie niet aardig tegen me?'.

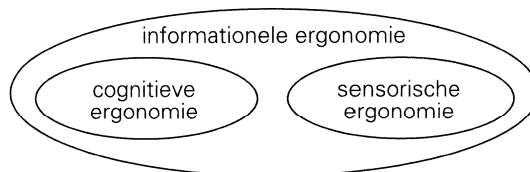
Toenemende spreiding van mens-product interactie

Voor de productergonomie is het van belang te constateren, dat de interactiepatronen bij deze producten, in vergelijking met de lagere categorieën, ingewikkelder, uitgebreider en gevarieerder plegen te worden. Tevens worden er ook veelal door de automaten functies vervuld die voor de gebruikers van groter of vèrstrekkender belang zijn (bijvoorbeeld automaat voor patiënten-bewaking bij de intensive care).

Tevens dient te worden opgemerkt dat intelligente producten zich bij uitstek goed lenen voor een opbouw tot een productensysteem. Vooral kan men hierbij denken aan het (tele)communicatie systeem, met een netwerk van een centrale en vele gebruikspunten (zoals telefoon, 'local area network of computers', geldautomaten met bankcentrale verbonden). De toename in diverse opzichten van de mens-product interactie gaat samen met langduriger processen om te leren gebruiken en met grotere inter- en intra-individuele s^2 (zie 4.1) van de karakteristieken van gebruikers. Zo blijken kaartjesautomaten voor ouderen vaak moeilijke toestellen. Ook zijn er grotere problemen betreffende herkenbaarheid van product-onderdelen-systemen en van hun dynamica. Daarom kan men ook aannemen dat de voorspelbaarheid van gebruikswijzen afneemt (zie 4.4 'Ontwerpen voor herkenbaarheid en gebruik'). Het ontwerpen wordt er daardoor niet eenvoudiger op en is dan ook vaak de taak van een multi-disciplinair technisch team. Gezien de beoogde ergonomische productkwaliteiten (nuttig, doelmatig, comfortabel en veilig), is het dus extra dienstig in een vroeg ontwerp-stadium te beginnen met een ergonomische systeem- en- functie-analyse.

Informationele ergonomie

De cognitieve ergonomie heeft meer overlap met de sensorische dan met de fysieke ergonomie. Beide eerste worden vaak gebundeld onder de naam 'informationele ergonomie' (figuur 18.3).



Figuur 18.3 Informationele ergonomie.

Dat is begrijpelijk. Bij de mens-product interactie ligt de nadruk op de informatiestromen; ook wat het spier-skeletstelsel geeft als output kan als informatie worden opgevat. Dat is bijvoorbeeld duidelijk bij het doorgeven van een commando via een drukknop, of bij het precies hanteren van een pincet. Toch is de informatie-

doorstroom via de zintuigen dominanter dan die via de spieren. Daar komt bij dat de sensorische systemen niet alleen informatie verwerken, in de betekenis van doorgeleiden, maar dat zij die ook bewerken: zij selecteren, ordenen en geven een eerste interpretatie van de instromende signalen.

Er is nog een reden aan te geven voor de verknoping van de sensorische met de cognitieve ergonomie. Die is te vinden in een trend van de productontwikkeling. Met enige abstractie kan worden gesteld dat de menselijke motorische component van hulpmiddelen geringer wordt.

De trend is: goed waarnemen, daarbij veel weten en beslissen, maar uiteindelijk eenvoudig reageren. Een beeldscherm, bijvoorbeeld, biedt veel informatie aan; er vindt erna in feite vooral interactie met het brein plaats, en aan het eind van de lus drukken vingers eenvoudige toetsen in. Die trend betekent echter niet alleen vervanging van oudere typen hulpmiddelen, maar ook een uitbreiding en toevoeging. Er blijven nog zeer veel fysiek ondersteunende producten over en daar komen ook nieuwe, ingewikkelde, motorische stuurprocessen voor (bijvoorbeeld joysticks bij taken met volgsturing: tracking).

Cognitieve ergonomie is recent ontstaan

Ondanks die innige relatie met de cognitieve ergonomie heeft de sensorische ergonomie toch een zwaartepunt bij de sensorisch ondersteunende producten, de signaalgevers ofwel displays. De cognitieve ergonomie is, als jongste tak van de ergonomie dus bezig met de jongste typen van producten en is nog niet ver ontwikkeld. De toeleveringsdisciplines zijn vooral de psychologie en de informatica. Bij de psychologie gaat het niet zozeer om de persoonlijkheidsleer of sociale psychologie, ofschoon ook daaruit veel wetenswaardigheden en toepassingen zouden kunnen komen. Meer gaat het, zoals al in 2.3 kort aangegeven, om delen van de psychologische functieleer, die de algemene processen van leren, onthouden, plannen en beslissen nader analyseren.

18.2 Wat van cognitieve ergonomie al behandeld werd

De cognitieve processen staan in het midden van de lus van waarnemen en handelen. Daarom was het onvermijdelijk, soms bij het deel over fysieke ergonomie (bijv. hoofdstuk 11) en regelmatig in het deel over sensorische ergonomie, ook al cognitieve aspecten te behandelen. Bij het eerste, inleidende deel werd een totaalbeeld vooraf gegeven en ook daar kwam al de informatie-stroom aan bod, die mede in dit deel IV thuis hoort. Hier wordt dat voorgaande kort in herinnering geroepen om het verder te gebruiken. In het derde hoofdstuk werd na uitleg van de systeem-beschrijving het mens-product interactie model neergezet om te dienen als overzicht, geheugensteun en als basis voor functie-analyse. De waarneming-handeling spiraal werd beschreven en hoe de informatie-doorstroming bewust of nauwelijks bewust kan verlopen. De drie typen van informatiebronnen werden aangeduid: extern, geheugens en eigen lichaam. Daarop volgde een brein-model met de belangrijkste subsystemen van de centrale informatie-verwerking. In

hoofdstuk 4 kwamen onder meer de opeenvolgende fasen van het gebruik aan bod. Die fasering heeft juist bij intelligente producten extra aandacht. Het geheugen voor producten werd voorgesteld als een drietal ‘woordenboeken’ voor herkenning van: wat, waarvoor, hoe (4.4). In de hoofdstukken over de fysieke ergonomie werd in hoofdstuk 9 gesproken over de kosten van productgebruik en werd een eerste omschrijving gegeven van mentale belasting, dat straks hoofdonderwerp zal zijn in hoofdstuk 19. In hoofdstukken 10 en 11, gewijd aan het ontwerpen van productbediening, werden compatibiliteitsregels uitgelegd, als specifieke verwachtingen omtrent effecten van bedieningshandelingen. In het derde deel, over de sensorische ergonomie, werd de nadruk gelegd op de opvang van informatie door de externe en interne zintuigen. Daarbij werden de hogere waarnemingsprocessen in het brein vaak meegenomen, zoals het waarnemen van vormen en het interpreteren van technisch vervaardigde signaalgevers.

18.3 Het product in het brein

Het geheugen voor productaspecten

De cognitieve processen spelen een rol bij alle interactie met gebruiksgoederen. Wat hierna wordt behandeld, heeft dus een algemene geldigheid. Voor intelligente producten geldt het echter in bijzondere mate.

Er is al vaker aangegeven dat iedere volwassene, die nu in de westerse, vertechniseerde maatschappij leeft, over een brede productervaring moet beschikken voor een normaal functioneren thuis, of op het werk, of in de openbare ruimten. Ook wie als zeer onhandig en ontechnisch wordt beoordeeld, verdient die kwalificatie alleen maar in vergelijking met zijn tijd- en cultuurgenoten, want hij zou een middel-eeuws ingenieur imponeren. Dat moet ons doen realiseren welke vele leertaken een kind heeft en dat er, al dan niet terecht, ‘omscholing’ wordt geleverd van onze oudere generatie (voor bijvoorbeeld betaalautomaten en vernieuwde telefoonsystemen). Die brede productervaring betekent data-opslag in het lange-termijn geheugen en dat werd eerder (4.4) beschreven met het beeld van drie woordenboeken. Daarin moeten, met enige ordening en oproepmogelijkheid, vele zaken zijn vastgelegd omtrent onder meer gebruiksgoederen: vormen, typen van onderdelen, ruimtelijke combinaties, waar wat te verwachten, wat ze doen, hoe ermee om te gaan.

Die opslag, als opeenhoping van een langdurig en intens leven met producten, kent uiteraard een zeer grote inter-individuele variantie. Door verder gebruik, door het leren en vergeten, is er zeker ook sprake van intra-individuele variantie. Die individuele woordenboeken veranderen in de tijd. Ook kan men veronderstellen dat zij bij niemand volledig, foutloos of zonder innerlijke tegenspraak zijn. Nu enkele te onderscheiden toepassings-situaties:

1. nieuw product

Een individu wordt voor een hem onbekend apparaat gezet en zal bijvoorbeeld als

volgt redeneren: “dat zal in deze situatie wel met muziek te maken hebben; is er links-onder een aan-uit ding?; die schuif zal wel een soort intensiteitsregeling zijn en hier dus voor luidheid; of een filter voor hoge en lage tonen? nee want er is er maar één; waarschijnlijk heeft naar rechts schuiven luidere muziek als effect; laat ik maar beginnen met die schuifstand op ongeveer 1/4 te zetten”. Ook valt in te denken hoe ongeveer een leek zou denken bij het rondkijken in een winkel met medische apparatuur: vele vraagtekens, diverse vermoedens en slechts enkele herkenningen met enige zekerheid. Men zou kunnen zeggen dat er, op basis van opzoeken en vergelijken uit die denkbeeldige (!) woordenboeken, hypothesen worden opgesteld, die erna door verder bekijken, of proberend handelen, worden getoetst. Het kan soms om wilde gissingen en probeersels gaan.

2. zoeken naar bekend product

Een andere situatie is het, wanneer iemand zich voorneemt om iets voor elkaar te krijgen en in zijn geheugen op zoek gaat naar een of ander hulpmiddel dat op de een of andere manier dienstig zou kunnen zijn. Het zoeken in de eigen instrumentenkist is in zulk een geval ook een kwestie van blijvend herkennen, interpreteren en selecteren met het oog op het voorgenomen karwei.

3. plannen van gebruik

Weer een andere situatie is er, wanneer vooraf een plan wordt getrokken en in gedachten de vertrouwde hulpmiddelen worden uitgekozen en in een volgorde of combinatie worden ingezet (eerst die steenboor, dan die pluggen, erna die schroeven, mijn schroevendraaier enz.).

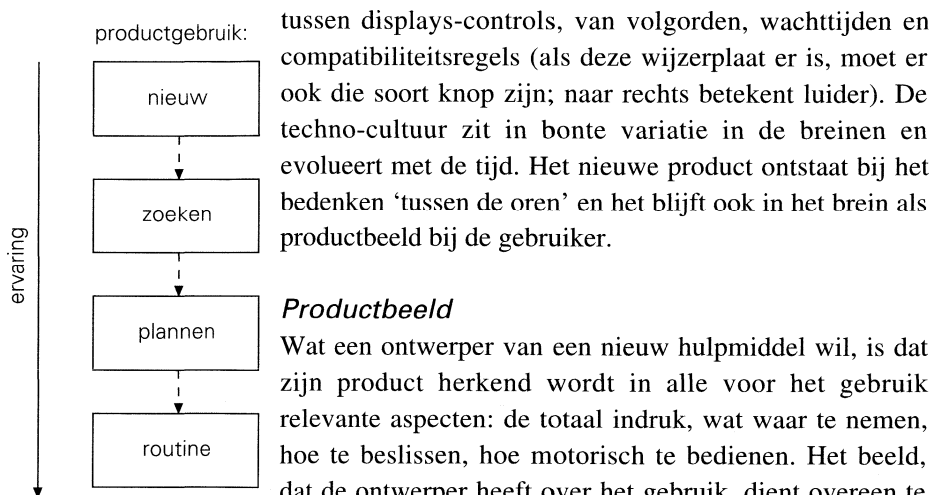
4. routine gebruik

In de meerderheid van de gevallen worden er bekende producten routinematig gebruikt. Het verloopt vloeiend, bijna blindelings en de bewuste gedachten vertoeven vaker elders dan bij dit productgebruik.

Productrepresentaties

In alle vier gevallen: nieuw, zoeken, plannen, routine, is er sprake van representatie van producten, onderdelen, functies en dergelijke in het brein. Het is niet overdreven te zeggen dat voor de gebruiker ‘het product in het brein’ is. Die representaties zijn dus afhankelijk van de ervaring (figuur 18.4), het beroep, en de stijl van leven; sommigen zijn ten aanzien van bepaalde productsoorten pioniers of freaks; anderen zijn weer afstandelijk of conservatief.

De representaties kunnen vager of scherper zijn en ook dat kan gaan over totaalbeelden of details (Hoe precies kunt u uw eigen voordeur of fiets beschrijven of die uit het hoofd natekenen?). In die representatie zijn ook verbanden opgenomen. Ongemerkt ontstaat er ook enige kennis van bijvoorbeeld productstijlen: kenmerkende elementen en patronen in verschijningsvormen, waar die aan te treffen of bij welk type gebruiker dat vooral hoort. Er ontstaat kennis van relaties



Figuur 18.4 Typen van confrontaties met producten.

tussen displays-controls, van volgorden, wachttijden en compatibiliteitsregels (als deze wijzerplaat er is, moet er ook die soort knop zijn; naar rechts betekent luider). De techno-cultuur zit in bonte variatie in de breinen en evolueert met de tijd. Het nieuwe product ontstaat bij het bedenken 'tussen de oren' en het blijft ook in het brein als productbeeld bij de gebruiker.

Productbeeld

Wat een ontwerper van een nieuw hulpmiddel wil, is dat zijn product herkend wordt in alle voor het gebruik relevante aspecten: de totaal indruk, wat waar te nemen, hoe te beslissen, hoe motorisch te bedienen. Het beeld, dat de ontwerper heeft over het gebruik, dient overeen te stemmen met het beeld bij de gebruikers. Kortom, hun productbeelden moeten gelijk zijn.

Die overeenstemming is er idealiter zonder uitleg en instructie. Vooral bij complexe producten en product-systemen - en dus vaak bij intelligente producten - groeit het belang van het ergonomische begrip 'productbeeld', het beeld dat de gebruiker vormt van een product in een bepaalde situatie. Het productbeeld is minder belangrijk bij een nietjes-apparaat dan bij een personal computer. Die laatste kan immers op vele manieren en voor vele doelen worden ingezet. Het tijdig kennen van de productbeelden die gebruikers hebben van een product, dat dan nog in wording is, bevordert de ergonomische aanpassing bij het ontwerpen (zie bijvoorbeeld ook: Norman, 1988).

Richten van een ontwerp op productbeelden van gebruikers

Het achterhalen van die productbeelden van gebruikers, althans van de meest representatieve beelden voor de gebruikersgroep, is echter eenvoudiger gezegd dan gedaan. Die beelden zijn weinig bewust en niet vlot onder woorden te brengen. We zijn ons gewoonlijk niet erg bewust op welke productaspecten we letten en hoe we handelen. De dagelijkse taal is overigens nauwelijks geschikt voor een precieze weergave van dat handelen en overige lichaamsbewegingen. Het ontdekken van een productbeeld bij proefpersonen die voor een schaalmodel van een nieuwe machine staan, is vanzelfsprekend nog moeilijker. De frisse blik en spontane handelingen kunnen veel zeggen, maar de onzekerheid of die het uiteindelijke productbeeld voorspellen is groter. Als men echter een tijdschakelklok ontwikkelt, bijvoorbeeld voor lampen in huis bij afwezigheid, zou de opvatting bij gebruikers over het wanneer en hoe te gebruiken een verdere ontwerpdetailering kunnen bijsturen. Bij het re-design van een software-pakket is het behulpzaam te weten wat de huidige gebruikers menen over de toepassingen en hoe zij dat metterdaad doen. De productbeelden van gebruikers zijn van eminent belang gebleken bij analyses

van de werkzaamheden van personeel in regelzalen van grote processen. Die blijken vaak onderling sterk te verschillen in hun nauwelijks bewuste aanpakwijzen, bij het instellen van grenswaarden, in het volgen van het ene proceskenmerk of het andere, of de tijd die men verwacht voor een bepaalde procesontwikkeling. Die productbeelden zullen wel alle binnen de marges van behoorlijk werken liggen, maar de ene tactiek kan slimmer, doelmatiger of veiliger zijn dan de andere. Het expliciet maken ervan kan betere instructies opleveren, een beter ontwerp van het controle-paneel of opname in een softwareprogramma. Bij meer vrijheidsgraden in een productgebruik zullen de productbeelden meer verscheidenheid tussen gebruikers te zien geven. Een software-pakket bijvoorbeeld, moet verschillende productbeelden ondersteunen of toelaten. Het bestaan van zo'n beeld impliceert meestal wel dat er per individuele gebruiker minder intra-individuele variantie is. Door te leren bedienen op een bepaalde wijze, is een bepaald interactiepatroon gevestigd. Dat brengt ons tot het volgende onderwerp.

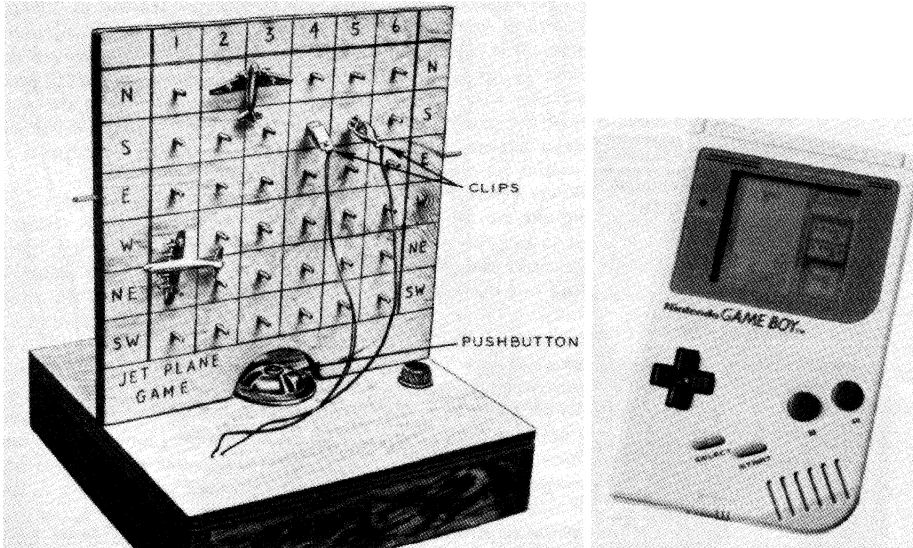
18.4 Het leren bedienen

Productinnovatie: wennen en leren

Een nieuw ontworpen product kan voor de doelgroep van gebruikers kleinere of grotere veranderingen tot gevolg hebben. Soms behoeft er nauwelijks te worden geleerd (zie ook hoofdstuk 11), maar soms juist langdurig of zelfs via een cursus. Dat kan tussen generaties verschillen. Een halve eeuw geleden werd kinderen fietsen geleerd met behulp van een tuigje, lange riem en meehollende, bezorgde ouder. De indruk is nu meer dat de geheel onervaren peuter erop springt en er fors mee wegrijdt, zij het nog wat zwabberend. Tegenwoordig is er ook elektronisch kinderspeelgoed, dat eigenlijk voorbereidt op beeldschermwerk later (figuur 18.5). Een ontwerper hoopt dat er bij de gebruikers snel een adequaat productbeeld groeit, met een ergonomisch juiste gebruiksgewoonte. Het slechte bericht over dat leren is, dat eenmaal aangeleerde fouten moeilijk zijn af te leren. Het goede bericht is, dat gebruiksgewoonten goed worden onthouden. Fietsen of schaatsen verleert men na jaren van onbruik nauwelijks en dat geldt voor vele, vooral motorische aspecten en interactiepatronen. Eens geleerd, lang gedaan.

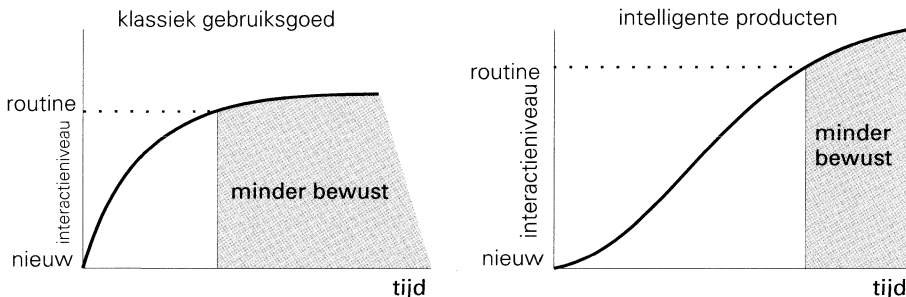
Leercurves, tactieken en strategieën

Het leren dient in dit kader niet alleen te worden opgevat in de betekenis van het verwerven van kennis, maar ook in de zin van de groei van vaardigheid. Die laatste is ook beter te observeren aan uiterlijk gedrag. Het hanteren van het nieuwe product moet bij een aantal keren van gebruik verbetering te zien geven. Van het gebruikresultaat mag men verwachten: meer of sneller, nauwkeuriger of minder fouten. Van de productbediening hoopt men te registreren: minder onnodig handelen, groeiende zekerheid en comfortgevoel, minder risico's. De mens-product interactie zal na oefening vloeiender en automatischer worden en ook minder bewuste aandacht vergen. Vanaf het begin valt er meestal eerst een snelle stijging



Figuur 18.5 Oude en moderne elektro-toys.

te zien en erna een plateau. Een prestatie-niveau en het automatisme wijzen op het ontstaan of volgroei van een gedragsprogramma. Bij intelligente producten duurt het tot stand komen van beeld en routine langer dan bij eenvoudiger te hanteren producten en wel omdat de vrijheid groot is en de informatie-dichtheid hoog (zie figuur 18.6).



Figuur 18.6 Het groeien naar routine-matige Mens-Product Interactie.

De routine kan bij intelligente producten ook verder doorgroeien tot een netwerk van subroutines en verschillende tactieken. Dat kan als een 'gebruiksstrategie' worden betiteld. Bij doorleren kunnen de subroutines en de criteria die ze oproepen, worden verbeterd en gewijzigd. Delen van de gebruiksstrategie kunnen vervallen en er ontstaan 'short-cuts' (snellere wegen om hetzelfde resultaat te bereiken). Het leren omgaan met handwerktuigen (vijl, beitel) vertoont voornoemde regelmaat, maar dat geldt – voor de goede beschouwer – ook voor fietsen, telefoneren, of meer nog, voor het werken aan een workstation met een programma voor 'computer aided design'.

Gebruiksstijlen

Ofschoon het onderzoek ernaar zeer spaarzaam is, is de voorwetenschappelijke indruk sterk, dat er ook persoonlijke ‘gebruiksstijlen’ bestaan, in de betekenis dat er overeenkomsten bestaan tussen de bedieningspatronen die een en hetzelfde individu toepast bij uiteenlopende producten. Snelheid, of kracht, risico-nemen of voorzichtigheid kunnen iemand bij veel van zijn productgebruik typeren. In een bepaalde gebruikersgroep zouden bepaalde groepen van gebruiksstijlen door onderzoek kunnen worden onderscheiden. Dat is echter eerder een taak voor psychologisch onderzoek, waar men soms ook ‘leerstijlen’ analyseert. Gebruiksstijl zal waarschijnlijk maar een geringe voorspelbaarheid hebben, indien we denken aan de factoren zoals toepassings situatie, type product, stemming, gehaastheid en velerlei omgevingsfactoren. Een gebruiksstijl kan gezien worden als een algemene gebruiksstrategie. Recent cognitief-ergonomisch onderzoek toont wel aan dat gebruiksstrategieën in het algemeen kunnen veranderen onder invloed van een product. Zo blijkt bijvoorbeeld dat het schrijven van een brief of artikel, wat betreft fouten, vooruit denken en zinslengte, bij een tekstverwerker iets anders gaat dan bij het schrijven met de hand.

Onvolledig waarnemen en gebruiken

Het, al dan niet voorlopige, eindresultaat van een leerproces om een bepaald product te hanteren, kan ook uiterst beperkt zijn. Door onvolledigheid van ‘de woordenboeken’, wegens de specifieke behoeften van gebruikers, of door toevallige (gebruiks-)omstandigheden, kan het productbeeld van een gebruiker zeer incompleet zijn in vergelijking met het ontworpen beeld. Veel delen van producten worden nooit bewust gezien en veel gebruiksmogelijkheden worden nooit ingezet. Naarmate een hulpmiddel meer omvat, is de kans op volledig waarnemen en gebruiken ervan evident kleiner. Dat dit een muziek-stereotoren met vijftig knoppen overkomt, is invoelbaar; dat nuttige faciliteiten van een telefoonnet (re-dial, follow-me, tijdwaarschuwing) slechts door weinigen worden gebruikt, is jammer.

Bij het waarnemen van iets nieuws, vindt er deels een opeenvolgende analyse plaats van onderdelen, maar ook en direct wordt er een totaalbeeld opgenomen. Van meet af aan blijkt hier echter onvolledigheid te kunnen optreden, die niet later wordt ingevuld. Voor hoeveel procent van de doelpopulatie men welke (extra) onderdelen, vormen en mogelijkheden heeft bedacht, is vooral voor een ontwerper van intelligente producten dus een interessante vraag. Indien het product vooral dient als een visuele vulling van de leefruimte, is dat nog te zien als een secundaire functie, om de ontwerpinspanning nog voor een deel te rechtvaardigen. Zeker in situaties van overvloed of overmaat van producten, kan niet steeds volledige benutting en continue aandacht bij gebruikers worden verwacht. Veel productgebruik is dus èn automatisch èn onvolledig. Er wordt veel ontworpen voor surplus en voor het minimaliseren van moeite en aandacht. Of de productergonomie zulk een ontwerptrend zou moeten ondersteunen, is meer een ethische dan een

wetenschappelijke vraag (economie, gezondheid).

18.5 Gebruiksonderzoek

Het laten gebruiken van productmodellen

Bij hulpmiddelen met veel vrijheidsgraden van gebruik is er een spanningsveld tussen twee polen. Enerzijds kan men de gewenste vrijheid en variatie in gebruik en de verantwoordelijkheid van de gebruiker noemen. Aan de andere kant staat het plan van de ontwerper om een nuttig en doelmatig product te leveren, is er het risico voor de consument van onbegrip en van onvolledig gebruik en staat de verantwoordelijkheid van de ontwerper. De onvoorspelbaarheid van de variantie van mens-product interactie moge dan soms groot zijn, maar die kan in principe toch worden verbeterd door gebruiksonderzoek. Omwille van de duidelijkheid zij er nog eens op gewezen, dat we het hier hebben over de ontwerponzekerheden die overblijven nadat achtereenvolgens een goede systeem-analyse en ergonomische functie-analyse zijn uitgevoerd, nadat er ook een zinvol profiel is opgesteld van de gebruikerskenmerken die voor die interactie kritisch zijn, en er verantwoorde populatie-keuzen zijn gemaakt volgens één van de vijf (!) ontwerptypen (4.2). De onzekerheden kunnen dus worden verminderd door representanten van de beoogde gebruikersgroep te confronteren met, of hen de bediening te laten proberen van, een product in verschillende stadia van wording: eerste schetsen, CAD-plaatjes of 'spuugmodellen', realistische mock-ups of prototypen. De observatie van de interactie tussen mens en product bij soortgelijke, reeds oudere producten kan ook zinvolle informatie opleveren.

Overlap met 'gebruikersonderzoek'

Bij deze inleiding tot de product- en systeemergonomie kunnen over het gebruiksonderzoek niet meer dan enkele inleidende en algemene overwegingen worden gemeld. Om te beginnen dient er een onderscheid te worden gemaakt met het – overigens verwante – gebruikers-onderzoek. Dat laatste is een van de technieken van het markt- en consumentenonderzoek. Door middel van schriftelijke enquêtes, vraaggesprekken of groepsdiscussies kan achterhaald worden, welke specifieke behoeften aan producten er leven, welke koopbereidheid er onder welke voorwaarden zich aftekenen, of welke oordelen men heeft over bestaande producten of nieuwe productideeën.

Onderwerpen van gebruiksonderzoek

Gebruiksonderzoek wordt gericht op de mens-product interactie, maar dat hoeft niet alleen het gebruik in strikt ergonomische zin in te houden. Het waarden van vormgeving, of het oordeel over het passend zijn in een bepaalde levensstijl of gebruikssfeer, kan ook onderwerp van onderzoek zijn. Tenslotte behoeft het onderzoek bij representanten van gebruikers niet alleen beperkt te zijn tot de gebruiksfase in strikte zin. Het kan soms ook belangrijk zijn voor het ontwerpen,

om de analyse te richten op andere fasen: verpakken, vervoeren, instellen, reinigen, repareren, opbergen of afdanken (zie figuur 20.3). Dat zal van de ontwerp-onzekerheden afhangen en van de mogelijkheden (tijd en budget) van onderzoek. Bijvoorbeeld bij het ontwikkelen van de werkplek van de NS-lokettisten bleek uitgebreid onderzoek met mock-ups tot aanmerkelijke wijzigingen en verbeteringen in het ontwerp te leiden: dat was kostbaar, maar noodzakelijk en renderend.

In dit hoofdstuk zijn al diverse mogelijke onderwerpen van onderzoek genoemd: herkenbaarheid, leerproces, ontwikkeling van gedragsprogramma's, onvolledigheid van gebruik. Een belangrijke toetsing is altijd of het ontwerpbeeld (productbeeld, visie van de productontwerper, of van aanschaffer) voldoende overeenkomst vertoont met de productbeelden van gebruikers. Van belang is gewoonlijk eveneens of het kenmerkenprofiel, dat is opgesteld vanuit de 'armen en ogen'-ergonomie (fysieke en sensorische ergonomie), de juiste keuze is geweest en of de populatie-keuzen (ontwerptypen 3 t/m 7) houdbaar blijken.

De resultaten van gebruiksonderzoek kunnen dus velerlei betreffen. De gevolgen kunnen herzieningen van het ontwerp in wording zijn, of zij kunnen wijzigingen betekenen van de gebruiksaanwijzing of van de doelpopulatie. Dat juist vanuit de cognitief-ergonomische invalshoek de meeste ontwerp-onzekerheden opdoemen, moge inmiddels duidelijk zijn geworden. De inter- en intra-individuele s^2 van de mens-product interactie zijn er bedoeld groot, maar daarmee tevens extra riskant en uitdagend.

Begrippen¹

Centrale informatie-verwerking in Mens en Product:

- i1 reflex versus bewust, hogere en lagere informatie-stromen
- i1 toevoegen van verleden en toekomst
- i1 machine-program, -beslissing en -leervermogen
- k1 cognitief ondersteunende producten
- k2 evolutie van automaten
- i1 extern brein
- i2 automaten en vermenselijking
- i1 toenemende varianties (inter en intra) in mens-product interacties
- k1 informationele ergonomie = cognitieve + sensorische ergonomie
- i1 product trend naar eenvoudig motorisch bedienen

Product in brein:

- i1 brede product ervaring en -opslag bij volwassenen
- k2 typen van product confrontatie: nieuw, zoeken, plannen, routine
- k1 product representatie (product 'tussen de oren')
- k1 expliciteren van productbeelden

¹ i = inzicht, k = kennis, t = toepassing; 1,2,3 zijn afnemende graden van belang

i1 vrijheidsgraden in productgebruik

Leren bedienen:

- i1 generatie-verschillen
- k2 bijleren, afleren, onthouden
- k2 leercurves en indicatoren
- i1 prestatie-niveau en automatisme
- k1 gebruikstactiek en gebruiksstrategie
- k1 netwerk van subroutines en short cuts
- k1 gebruiksstijl en leer-stijl
- k1 onvolledig waarnemen, onvolledig gebruiken

Gebruiksonderzoek:

- i1 reeks van ergonomisch verminderen van ontwerponzekerheden
- i1 het laten proberen op ontwerpmodellen
- k2 overlap met 'gebruikersonderzoek'
- k1 vormen, onderwerpen en gevolgen van gebruiksonderzoek

Vragen en suggesties

- 18.1. Bedenk voorbeelden waar gebruiksgoederen zeer bewust worden gebruikt.
- 18.2. Is het mogelijk dat iemand zonder gebruik van zijn 'drie woordenboeken' een product maakt?
- 18.3. Noem voorbeelden van cognitief ondersteunende producten, die niet of nauwelijks intelligente producten kunnen worden genoemd.
- 18.4. Worden door intelligente producten in het algemeen de sociale contacten verminderd of vergroot?
- 18.5. Welke factoren verminderen de herkenbaarheid van intelligente producten in vergelijking met die uit de categorie fysiek ondersteunende producten?
- 18.6. Zijn er verbanden tussen de verlengstuk-theorie, compatibiliteitsregels en de vermenselijking van producten?
- 18.7. Bij welke producten speelt de tijdsdimensie een belangrijke rol? Waar minder?
- 18.8. Bij welke producten speelt het leervermogen van het product reeds een bescheiden rol?
- 18.9. Wat zijn cognitief ondersteunende producten? Noem er enkele.
- 18.10. Waarvan zijn cognitief ondersteunende producten het verlengstuk bij de mens?
- 18.11. Geef voorbeelden van technisch inzicht van volwassenen nu, die enkele eeuwen geleden geheel niet bestonden?
- 18.12. Een zwarte doos, met op het voorfront links onder een tuimelschakelaar en rechtsboven een draaiknop, komt in uw beeld. Wat vertelt uw 'waarvoorwoordenboek'?
- 18.13. Er bestaat een vragenspelletje waarbij de één een concreet gebruiksartikel in

- gedachten neemt en de ander probeert het te raden door alleen naar vormen en kleurkenmerken van totaal en onderdelen te vragen. Probeer eens.
- 18.14. Wat is uw productbeeld van uw telefoontoestel thuis?
 - 18.15. Bedenk twee groepen productgebruikers die ieder hun aparte mogelijkheden en capaciteiten hebben om met cognitief dezelfde ondersteunende producten om te gaan.
 - 18.16. De product trend gaat naar steeds eenvoudiger motorisch bedienen. Wat betekent dat voor video apparatuur?
 - 18.17. Kunt u de voorgevel van uw huis uit het blote hoofd schetsen?
 - 18.18. Bedenk een product met veel 'vrijheidsgraden' betreffende het gebruik. In hoeverre gaan verschillende gebruikers er verschillend mee om?
 - 18.19. Hoe zou een interactief product optimaal kunnen aansluiten bij de ervaringen van oudere gebruikers?
 - 18.20. Neem een pak speelkaarten en sorteer die op soort (harten, schoppen, klaver, ruiten); doe dit zes maal en noteer elke keer de tijd in seconden. Is er een leercurve?
 - 18.21. Is uw prestatieniveau met betrekking tot een nieuw programma in uw computer al op een plateau beland of leert u nog elke dag bij?
 - 18.22. Zijn er overeenkomsten in de wijze, waarop u een zaag, een fiets en een CD-speler meestal behandelt (eigen gebruiksstijl)?
 - 18.23. Hoort het doorlezen van een handleiding bij uw gebruiksstijl?
 - 18.24. Welke knoppen van uw audio-toestel gebruikt u nooit?
 - 18.25. Zijn er objecten op uw studeerkamer die u de laatste twee maanden niet heeft gebruikt?
 - 18.26. Smeert u uw boterhammen steeds op dezelfde wijze en doen kennissen dat net zo? Zijn er alternatieven voor een mes?
 - 18.27. In welke stadia van wording kunnen welke modellen worden gebruikt om de mens product-interactie te bestuderen.
 - 18.28. Observeer, als u in de rij wacht bij een geldautomaat, of er verschillen zijn tussen mensen in gebruikshandelingen.
 - 18.29. Sluit de opzet van dit boek aan bij uw studeerstijl? Wat kan voor u beter?

19

Mentale belasting

Samenvatting

In het vorige hoofdstuk werden de cognitief ondersteunende producten behandeld, met de nadruk op de intelligente producten. Hoe men ze kent en leert bedienen kwam aan de orde. Nu wordt de vraag gesteld welke kosten gepaard gaan met de informatieverwerking bij mens-product interactie. Er is een redelijk meetmodel voor de fysieke belastingsgraad. Nadere analyse levert echter op dat dit model niet praktisch valt toe te passen op de informatiestromen door het brein. Toch zijn er verschillende duidelijke factoren en processen te onderscheiden bij mentale belasting. Zonder terugkoppeling stopt de efficiënte informatiestroom en het ruim belasten van het korte-termijn geheugen is bij mens-product interactie al spoedig bezwaarlijk. Begrip voor de mogelijkheid tot het verwerken van informatie valt ook te ontleen uit de theorie van het activatie-niveau. Die verklaart ook vele verschijnselen, die optreden bij eentonige mens-product interactie of bij langdurig bewaken van een product of productsysteem. Bovendien zijn er vele symptomen en enkele analysemethoden, waarmee men een mentale belastingsgraad globaal kan vaststellen. Voor het ontwerpen van 'breinhulpen' worden tenslotte tien geboden gegeven.

19.1 Problemen van definiëren en meten

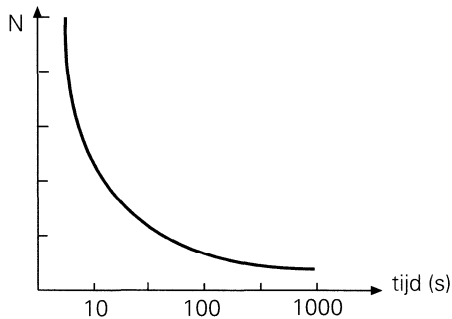
Ook informatie-doorstroming kost iets

In het voorgaande hoofdstuk werden de belangrijkste processen behandeld van de centrale informatie-verwerking: leren, onthouden, interpreteren en besluiten. Dat gebeurde met het oog op de mens-product interactie en dat vooral betreffende intelligente producten. De cognitief ondersteunende producten vormen de belangrijkste ontwerpsector voor de cognitieve ergonomie. Opvallend daarbij waren de grote varianties en de regelmaat van eerst bewust leren en vervolgens gedrags-automatisering tot gebruiksprogramma's en -strategieën. Al in 3.2 werd uiteengezet hoe levende systemen continu ook informatie-stromen uit de omgeving selectief binnen laten als onmisbare basis voor oriëntatie en voor doelgericht gedrag. Leven kost echter iets en dat geldt in die fundamentele betekenis ook voor informatie-verwerken wegens productgebruik. Hogere hersenactiviteit vergt meer O_2 in een of meer hersengebieden.

Meetmodel van fysieke belastingsgraad

In hoofdstuk 9 werd nader ingegaan op de kosten, inspanning en vermoeidheid bij mens-product interactie. De kernvraag is, in hoeverre de vermogens van persoon x

worden belast door gedurende een bepaalde tijd product y te gebruiken. Bij de lichamelijke inspanning bleek die vraag redelijk te beantwoorden. Geanalyseerd op het niveau van het gehele lichaam, kon een serie-schakeling van drie sub-systemen worden onderscheiden: ademhaling, bloedsomloop, dwarsgestreepte spieren. De doorstroom kan voor het geheel goed worden vastgelegd met zuurstof-verbruik (met als eenheid $\text{ml O}_2/\text{minuut}$). De aërobe capaciteit, als individueel vermogen van maximale zuurstofopname (gedurende de laatste 4 minuten voorafgaand aan uitputting), is te meten en erna te stellen als de individuele 100%, ofwel belastbaarheid. De belastingsgraad van iedere taak varieert dan tussen 10 en 100 %. Voor een langdurige inspanning is er een fysiologische curve van volhoudtijd (figuur 19.1), die bijvoorbeeld zegt dat bij 8 uur inspanning de gemiddelde belastingsgraad niet boven 30 % moet komen en dat 15% continu kan worden volgehouden. Ook op het niveau van een spiergroep of spier kan de individuele, relatieve inzet van de maximale kracht (N of Nm in één of enkele seconden) als belastingsgraad worden bepaald. In dit theoretische model, dat goed toepasbaar is, blijken dus vier elementen bekend: het kanaal van energie-doorstroom, de eenheid van stroom ($\text{ml O}_2/\text{min.}$), de maximale stroom door dat kanaal en een volhoudcurve om te corrigeren voor belasting van verschillende tijdsduur (figuur 19.2).



Figuur 19.1 Fysiologische curve van volhoudtijd.

1. kanaal van e-doorstroom
2. eenheid van stroom ($\text{ml O}_2/\text{min.}$)
3. maximale stroom door het kanaal
4. volhoudcurve

Figuur 19.2 De vier elementen in het theoretische model voor de belastingsgraad.

Vermoeging van het brein meetbaar?

Hoe staat het nu met de (relatieve) inspanning van een individu bij informatie-verwerking, 'mentale belasting' genoemd? Het woord 'mentaal' suggereert al dat de belangstelling vooral uitgaat naar het brein. Bij de cognitieve ergonomie betreft dat dus vooral de centrale (brein)processen van de informatie-stroom bij mens-product interactie. De mentale belastingsgraad van verschillende gebruikers zouden we dus willen kennen bij verschillende typen confrontaties (zie 18.3 'Het product in het brein') met verschillende, al dan niet intelligente, producten en dat zowel tijdens bewust leren, als bij automatisch gebruik. Hoe moeilijk is het voor een bepaald persoon twee uur te werken met een tekstverwerker, of het langdurig selecteren van bonbons op een lopende band, of auto-rijden? Hoe zouden we, wat

betreft de moeilijkheid van het begrijpen van de bediening, twee verschillende magnetrons vergelijken? Die vragen zijn hoogst ontwerprelevant, maar beloven uiterst moeilijk te beantwoorden te zijn. Daarom noopt dat ons eerst de vier elementen van het eerder behandelde model omtrent belastingsgraad te bekijken, maar nu niet voor materie/energie-, doch voor informatie-stromen. In dat model gaat het achtereenvolgens om het bepalen van een kanaal, om een eenheid van doorstroming, om een kanaalcapaciteit en tenslotte om een curve van de volhoudtijd.

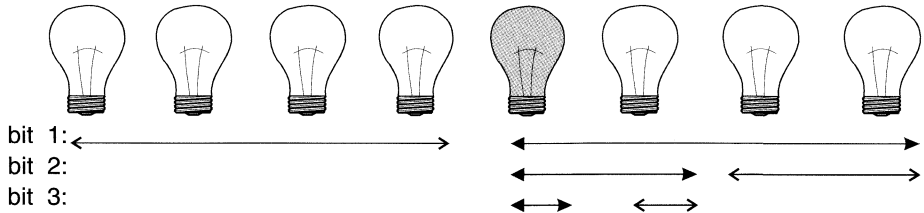
Kanaal

De input van informatie loopt via verschillende zintuigkanalen met uiteenlopende capaciteit. Vaak geschiedt dat parallel en met wederzijdse beïnvloeding. De delen van de hersenschors, die de eerste sensorische opvang verzorgen, zijn bekend (figuur 12.10). Hoe het verder gaat is grotendeels gissen (Newell, 1990). Het is mogelijk dat het bewustzijn (waarvan de plaats in de hersenen niet bekend is) beschouwd kan worden als een smal kanaal, dat wil zeggen dat het zich op slechts één ding tegelijk concentreert. Hoe het verloopt met 'lagere lussen' (pag. 72) is nog raadselachtig. Wat het probleem verder danig compliceert, is dat het nooit alleen gaat om een informatie-stroom uit de omgeving, maar ook en in belangrijke mate om informatie uit de geheugens en vanuit de sensoren voor het eigen lichaam. Het blijft vooralsnog een raadsel wat een 'kanaal' zou zijn voor het leren van mens-product interactie, voor automatischer informatie-verwerken, of voor het verrichten van twee of meer mentale taken tegelijkertijd (telefoongesprek voeren en doorgaan met tekenen). Er is te weinig proefondervindelijk om de werking van zulk een informatie-kanaal te kunnen bepalen.

Eenheid

Voor de informatie-eenheid kan te rade worden gegaan bij de informatietheorie. Een goede kwalitatieve definitie is: informatie is datgene wat onzekerheid opheft. Het lezen van deze tekst verschaft aan de één geen of weinig informatie, omdat het over 'ouwe koek' gaat, voor de ander is het nieuw en leerzaam. Hoe kan er voor een verscheidenheid van menselijke informatie-ontvangers één eenheid worden gevonden? De informatietheorie, uitgaande van juistgenoemde onzekerheid, werkt met de twee-keuze: de onzekerheid over één van twee mogelijkheden. Die binaire informatie-eenheid heet 'bit'. Als ik bijvoorbeeld niet weet of een lamp aan of uit is, bestaat er één bit onzekerheid. Rekenen in dat tweetallig stelsel van + of -, van 1 of 0, is inzichtelijk toepasbaar. Bijvoorbeeld voor hetzij positieve, hetzij negatieve signaaltjes, die over een draad worden gezonden, met snelheid in bits /sec. en bij een kanaalcapaciteit (bandbreedte) die wordt uitgedrukt in een maximaal aantal bits/s. Stel, we weten van 8 lampen op een rij niet, welke ene aan is. Dat geeft 3 bits onzekerheid: 1 bit voor linker of rechter viertal, + 1 bit voor overblijvende rechter of linker paar, + 1 bit voor de linker of rechter van het overblijvend paar lampen. Informatie $H = {}^2\log N$ en in het voorbeeld $2^3 = 8$ ofwel $H = {}^2\log 8 = 3$.

Voor 26 alfabetletters: $^2\log 26 = 4,7$ bit. Dat laatste geldt alleen als de letters alle een gelijke kans (p_i) van voorkomen hebben. Voor een enkele letter, lamp of ander element geldt $H_i = ^2\log(1/p_i)$. De gemiddelde informatie \bar{H} , bij elementen met verschillende kansen van optreden, is te berekenen als $\bar{H} = \sum p_i(^2\log(1/p_i))$.



Figuur 19.3 Drie bits onzekerheid voor één van acht lampen.

Als in het geval van twee lampen de ene een kans heeft van 90% om aan te zijn en de ander heeft $p = 0,1$, dan is $\bar{H} = 0,47$ bit. Dat is minder dan bij gelijke kansen. De regel is dan ook dat bij gelijke kansen de informatie (en dus de onzekerheid) het grootst is. Bij de alfabetletters, die verschillen in p_i in gewone teksten, loopt \bar{H} terug tot 1,5.

Wat men aan informatie verliest door ongelijke kansen heet redundantie en wordt als procent berekend als:

$$R_H = \left(1 - \frac{\bar{H}}{H_{\max}}\right) \cdot 100\%$$

Bij geschreven taal is het percentage redundantie derhalve $(1 - 1,5/4,7) \cdot 100 = 68\%$. Er is dus meer lettercodering dan strikt nodig. We kunnen gemiddeld dus met zelfs iets minder dan ‘een half woord toekomen’, als variant op het spreekwoord (pag. 309). Het ziet er derhalve naar uit dat er in de elektro-techniek een goed toepasbare informatie-eenheid is, die we in eenvoudige en kwantificeerbare gevallen, zoals die lampen-rij, kunnen gebruiken. Voor ons ergonomisch doel brengt ons dat echter nauwelijks verder. Welke bits bijvoorbeeld vormen input bij het zien van een schaakstelling? In het geval van een zeer onervarene lijkt het wat op de rij lampen: een aantal verschillende poppetjes op 64 velden. De bit van de ervarene is echter het direkt zien van een stelling in een schaakpartij, waar kansen in zijn afgewogen van enkele reeksen van zetten. De onzekerheden en de informatie-eenheden zijn dus niet gelijk voor verschillende personen. Wat is de onzekerheid voor de wateropnemer bij zijn aflezen van de verbruiksmeter? Heeft hij gegronde verwachtingen en kijkt hij alleen naar de laatste twee cijfers? Met welke informatie-eenheden kijkt een piloot naar zijn cockpit-paneel, of verwerkt een bepaald iemand een instructie-film? De slotsom is dat bij cognitief-ergonomische toepassingen slechts in enkele, geformaliseerde gevallen, van de informatie-eenheid ‘bit’ uit de informatie-theorie gebruik kan worden gemaakt.

Kanaalcapaciteit

Er zijn wel eens schattingen gemaakt van de bandbreedte van het auditieve en van het visuele kanaal (bijvoorbeeld figuur 12.11). Die capaciteiten lijken dan ruim voldoende en zelfs meer dan een mens kan vullen. Voor het brein zijn er slechts wilde gissingen en is meten en rekenen daaromtrent nog lang niet aan de orde. Na afwijzen van de bepaling van het kanaal en de eenheid, behoeft hier verder niet op te worden ingegaan. Toch zijn het meer dan vage indrukken, dat de ene persoon in het algemeen of op een bepaald moment meer informatie aan kan dan de andere persoon (inter-individuele s^2); maar ook dat één persoon op verschillende momenten een wisselende hoeveelheid informatie aan kan (intra-individuele s^2).

Volhoudtijd

Hoe langdurig kan een persoon een bepaalde 'mentale belastingsgraad' redelijk volhouden? Dat personen daarin onderling kunnen verschillen, is evident, maar ook is het dus duidelijk dat er intra-individuele s^2 optreedt. In de mens kunnen verklaringen worden gezocht in onder meer concentratie-vermogen versus afleidbaarheid, of in motivatie en geestelijke verzadiging. Dat zijn belangrijke, maar voornamelijk kwalitatieve begrippen, die niet tot een nauwkeurig percentage mentale belastingsgraad leiden. Ook kwalitatief zijn de processen nog verre van duidelijk. Bij psychologische experimenten weet men soms proefpersonen te brengen tot het 16 uur achtereen sommen maken, waarna men niet afhaakt wegens mentale belasting, maar omdat men niet meer zonder pijn verder kan zitten (fysieke belastingsgraad dus). Of gaat het dan om een belastingsgraad onder 15%, die althans bij fysieke belasting geen limiet van tijdsduur zou kennen, behoudens wegens slaap? Opmerkelijk is overigens dat moderne meetmethoden aantonen dat bepaalde mentale activiteiten gepaard gaan met extra zuurstofgebruik in bepaalde delen van de hersenschors. Mentale inspanning kan soms wel een 20% tot 50% van het totale zuurstofgebruik vergen (Davis, 1998). Zuurstof is in gezonde gevallen echter geen beperkende factor, en blijkt nog evenmin een kwantitatieve indicator voor mentale belasting.

Het meetmodel past niet op het brein

De slotsom is derhalve dat het theoretisch model, van kanaal, eenheid, bandbreedte en volhoud-curve, wel inspirerend is als analyse, maar praktisch niet algemeen toepasbaar is op informatieverwerking door de mens. Desalniettemin blijven onze ervaringen en gevoelens ons vertellen dat de ene som moeilijker is dan de andere; of dat de hoofdstukken van dit studieboek niet onderling gelijk zijn in moeilijkheidsgraad (aard en aantal van begrippen, samenhang, methoden, relatie tot het concrete (technische) problemen oplossen).

Het leren bedienen van een nieuwe wasautomaat kan voor iemand inspannend zijn en vijf uur beeldschermwerk vergt geestelijk wat; twee gesprekken dooreen voeren is niet lang vol te houden. Er is dus iets als mentale belasting. Omdat met het ontwerpen van intelligente producten niet nog vele jaren gewacht kan worden op

voldoende kennis in de neurologie, artificial intelligence en psychologie, zullen we ons hierna met vooral kwalitatieve inzichten in processen en factoren moeten behelpen. Daarvan is echter voldoende bekend, meetbaar of redelijk inschatbaar, om behulpzaam te zijn en om niet tot ontwerptype 1 of 2 (Prokrustes- en ego-type; zie 4.2) te vervallen.

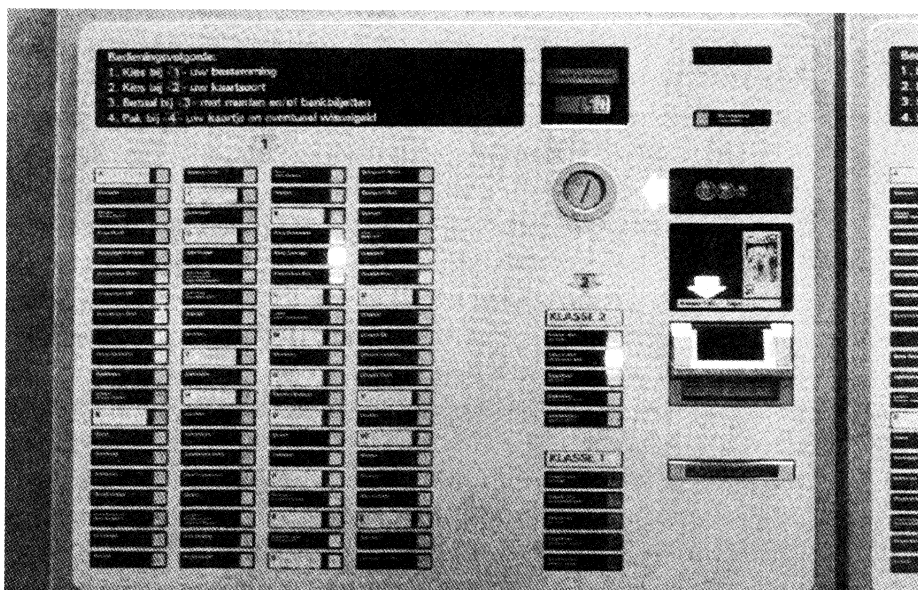
19.2 Het principe van onmiddellijke kennis van resultaat

Feedback en dode tijd

Het lang wachten op of uitblijven van terugkoppeling bij het omgaan met een product, verhoogt de mentale inspanning. Sprekend in termen van het mens-product interactie model, geldt dat al voor één lus, maar meer nog voor een spiraal. Als voorbeelden van één lus: iemand drukt op een deurbel en hoort geen geluid; dat maakt onzeker of binnen het signaal wel of niet klonk. Machine aanzetten en niet kunnen constateren of hij werkelijk aan de gang is. Een bewerking fijner stellen en pas over een uur resultaat kunnen zien. Een gat boren en niet goed kunnen nagaan hoe diep. Als voorbeeld van een spiraal in de mens-product interactie: voor het bedienen van een bepaald fotokopieerapparaat dienen vóór het startcommando eerst vijf output kwaliteiten achtereen te worden ingesteld (bijv. goed inleggen, één of tweezijdig orgineel/kopie, formaat, aantal, al dan wel nieten) en er is een kans dat elk van die handelingen fout gaat; men merkt het echter pas bij het eerste eindproduct of de reeks machine-instructies goed was en men moet het aantal kopieën nog maar afwachten. Bij een beter ontwerp zou elke handeling, dus lus, direct terugmelding krijgen, bijvoorbeeld via een klein paneeltje met aanlichtende pictogrammen of cijfers. Bij stuurtaken geldt de noodzaak van snelle feed-back nog duidelijker. Bij de compatibiliteitsregels (11.2 ‘Het kennen van beweging-effect relaties’) zagen we al dat een dode tijd van één of enkele seconden, tussen draaien van het auto-stuur en koerswijziging van het voertuig, verwerpelijk is. Geheel geblinddoekt rijden is onmogelijk. Bij het sturen van grote schepen met aanmerkelijk langere dode tijden in het roer-systeem, dient de roerganger geholpen te worden met een intelligente ‘predictieve display’, die direkt de koers voorspelt van op het moment na de dode tijd. Bij een vliegtuig of een elektronische routegids in de auto kan zulk een signaalgever bij verandering van snelheid of koers aangeven welke positie over x-minuten wordt bereikt; de bedieningshandeling krijgt zo meteen voorwaartskoppeling van het latere bedieningseffect. De dode tijd tussen bedieningshandeling en voorwaartskoppeling zij zo kort mogelijk en liefst nul. Hoe nauw dat luistert, valt te merken, als op de TV bijvoorbeeld ‘onze man uit New York’ op een hem gestelde vraag een fractie van een seconde later antwoordt wegens de tijd voor elektronische schakeling en transmissie van het signaal. Enkele seconden wachttijd, die een computer zou nemen om te reageren, kan bij een lange reeks van vragen en antwoorden irriteren, afleiden en kan de gedachtenstroom onderbreken; kortom, de mentale belasting wordt erdoor verhoogd.

Nut en last van feedback en feed forward

Bij een enkele handeling en meer nog een handelingsreeks, is dus snelle terugkoppeling na elke lus gewenst. Voorbehoud dient echter te worden gemaakt voor die mens-product interactie, die volgens een geleerd en ingesleten programma zo goed als automatisch verloopt. In die gevallen (de persoon bijvoorbeeld, die dagelijks uren met voornoemd fotokopieerapparaat werkt, geeft de machine-instructies snel achtereen en bijna blindelings), kan met minder, of met minder vaak, feedback worden volstaan. Bij vermoeidheid en afgeleid zijn, heeft echter de, eerder automatisch handelende, uitvoerder weer de directe terugkoppeling nodig. Wie een bediening gaat leren, wordt door directe kennis van resultaat in het leerproces geholpen en het kan zijn dat een bepaalde MPI (mens-product interactie) zonder goede feedback in het geheel niet te leren is. Een incidentele gebruiker kan nog heel lang, of zelfs voorgoed, als leerling worden beschouwd (en vraagt zich elke keer af: hoe ging dat ook weer?). Het moge duidelijk zijn dat het inlassen van feedback displays een vlot verloop van een bedieningsreeks evenmin mag storen. Indien de signalering van een voorafgaande stap de eropvolgende ophoudt, is geen goede oplossing bereikt. Men denke aan vertraging door een schakeling in het apparaat, of doordat de terugkoppeling op een andere plek en dus pas na verandering van blikrichting kan worden bekeken. Een goede toevoeging aan een aantal stappen met feedback kan ook zijn een reeks met 'feed forward' (voorwaartse koppeling) waarin bij elke stap wordt aangegeven wat de volgende bedieningshandeling moet zijn. Dit principe, om de naïeve gebruiker te helpen, wordt soms aangetroffen in automaten voor openbaar vervoerkaartjes: het achtereenvolgens aanlichten van woorden, in dit geval instructies (figuur 19.4).



Figuur 19.4 Instructies door aanlichten (feed forward principe).

Terugkoppeling na langere tijd is ook gewenst

Het principe van kennis van resultaat is ook van toepassing op langere termijn. Men behoort resultaat van eigen werk te zien: of een nieuw machine-program inderdaad betere resultaten boekt na één dag; wat er van het college overkomt bij de studenten; of men na het bestuderen van een hoofdstuk de kernbegrippen kent en de vragen kan beantwoorden, etc.

19.3 Het korte-termijn geheugen

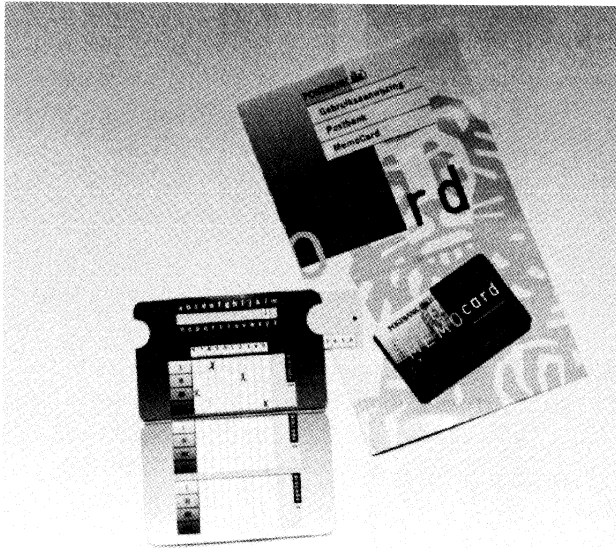
Zintuigelijke korte geheugens en 'het' korte-termijn geheugen

In het voorgaande is herhaaldelijk de meervoudsvorm 'geheugens' gebruikt en dat was juist, omdat er verschillende soorten van informatie-opslag zijn, voor kortere en langere duur. Volledigheidshalve wordt hier begonnen met een uitleg van de zintuigelijke korte geheugens, waarvan vooral dat van het visuele systeem is onderzocht. Gedurende 0,1 tot 0,3 seconden kan het oog een totaal beeld vasthouden. In een experiment van Sperling (1959) wordt er voor slechts 50 msec een kaart getoond, met erop in matrix-ordening negen verschillende letters; na weer eens 100 msec wordt op een witte kaart een ringetje getoond, op de plek van een van die negen letters. Alleen door alle negen en hun plaats gedurende 100 msec te onthouden kan een proefpersoon vertellen welke letter op dezelfde plaats stond als het ringetje. Mensen kunnen dat perfect. Echter na één seconde onthouden antwoorden ze maar liefst voor 50 % mis. Kennelijk wordt gedurende zeer korte tijd alles onthouden, om daarna selectief te worden doorgezonden naar het korte-termijn geheugen, dat van enkele tot ongeveer 30 seconden die selectie vasthoudt. De capaciteit van dit 'korte-termijn geheugen' kan eenvoudig worden getest door cijferreeksen. Een proefleider noemt een reeks van drie cijfers met steeds één seconde interval en de geteste persoon moet die reeks nazeggen; dan wordt de reeks successievelijk één langer, tot er fouten in het nazeggen optreden. Mensen verschillen in het vermogen van het korte-termijn geheugen. Vooral boven de 50 jaar is de achteruitgang merkbaar (Steenbekkers en Van Beijsterveldt, 1998).

Onthouden van code-reeksen

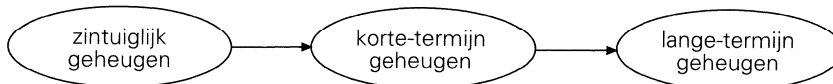
Wat is het ontwerpbelang van het korte-termijn geheugen? In toenemende mate wordt van letter- en cijfercodes gebruik gemaakt. Een cijfercode bijvoorbeeld wordt gedictieerd, om die direct in te toetsen. Bij PIN-codes is zulk een reeks bekend en liefst al in het lange-termijn geheugen opgeslagen. Toch blijken vooral ouderen daarmee vaak moeite te hebben. Een computerscherm bijvoorbeeld toont even een getal van zes cijfers of een lettercode en de waarnemer dient dit tien seconden te onthouden; het kenteken van een voorbij flitsend voertuig wil men noteren. Of wanneer een apparaat kort aangeeft in welke volgorde enkele knoppen moeten worden ingedrukt. Een persoon kan zijn korte-termijn geheugen helpen door voor zichzelf de reeks steeds vlug te herhalen (bijvoorbeeld na het vragen om een route een paar maal een lange reeks linksen en rechtsen te horen krijgen). Het

onthouden van een reeks cijfers kan ook worden geholpen door ze bij presentatie of bij uitspreken te groeperen (chunking) in groepjes van drie of door bij het uitspreken van een telefoonnummer een vaste hoog-laag melodie aan te houden. Het korte-termijn geheugen kan echter ook gemakkelijk worden gestoord door andere prikkels, die zich opdringen. Het is dan ook geen wonder dat er al zo lang zoveel middelen voor ondersteuning van het geheugen (schrift, tekening) werden ontworpen. Die geheugensteun dient ook mee-ontworpen te worden, indien productgebruikers een reeks (cijfers, letters, volgorde, complex figuur) moeten kennen voor de erop volgende handelingen (zie ook figuur 19.5).



Figuur 19.5 Makkelijk woord helpt PIN-code onthouden?

Er zijn dus drie geheugens in serie-schakeling (figuur 19.6): zintuiglijk geheugen, korte-termijn geheugen en lange-termijn geheugen. Het eerste is ergonomisch van weinig belang. Veel aanspraak op het tweede dient bij het ontwerpen van een mens-product interactie te worden vermeden wegens geringe capaciteit. Het derde is het grootste en belangrijkste (slaat waarschijnlijk meer betekenis dan feit op) en is het subsysteem, waarin ook de meeste mens-product interacties als informatie-opslag kunnen worden teruggevonden.



Figuur 19.6 Drie geheugens in serie-schakeling.

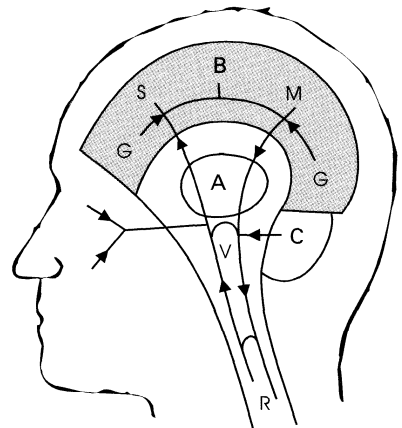
19.4 Activatie-niveau en prikkelarmoede

Bio-ritmen

Er zijn vele bio-ritmen. Levensprocessen oscilleren in intensiteit. De grote modaliteit in de golving, maar ook enige variatie in de frequentie, zijn goed voor leven en overleven. Er zijn korte ritmen, zoals de hartslag en langere, zoals de menstruatie-cyclus of die onder invloed van seizoenen. Het etmaalsritme, afgeleide van de wisseling in het zonlicht door de aardrotatie, vormt een belangrijke cyclus. Er is een waak-slaap afwisseling met regelmaat. Slaap betekent rusten voor herstel van de lichaamsprocessen; het bewustzijn zakt dan weg, de motorische activiteit vermindert aanzienlijk en de vegetatieve (niet onder wilscontrole) orgaansystemen worden ook minder actief. Er wordt soms gedroomd, nogal eens van lighouding veranderd en de ademhaling en spijsvertering gaan rustig door. De fysieke belastingsgraad daalt dan naar ongeveer 10%. De intensiteiten van de levensprocessen vertonen dus in een etmaalsritme golvingen en die benaderen meer een sinusvorm dan een rechthoekige vorm.

Het activatie-centrum en het activatie-niveau

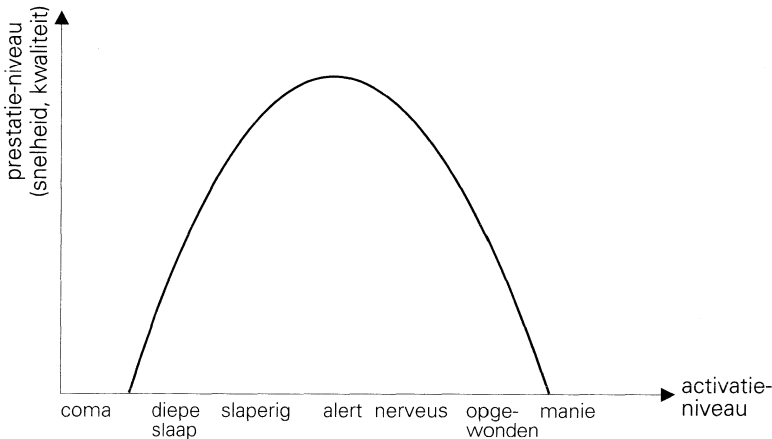
In het brein-model (figuur 3.13) werd met de letter A een centrum aangegeven als ‘activatie-regeling’ en dat is in dit kader van cognitief-ergonomisch belang. Er is een etmaalsritme in de mentale activiteit. De intensiteit van functieneren van de subsystemen voor centrale informatiebewerking wordt activatie-niveau genoemd. Dit activatie-niveau wordt voor een belangrijk deel bepaald door het activatie-centrum A, dat dus ook de dag-nachtcyclus als programma heeft. Het activatie-niveau varieert tussen zeer diepe slaap en uiterst opgewonden zijn. Minstens twee overwegingen zijn van belang voor de mens-product interactie. De individuele vermogens tot waarnemen, denken en handelen, ook dus die betreffende het product, wisselen met het etmaalsritme. De tweede overweging is minstens zo belangrijk: het activatie-niveau wordt ook beïnvloed door de informatie-stromen uit de buitenwereld. Naargelang de prikkels uit de omgeving, waarvan het product dus een belangrijk onderdeel kan uitmaken, ‘rijker’ zijn of ‘armer’, reageert het activatie-niveau met stijgen of met dalen. Die prikkelrijkdom versus prikkelarmoede is op te vatten als een functie van zowel de intensiteit van de prikkels, als van de variatie ervan in tijd en soort. In dagelijkse taal: een afwisselende of een monotone omgeving.



Figuur 19.7 Nog eens het brein-model van figuur 3.13.

Activatie-niveau en prestatie

Het activatie-niveau heeft een relatie met het prestatie-niveau die door een paraboolvorm benaderend kan worden beschreven, zoals in figuur 19.8.



Figuur 19.8 Verband tussen activatie en prestatie.

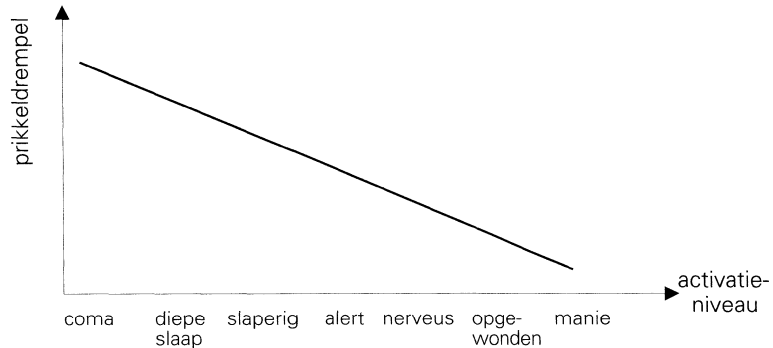
Lagere activatie-niveaus veroorzaken trager, minder vloeiend en minder nauwkeurig waarnemen, denken en handelen. Een doordachte improvisatie bij mens-product interactie kan dan evenmin worden verwacht. De hoogste activatie-niveaus leiden echter ook tot minder presteren, want men is te nerveus, te weinig geconcentreerd en is ongecoördineerd. Er is een optimum ergens in het midden, waar voldoende geestelijke afstand en afweging kunnen samengaan met gerichte aandacht, juiste inzet van gedragsprogramma's of van improvisatie. Dat optimum zal echter niet voor elk gedrag, iedere taak, noch voorelke mens-product interactie op hetzelfde punt liggen. Als er goed moet worden nagedacht of als een nieuwe aanpak nauwkeurig wordt gestuurd, is het optimale activatie-niveau lager dan wanneer snelheid belangrijker is bij het presteren. Routine-taken kunnen met een laag activatie-niveau volstaan, maar een beetje gespannenheid kan daarbij tot meer output leiden. Zoals we op pag. 37 aangaven, kan 'muzikaal behang' in supermarkten de kooplust bevorderen etc. Het activatie-niveau is ook te beschouwen als een belangrijke factor voor de (momentane) mentale belastbaarheid.

Hoge en lage prikkeldrempels

Het paraboolvormige verband is gemakkelijker te begrijpen met de theorie van de prikkeldrempel.

Bij laag activatie-niveau is er een hoge prikkeldrempel, de zintuigen staan dan weinig open voor informatie-input en er is dus een bijzonder intensieve of afwijkende prikkel nodig om in de vensters of zelfs tot het brein door te dringen (wekker, of tijdens de slaap gewekt worden door een huilend kind). Zie figuur 19.9. Bij een zeer hoog activatie-niveau is de prikkeldrempel zo laag, dat alles zonder selectie kan binnenstromen. Die overmaat roept een veelheid van

gedachten, gevoelens en gedragsprogramma's op zonder veel ordening en coördinatie en dat betekent verward, of zelfs chaotisch gedrag. Bij paniek kan men zien dat geprobeerd wordt drie handwerktuigen tegelijk te hanteren of men ziet dat teveel knoppen worden ingedrukt. De drempelverhoging kan ook onbedoeld te ver doorschieten. Indien de slaperige bewaker (!) door een explosie wordt opgeschrikt, zal hij wellicht enige tijd nodig hebben om 'het hoofd weer koel te krijgen'.



Figuur 19.9 Verlaging van de prikkeldrempel bij hoger activatie-niveau.

Verandering en verschil in bio-ritme

De etmaalscyclus van het activatie-niveau kan voor één of enkele etmalen sterk worden veranderd: met wilskracht een (deel van de) nacht doorwerken; het – mede door sociale invloeden – een nacht door-feesten; een nachtelijke vliegreis. De laatste kan 'jet lag' veroorzaken en dat wijst erop dat evenals zuurstofschuld (zie 9.2 'Spierarbeid') ook 'slaapschuld' moet worden ingelost. Personen blijken niet alleen onderling te verschillen in de rekbaarheid van het activatie-ritme, maar ook in de vorm ervan. Er zijn inderdaad 'ochtendmensen' en 'avondmensen'. Er is gelukkig een meerderheid van 'dagmensen', zodat de klokken in de maatschappij wat gelijk blijven. Het ritme en de modaliteit kan ook variëren met de gemoedstemming. Depressieve en optimistische perioden verschillen in gemiddeld activatie-niveau en dat blijkt uit gedrag, mimiek, lichaamshouding en product-gebruik.

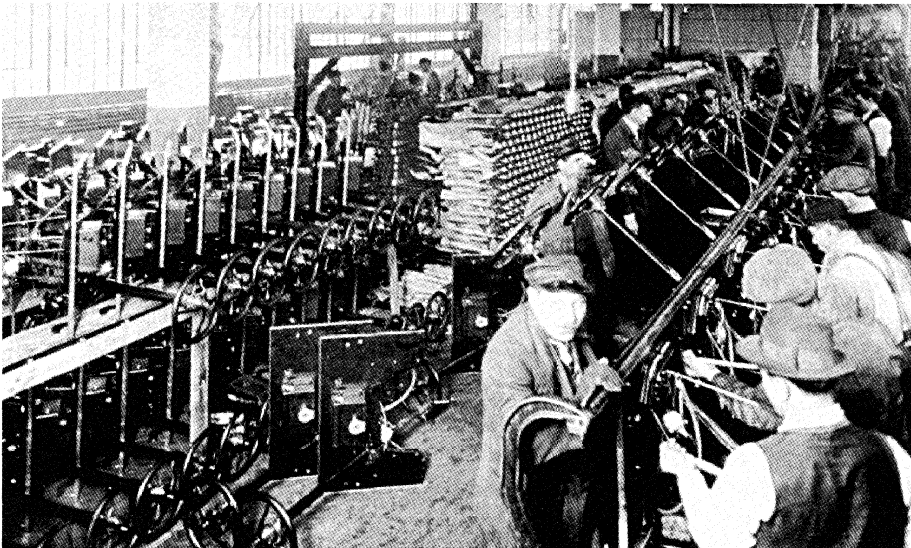
Monotonie verlaagt het activatie-niveau

Voor de cognitieve ergonomie is het vooral een belangrijk gegeven dat het activatie-niveau wordt beïnvloed door externe prikkels. Een zo goed als continue informatiestroom vanuit de omgeving is nodig voor het brein om zich te oriënteren, waakzaam te blijven en zich te ontwikkelen. Zo is er toch weer een parallel tussen bits/sec en ml O₂/sec. Bij experimenten met 'sensory deprivation' (afsluiting van zintuigelijke waarneming, bijvoorbeeld liggen in geluid- en lichtdichte kist met zeer zachte bekleding) blijkt dat voor langere tijd niets zien, horen noch voelen zeer ingrijpend kan zijn: hallucineren, psychotische (geesteszieke) verschijnselen, die bij sommigen een lange hersteltijd vereisen of zelfs blijvend zijn. Zo'n uiterst

verschijnsel wordt in de dagelijkse praktijk niet aangetroffen, maar er zijn wel vele situaties van monotonie, die al snel tot versuffing en op de lange duur tot geestelijke afstomping kunnen leiden. Twee typen van taken hierna als voorbeeld: kort-cyclisch repeterende taken en vigilantie-taken.

Kort-cyclisch repeterende taken

In het begin van de 20e eeuw ontstond het Taylorisme als een stel regels voor de inrichting van industriële arbeid. De gedachte was dat een patroon van handelingen kon worden uiteengelegd tot een opeenvolging van simpele bewegingen. Aan een lopende band kan dan een rij werkers staan, die elk een andere opdracht krijgen, om één bepaalde beweging (bijvoorbeeld bout in gat steken als onderdeelje bij assemblage) alsmaar herhalend en snel uit te voeren (figuur 19.10).



Figuur 19.10 Lopende band anno 1913, Ford USA (Heskett 1989).

De rol van beperkte robot blijkt voor mensen echter weinig ergonomisch. Op korte termijn kan dat hoge output geven, eventueel opgezweept door het tempo van de lopende band, stukloon (betaald worden op basis van het aantal van die microprestaties), door muziek of door het wakend oog van de baas. Op de langere duur wordt dat betaald met stress en een algemene vermindering van belangstelling en levendigheid, ook buiten het werk. Zulke industriële situaties worden hier niet zo vaak meer aangetroffen, maar het 'geestdodende' werk is verre van verdwenen. In de werkplek-ergonomie is dit een punt van aanhoudende zorg (onder meer wegens de ARBO-wetgeving voor arbeidsomstandigheden). Aan de product-ergonomie leert het, dat ook bij mens-product interactie het langdurig moeten herhalen van eenzelfde eenvoudige waarneming of bedieningsbeweging (uiteraard als routine) weinig gewenst is. Idealiter brengt het product variatie en af en toe

zelfs uitdaging, zeker indien dit product een belangrijk deel van de dag de ‘handen en zintuigen bindt’. We kunnen hier dus spreken van een langdurige, ongewenst lage, mentale belastingsgraad, die evenals de langdurige lage fysieke belastingsgraad de conditie en capaciteiten vermindert.

Vigilantie-taken

Vele technische processen worden goed geregeld door een machinedeel met ingebouwde intelligentie. Regelprogramma's begrenzen en sturen de gedragingen van de machine. Omdat die technische intelligentie beperkt wordt tot voorzienbare toestanden, maar de omgeving op onvoorspelbare momenten zeer afwijkende invloeden kan uitoefenen, of omdat er geldt ‘je kan maar nooit weten’, wordt een mens als bewaker aangesteld (figuur 19.11).



Figuur 19.11 Vigilantie-taak in een fabriek.

Die wachthouder heeft dus gewoonlijk niets te doen en zijn activatie-niveau zakt dus af, totdat er plots iets bijzonders met het machine-systeem optreedt. Dan moet de bewaker direct goed wakker zijn, om de onverwachte afwijking goed te interpreteren en min of meer inventief te verhelpen. De ergonomie van de vigilantie in regelzalen van de industrie, of voor verkeer en vervoer, openbare orde en veiligheid, vormt een belangrijk onderwerp. In de productergonomie kan er eveneens lering van worden getrokken. Langdurig wachthouden bij een product of er iets gebeurt, zonder andere activiteit, dient zo mogelijk te worden vermeden. Indien dat toch onvermijdelijk is, dient men rekening te houden met het probleem van de vereiste snelle verhoging van het activatie-niveau en met het optreden van

menselijke fouten. Een van de ontstaansredenen van de ergonomie was de vigilantie-taak in de Tweede-Wereldoorlog van wachthouden bij een radarscherm, om te zien of vijandelijke vliegtuigen het luchtruim binnendrongen. Na één à twee uur bleek, tot de toenmalige verbazing over zo'n gemakkelijke taak, het aantal foute meldingen sterk te stijgen; die fouten waren 'false positives' (ten onrechte melden dat er iets is) en 'false negatives' (niets melden als er toch wél iets is).

Apparaten voor hart-bewaking, of een TV-circuit voor toegangsbewaking, vertonen meestal weinig variatie in wat op het beeldscherm verschijnt. Zo zijn er vele soortgelijke voorbeelden van producten die een vigilantie taak hebben als mens-product interactie. Het bijmengen van een neventaak kan soms de eentonigheid verminderen en de waakzaamheid op peil houden. De portier leest bijvoorbeeld in stille uren dit studieboek. Zulk een neventaak dient overigens ook goed te worden gepland, om te voorkomen dat het verrichten van die 'secundaire' taak juist de uitvoering van de primaire taak hindert.

19.5 Tekens van mentale inspanning en vermoeiing

Zoals al werd aangekondigd, moet bij het vaststellen van mentale belasting en mentale belastingsgraad volstaan worden met kwalitatieve aspecten of met indirecte kwantitatieve bepalingen. Enig overzicht volgt hierna, waarin drie hoofdgroepen van indicaties worden gehanteerd: gedrag, vegetatieve reacties, ergonomische product-taak analyse. Die tekenen lopen uiteen in objectiviteit en meetgemak, maar tevens in de vanzelfsprekendheid dat ze mentale belasting aangeven en niet iets anders.

Gedrag van (representatieve) gebruikers

Voorgeschiedenis: wie ter zake ervaren en handig is wordt waarschijnlijk minder belast; dus gebleken ervaring, leerproces bij een standaardtaak (test), ingewerkt zijn in de techno-cultuur (niet-ingewerkten zoals kinderen of immigranten; ouderen) zijn tekenen die wijzen op grotere weerstand tegen mentale vermoeiing. Onervarenen raken sneller mentaal vermoeid; moeilijk leren wijst vaak op grotere inspanning: onvolledige of afwijkende 'woordenboeken' van producten bemoeilijken het snel begrijpen en interacteren met producten.

Output van mens-product interactie (presteren): wie minder of slechter werk aflevert zou wel eens meer belast kunnen zijn; kwantiteit en kwaliteit van produceren, regelmaat van waarnemen en handelen (schommelingen, onderbrekingen, afleidingsgevoeligheid), fouten en bijna-fouten (aantal, ernst, wijze van corrigeren) de indruk wekken (on)zeker tewerk te gaan. Al die symptomen kunnen wijzen op de mentale vermoeiing of fitheid.

Subjectieve uitspraken: tijdens of na afloop van de taakuitvoering kan men spontane opmerkingen registreren over de ervaren moeite of men kan gerichte vragen erover laten beantwoorden. Dat kan eventueel met vragenlijsten, of met ondersteuning door video-opnamen tijdens de mens-product interactie. Antwoorden op vragen over het wat, hoe en waarom van de ervaren moeilijkheden, kunnen

zeer subjectief zijn, maar zeker ook informatief, vooral als dezelfde antwoorden worden gegeven door diverse proefpersonen.

Neventaken: soms valt na te gaan hoeveel extra iemand naast de primaire taak nog kan presteren. In laboratorium-situaties kan met behulp van een gestandaardiseerde tweede taak soms een beeld worden verkregen van het mentale restvermogen (mental spare capacity), dat overblijft naast de belasting door de primaire taak.

Vegetatieve reacties

Vele lichaamsprocessen, die niet onder de directe wilscntrole staan, blijken toch iets te zeggen over mentale inspanningen. Die kunnen soms worden geobserveerd of gemeten: de regelmaat van de hartslag wijst op concentratie; transpiratie en verhoogde spierspanning wijzen ook bij geestelijke arbeid op vermoeiing.

Ergonomische product-taak analyse

Tot op zekere hoogte kan een analyse van de standaard handelingen met een bepaald product geschieden zonder representatieve gebruikers. Het systematisch in kaart brengen wat de gebruiker moet doen met het product en het inschatten wat dat dan van hem/haar vergt, kunnen aan een gebruiksonderzoek vooraf gaan. Het betreft een nadere uitwerking van de systeem-analyse en van een algemene, ergonomische functie-analyse, die vroeg in het ontwerpproces een plaats krijgen. Zulk een analyse kan op diverse niveaus worden uitgevoerd:

Ten eerste op het niveau van signaalgevers en bedieningsonderdelen: van elk wordt eerst nagegaan of de gekozen codering en zijn vorm en plaats onderscheidbaar, bereikbaar, begrijpelijk en uitvoerbaar zijn en of ze aan de waarschijnlijke verwachtingen van de beoogde gebruikers beantwoorden (compatibiliteiten).

Ten tweede op het niveau van totale mens-product interactie: niet alleen bij normaal gebruik, maar ook bij denkbare bijzondere situaties, worden de lussen, terugkoppelingen en volgorden, al redenerende of observerende, in kaart gebracht. Men probeert te registreren met welke frequentie de zintuigen en ledematen van het ene punt op het product naar het andere gaan. Daaruit dienen schattingen voort te komen over de probleempunten, over de overzichtelijkheid, natuurlijkheid en vloeiendheid van de waarschijnlijke interactiepatronen, over de leerprocessen en mogelijk over de ontwikkeling van routines.

Tenslotte op het niveau van omgeving: op systematische wijze wordt beredeneerd hoe bijvoorbeeld onder zwakke verlichting, of indien niet uitgesloten, onder lawaai, trilling, of bij extreme temperaturen of G-krachten, het hanteren kan worden beïnvloed en of daar, door het bijstellen van het ontwerp, kruid tegen gewassen is.

19.6 Een tiental geboden voor ontwerpen van intelligente producten

Het moeilijke ontwerpen van breinhulp

Als afsluiting van beide hoofdstukken over de cognitieve ergonomie dient herhaald te worden dat de intelligente producten de meest geavanceerde en meest complexe hulpmiddelen zijn. Juist bij deze versterkt de verscheidenheid van de technische functies de verscheidenheid van de aangesproken menselijke capaciteiten en gewoonten. De ergonomische inzichten in dit zeer brede type van mens-product interactie zijn nog verre van volledig. In het voorafgaande werden echter wel enkele ontwerprelevante overwegingen en methoden genoemd. Ofschoon die via veel onderzoek en toepassing nog dienen te worden uitgebreid en verbijzonderd, verminderen ze nu al grote onzekerheden bij het ontwerpen van zulke producten, die interne geheugens en regeling enz. hebben.

Bij uitstek voor cognitief ondersteunende producten is het geraden de stand van ergonomische kennis bij het ontwerpen te betrekken. Dat geldt zowel voor de eerste ideeën omtrent een product, als voor de verdere concretisering, selectie en toetsing van model en prototype. De keuzen omtrent gebruikers, product en interactie zullen systematisch en in samenhang dienen te geschieden. Ergonomische sys-teem-, functie- en taak-analyses kunnen daarbij helpen, zowel door een goede beredenering vooraf, als door toetsing aan representatieve gebruikers.

Enkele principes en geboden

Het gaat bij de ontwikkeling van deze hulpmiddelen derhalve ook om diverse principes. Daarvan zijn enkele zeer belangrijke geselecteerd en die worden nu hierna als een voorlopige en onvolledige verzameling in tien geboden verwoord:

- Beargumenteer hoe het ontwerpbeeld aansluit bij de waarschijnlijk veel voorkomende productbeelden van gebruikers.
- Maak een onderscheid tussen nieuwe en incidentele en routine-gebruikers.
- Beperk de vrijheid van volgorde bij de interactie alleen, voorzover er anders fouten of onzekerheden gaan optreden.
- Geef voorkeur aan die oplossingen waardoor gebruikers hun eigen tempo kunnen volgen.
- Geef onmiddellijke kennis van resultaat (feedback) en, zonodig, informatie met voorwaartse koppeling (feed forward).
- Zorg ervoor dat de coderingen van signaalgevers en bedieningsonderdelen eenduidig, samenhangend en compatibel zijn.
- Vermijd monotonie en onnodige vigilantie, zorg voor variatie in de soort en momenten van prikkels.
- Vermijd een sterke aanspraak op het korte-termijn geheugen.
- Tracht dusdanig te ontwerpen dat onderdelen en functies, die waarschijnlijk minder of nauwelijks benut gaan worden, de primaire taakuitvoering en

- leerprocessen niet hinderen.
- Toets de voorgaande principes herhaaldelijk tijdens het ontwerpproces en niet in de laatste plaats door gebruiksonderzoek met representatieve gebruikers aan productmodellen, simulaties en prototypen.

Begrippen

Mentale belastingsgraad:

- k2 model van kanaal, eenheid, bandbreedte en volhoudcurve
- k1 bit, bits/sec
- k1 informatie: H, \bar{H}
- k2 redundantie R_H

Principes van terugkoppeling:

- k1 (onmiddellijke) kennis van resultaat
- k1 feedback, feed forward
- k1 predictieve display

Korte-termijn geheugen:

- k1 vergeten van codes en volgorden

Etmaalsritme:

- k1 activatie-niveau
- k2 paraboolvormig verband prestatie-activatie
- k2 prikkeldrempels
- k2 slaapschuld
- k1 prikkelarmoede, monotonie
- k2 sensory deprivation
- k1 kort-cyclische repeteertaken
- k1 vigilantie-taken
- i1 false positives, false negatives
- k3 neventaak, tweede taak

Indicatoren mentale inspanning en vermoeidheid:

- k2 prestatie-indicatoren
- k2 subjectieve indicatoren
- k3 niveau's van taakanalyse

Vragen en suggesties

- 19.1. Onthoudt een uur de volgende cijferreeks: 2-9-0-7-0-1.
- 19.2. Waarom is enige redundantie in informatie bij de meeste mens-product interactie toch efficiënt?
- 19.3. Simulatie van breinprocessen (artificiële intelligentie) blijft technisch en praktisch beperkt, zolang niet veel meer bekend is omtrent de werkelijke

breinprocessen. Is dat een juiste verwachting?

- 19.4. Wat is het activatieniveau?
- 19.5. Wat is prikkelarmoede en welk proces volgt erop?
- 19.6. Wat is de mentale belastbaarheid van een intelligent en ervaren persoon op een moment van een laag activatie-niveau?
- 19.7. Noem een product waarbij een eenvoudige handeling vele malen achtereen moet worden verricht. Hoe kan dit worden veranderd?
- 19.8. Welk gevaar treedt er op bij vigilantietaken?
- 19.9. Bedenk een voorbeeld van een eenvoudig predictief display bij een veel voorkomend consumenten gebruiksgoed.
- 19.10. Geef meer voorbeelden van het geleiden van bedieningsstappen door successief aanlichten van instructies voor bedienen van een apparaat.
- 19.11. De begrippenlijsten aan het eind van elk hoofdstuk geven kennis van resultaat ofwel terugkoppeling over het effect van bestuderend lezen.
- 19.12. Laat uw 'digit span', ofwel het korte-termijn geheugen voor cijferreeksen, zoals voorgeschreven vaststellen door een ander.
- 19.13. Geef voorbeelden van feedback/feed forward bij producten.
- 19.14. Bekijk hoe u de cijfers van telefoonnummers van kennissen groepeerd in uw geheugen.
- 19.15. Code reeksen zijn beter te onthouden door de cijfers of letters in groepjes ('chunks') van 2 of 3 te zetten. Zijn er nog andere methoden?
- 19.16. Wat was de cijferreeks uit de eerste vraag? Waarom onthield u deze reeks gemakkelijk (het lijkt op een datumaanduiding) of waarom is hij weer uit uw geheugen verdwenen?
- 19.17. Kost een avondstudie meer aan een ochtendmens?
- 19.18. Bij prikkelarmoede in de omgeving kan het activatie-niveau nog redelijk lang hoog blijven door interne prikkels. Geef daarvan uitleg en voorbeelden.
- 19.19. Geef nadere verklaringen voor gebod nummer 4 (pag. 412).
- 19.20. Vergelijk het 'rendement' van het lezen van de hoofdstuk-samenvatting vóór de rest van het hoofdstuk met wanneer u het nu nogmaals leest. Maak er een gewoonte van deze zowel voor- als achteraf te lezen.
- 19.21. Beschrijf uw symptomen van mentale vermoeiing na het degelijk bestudeerd hebben van dit hoofdstuk.

Deel

V

Ontwerpen en
beoordelen van
product-
functionaliteit

20

Ergonomische gebruiksfunctionaliteit: nut, efficiëntie, comfort en veiligheid

Samenvatting

Nadat er aandacht gegeven is in de drie voorgaande delen aan de fysieke, sensorische en cognitieve ergonomie en aan de corresponderende categorieën voor fysiek-, sensorisch- en cognitief-ondersteunende producten, is het weer tijd voor een synthese. In het eerste deel van dit studieboek werd de relatie al gelegd tussen productergonomie en productinnovatie en -ontwerpen. Deze wordt nu met de behandeling van algemene kwaliteiten van productgebruik weer voortgezet. Productfunctionaliteit blijkt op diverse manieren te kunnen worden gedefinieerd, maar gebruikskwaliteit blijft in principe de primaire bestaansredenen van een product. Het nut van gebruiksgoederen wordt geanalyseerd via een formule. Vervolgens worden twee van de drie overige ergonomische gebruikskwaliteiten uitgelegd: efficiëntie en comfort. De laatste, productveiligheid, komt aan de orde in hoofdstuk 21 'Veilig productgebruik'. Die kwaliteiten vormen de belangrijkste doelstelling en toets voor productontwikkeling. Zij zijn niet geheel te kwantificeren, maar er zijn voldoende overwegingen en principes om richting te geven aan het ontwerpen en beoordelen van gebruiksgoederen.

20.1 Verband met wat voorafging

Met dit inleidende studieboek over productergonomie wordt een overzicht gegeven van de menselijke kenmerken, die van belang zijn voor de directe omgang van de mens met zijn hulpmiddelen. De kennis van die kenmerken kan inspiratie en maatstaf leveren bij het bedenken, ontwikkelen en beoordelen van speciaal die gebruiksgoederen, welke industrieel in serie worden vervaardigd en die de gebruikers vaak en intensief benutten.

De hoofdlijnen

Het uitgangspunt bij het ontwerpen is steeds dat de techniek er is voor de mensen. Het primaire doel van een hulpmiddel is het gebruik door gebruikers. Via een schets van de geschiedenis van de techno-cultuur, werd gekomen tot de verlengstuk-theorie. Die hield de visie in dat, ondanks de groeiende verscheidenheid van producten en gebruikers, de gebruiksgoederen altijd hulpstukken (orthesen en prothesen) blijven voor drie groepen van menselijke, biologische-psychologische functies. Die functies zijn input, throughput/storage en output. Ofwel de zintuigen

(opmerken, onderscheiden, opnemen), het brein (afwegen, beslissen, plannen en onthouden) en de ledematen (bewegen, krachtoefeningen, sturen). Na een algemene modellering van mens-product interactie bij gebruik, en de methoden van hoe te kunnen omgaan met de menselijke verscheidenheid (met behulp van een aantal ontwerptypen), werd de stof in drie boekdelen gedeeld, volgens de systematiek van de drie groepen: fysieke, sensorische en cognitieve ergonomie. Bij elke deel kon ook een categorie van producten (fysiek-, sensorisch- en cognitief-ondersteunende producten) worden onderscheiden. Deze ondersteunen vooral, zij het nooit uitsluitend, menselijke kenmerken uit de respectieve delen. Van de fysiek ondersteunende producten kunnen als voorbeeld meubilair en handwerktuigen worden genoemd, van de sensorisch ondersteunende producten brillen en signaalgevers (displays) en van de cognitief ondersteunende producten de intelligente producten en materiële middelen voor geheugensteun. De categorie 'algemeen ondersteunende producten' zou kunnen worden gereserveerd voor gebruiksgoederen die niet ontworpen zijn als hulp voor vooral één van die drie groepen van menselijke functies, maar waarbij die drie groepen ongeveer in gelijke mate worden ondersteund. Tot die algemeen ondersteunende producten behoren nogal eens product-systemen (werkplek, auto en dergelijke). Het bleek van belang bij gebruiksgoederen niet alleen de aandacht te richten op het strikte gebruik, maar ook op voorbereidende gebruiksfasen en gebruiksfasen van na-zorg.

Naar een synthese

In dit laatste deel wordt dus weer tot een synthese gekomen. Belangrijke kwaliteiten voor alle mens-product interactie, en dus voor het gebruik van alle vier productcategorieën, zullen nader worden behandeld. In 4.4 'Ontwerpen voor herkenbaarheid en gebruik' werd daartoe reeds een aanzet gegeven. Die kwaliteiten kunnen worden gerangschikt onder het begrip 'product-functionaliteit'. De product- en systeemergonomie richt zich daarbij op de directe ondersteuning van menselijke functies en gedrag en minder op de maatschappelijke en lange-termijn effecten van de gebruiksgoederen.

20.2 Productfunctionaliteit

Intentie en verwachting van gebruiker

Het begrip functionaliteit stamt af van het latijnse werkwoord *fungi*, dat zoveel betekent als het volbrengen van een doeltreffende actie. Eén of andere functie wordt daarmee 'goed vervuld'. Een functie kan niet alleen bepaald worden op basis van het door de ontwerper/fabrikant bedoelde gedrag van het product, want het daadwerkelijke gedrag bij gebruik en interactie met gebruikers moet er ook bij betrokken worden. Het goed vervullen van een functie kan niet alleen beoordeeld worden op het bereikte resultaat en de wijze waarop, maar is pas volledig als het 'waarom' erbij wordt betrokken. Functionaliteit is dus ook afhankelijk van de intentie en verwachting van de gebruiker. Eerder, in 18.3, werd gesproken van 'het

product in het brein'. Daaruit blijkt dat de achtergronden van gedrag en productgebruik zeer gevarieerd kunnen zijn. De ergonomische belangstelling wordt vooral gericht op de directe hulp en ondersteuning door het product. Daarom is het ergonomische functionaliteitsbegrip vooral gebaseerd op beoordeling van het observeerbare gebruiksgedrag. Op basis daarvan kan men komen tot een inschatting van de volgende vier kwaliteiten bij productgebruik: nut, efficiëntie, comfort en veiligheid.

Verskillende productfunctionaliteiten

Die zojuist genoemde vier ergonomische gebruikskwaliteiten vormen aspecten van het begrip functionaliteit; aan die vier aspecten (of deel-functionaliteiten) van de ergonomie moet voldaan worden, opdat het product de door de gebruikers gewenste functie naar tevredenheid vervult.

Die gebruikers kunnen ook andere bedoelingen en behoeften hebben, op hoger niveau en van verder strekkende aard. Bijvoorbeeld tuinieren om tot geestelijke rust te komen, fietsen voor de conditie, koken om gasten te imponeren e.d. Bij producten kan ook een psychologische functionaliteit onderkend worden, waarbij het productgebruik of -bezit de zelf-opvatting (ego) van een individu ondersteunt (de opvallende, artistieke bril), of zijn maatschappelijke rol (de stethoscoop demonstratief in de artsenjas) en status (het polshorloge met diamanten polsband) aanduidt, en zo voorts. Bij de productontwikkeling zijn ook nog andere partijen betrokken, met andere belangen en intenties en dientengevolge andere opvattingen over productfunctionaliteit. Globaal zijn de volgende soorten productfunctionaliteit aan te geven:

Vormgevings-productfunctionaliteit: de mate waarin de uiterlijke verschijningsvorm wordt beleefd als evenwichtig en aantrekkelijk, en wordt herkend als passend bij het soort product, de gebruiksomgeving en bij een leefstijl van gebruikers. Naast het individuele belang worden hierbij ook algemener, culturele belangen meegewogen (Smets, 1986).

Technische productfunctionaliteit: de mate waarin door middel van materialen, mechanismen, samenstelling en vervaardigingswijze een goede oplossing wordt gerealiseerd voor het bereiken van een bepaalde technische output (zoals kracht, verplaatsing, omzetting, signalering en dergelijke). Het technische belang is dat 'het werkt' en liefst slim en met hoog rendement.

Bedrijfskundige productfunctionaliteit: de mate waarin een product bijdraagt tot de winst en werkgelegenheid van de onderneming, door aansluiting van eigen ontwerp- en productie-mogelijkheden op vragen in de markt. Het belang is hier vooreerst de continuïteit en winst van het bedrijf.

In zekere zin kan de functionaliteit van producten ook op hoger en abstracter niveau worden ingeschat. Er zijn soms ook maatschappelijke belangen in het spel, van algemener economische of sociale aard. Producten of productgroepen kunnen een speciale invloed hebben in (politieke) beslissingen en effecten, bijvoorbeeld bepaalde producten worden vooral geproduceerd omwille van de plaatselijke

werkgelegenheid, of bepaalde gebruiksgoederen worden door een overheid gestimuleerd ter verbetering van de publieke communicatie en het vervoer. Het gaat dus soms om middelen voor de samenhang in een samenleving, of betreffende de algemene veiligheid etc.

Het is zelfs niet overdreven aan productfunctionaliteit enige mondiale betekenis toe te kennen. Milieukundig ontwerpen is een recente invalshoek, die benadrukt hoe de materiaal- en energie-stromen, die verbruikt worden voor het maken, vervoeren, gebruiken en afdanken van gebruiksgoed, een zodanige belasting vormen voor de wereldvoorraden en het natuurlijke milieu, dat de continuïteit ofwel de 'duurzaamheid' in gevaar komt. De belangen zijn hier de verscheidenheid van het natuurlijke milieu en ook de leefmogelijkheden voor komende generaties.

Gebruikskwaliteit is de primaire bestaansreden van gebruiksgoederen

Al deze betekenissen van productfunctionaliteit vormen, op één of andere wijze tezamen genomen, de totale productfunctionaliteit. Op kleine schaal en op korte termijn zijn de verschillende productfunctionaliteiten niet steeds alle in onderling evenwicht. De ergonomische productfunctionaliteit vormt echter de basis van de totale productfunctionaliteit. Producten zijn hulpmiddelen en in eerste instantie ontegenzeggelijk bedoeld voor daadwerkelijk gebruik. De gebruikskwaliteiten nut, efficiëntie, comfort en veiligheid, zijn daardoor belangrijke begrippen, die de directe menselijke kosten en baten van hulpmiddelen verhelderen en die de primaire redenen aangeven voor het ontwerpen en het bestaan van een gebruiksartikel. In de praktijk kunnen secundaire redenen wel eens domineren, wat te denken geeft!

20.3 Nut van gebruiksgoederen

Het begrip nut is een weinig omljnd denktuig (zie 3.1 'Denktuigen'). Nut verwijst naar voordeel en opbrengst, c.q. resultaat. Gezien de verschillende opvattingen en belangen betreffende productfunctionaliteit kan het nut dus meerduldig zijn. In de economie wordt liever gewerkt met de begrippen schaarste en afzet en wordt nut moeilijk meetbaar gevonden. 'Voordeel' is in ons kader op te vatten in termen van menselijke functies, die door productgebruik meer, beter, verder, hoger, sneller en zo voort kunnen worden verricht. De mogelijkheden kunnen echter verschillen van de werkelijkheid. Het ontwerpbeeld kan dus nogal verschillen van de interactie tussen Mens en Product in de praktijk. Dat is ook begrijpelijk bij industriële massafabricage, waar één product grote hoeveelheden nut genereert bij een diversiteit van gebruikers in allerlei gebruiksmomenten en -situaties. Producten zijn niet constant in gebruik, niet altijd op gelijke manier en niet even vaak; sommige zijn nodig om te overleven en dus essentieel en andere zijn luxe. Er is een spanningsveld tussen het ideale nut en de werkelijkheid, waarin veel producten overbodig zijn.

Het productnut is theoretisch uit te drukken als een kosten-baten quotiënt. Er wordt voorgesteld in de teller de volgende elementen op te nemen:

urgentie (U), gebruiksduur (D), gebruiksfrequentie (F), levensduur (L), en aantal gebruikers (G_n). Ook het plezier (P), dat mensen in het gebruik van een product kunnen beleven, kan tot de baten worden gerekend.

In de noemer worden opgenomen:

inspanning vooraf (I_v), tijdens (I_t) en achteraf (I_a), kostbaarheid van tijd (K_t), van eigen geld (K_g) en van ruimte (K_r).

Indien men het nut-quotiënt op een hoger niveau zou willen analyseren, zoals bijvoorbeeld bij duurzame technologie, worden aan de teller aspecten toegevoegd in de trant van werkgelegenheid (in de verdere toekomst) of andere maatschappelijke doelstellingen. De noemer wordt dan aangevuld met aspecten, zoals beslag op: (schaars) materiaal, energie, publieke ruimte, en beslag op productiefaciliteiten, op kennis en infra-structuur. In dit kader houden wij het op de beperkte formule voor het nut van gebruiksgoed (N_p):

$$N_p = \frac{U \cdot D \cdot F \cdot L \cdot G_n \cdot P}{I_v + I_t + I_a + K_t + K_g + K_r}$$

De termen in de teller zijn in vermenigvuldiging gesteld en die in de noemer als optelsom. Het gaat immers om het totaal van gebruik tegen het totaal van de kosten. Daarbij is gekozen voor het idee dat het totaal van de baten overeenkomt met het rekenkundig product van de onderdelen om de interactie te benadrukken, en het totaal van de kosten als de som van de onderdelen.

Het kan zijn dat een betrekkelijk lage U gecompenseerd wordt door bijvoorbeeld een hoge G_n . Wat is zinvoller: voor een gering aantal blinden een duur en elektronisch geavanceerd Braille-leesapparaat te maken, of voor 10.000 van hen een sterk verbeterde, goedkope blindenstok? Misschien geldt dan wel:

$(U_1 \cdot G_{n1}) = (U_2 \cdot G_{n2})$. Ook kunnen $D \cdot F$ in uitruil staan met L . Bijvoorbeeld het kortstondig en zelden gebruiken, maar dan wel als product vele jaren meegaan; versus gedurende slechts enkele jaren zeer vaak, al dan niet kortstondig, van nut zijn. Het EHBO-trommeltje thuis beantwoordt meer aan de eerste beschrijving en een CD met tophits of een wieg meer aan de tweede. Veel P kan een lage U compenseren. Een éénwieler bijvoorbeeld heeft een bijzonder lage urgentie maar het fietsen daarop geeft veel plezier, zodat het product wel degelijk nut heeft.

De waarde van de noemer kan ook op vele manieren worden samengesteld. Inspanning tijdens het eigenlijke gebruik (I_t) kan bijvoorbeeld gering zijn, maar het voordeel kan teniet worden gedaan door de noodzaak van een forse inspanning achteraf (I_a). Dit geldt bijvoorbeeld als een keukenmachine veel snijwerk uit handen neemt, maar daarna lastig schoon te maken is. Of dat de gezamenlijke inspanningen nogal hoog zijn (fysiek of financieel), maar dat een druk bezet iemand (K_t) dat ervoor over heeft, omdat het tijdbesparend (D) is. De boodschappen zijn eigenlijk te zwaar, maar als je haast hebt zal je toch proberen ze in één keer te dragen. Het hulpmiddel kan bijvoorbeeld laag zijn in alle kostenposten behalve wat betreft ruimte (K_r): het neemt in feite teveel ruimte in voor de beoogde gebruikssituatie. De parameter financiële kosten (K_g) is

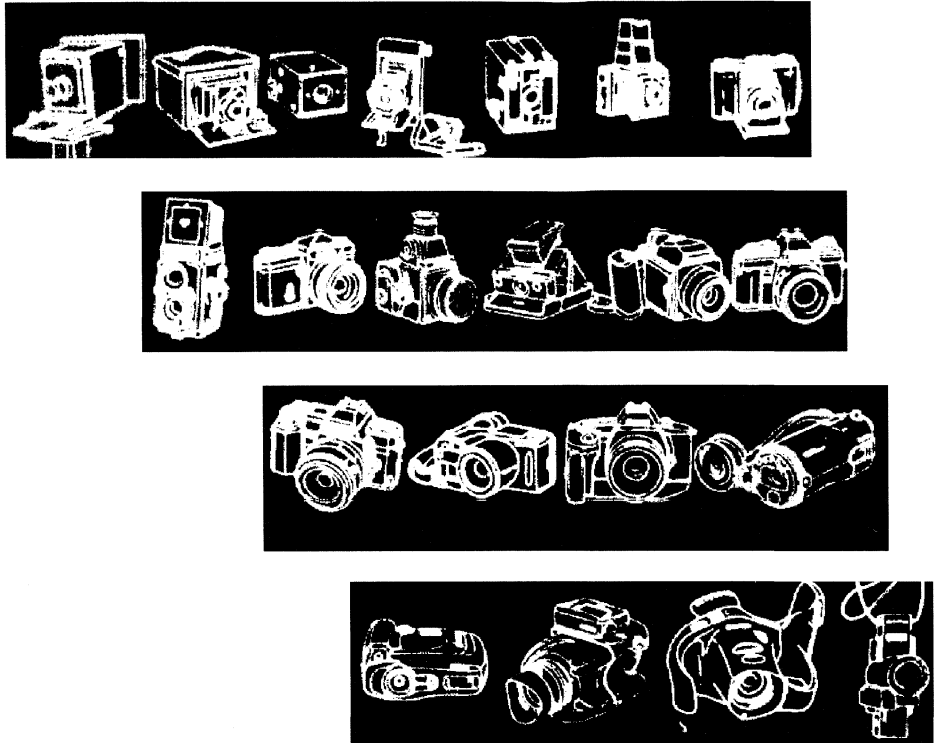
samengesteld uit diverse onderdelen: welk beslag wordt er gelegd op het budget door aanschaf, vervoer, gebruik (bijvoorbeeld met batterijen, extra hulpmiddelen of verbruiksstoffen), onderhoud en afdanken. De goedkope auto die benzine slurpt; de goedkope aanbieding die een dag reizen vergt om het aan te schaffen; de gekregen oude wasdroger, die na een halfjaar ophaalkosten voor de gemeentereiniging vergt, enzovoort.

Het nut van deze theoretische nut-formule is vooral gelegen in de mogelijkheden van het expliciet benoemen van de factoren en hen in een overzicht bijeen te brengen om onderlinge afweging mogelijk te maken. In vele gevallen zal dat grotendeels blijven bij een kwalitatieve vergelijking, omdat helaas geconstateerd moet worden dat die parameters (de termen in de formule) nog niet altijd accuraat in maat en getal (dus kwantitatief) kunnen worden uitgedrukt. Het kwalitatief analyseren en afwegen is echter nodig om enig inzicht te krijgen in het nut van productgebruik. Een individueel nutquotiënt van een gebruiker ten aanzien van een bepaald product zou kunnen blijken uit frequent gebruik, uit tekens van tevredenheid of plezier, of uit opnieuw aanschaffen. Daarbij past enige terughoudendheid. Bij gebrek aan een alternatief product kan een gewoonte ontstaan, die als normaal wordt aanvaard en beleefd. 'Men hecht snel aan z'n ellende' wordt wel eens beweerd. De gemiddelde gebruiker heeft gewoonlijk slechts een vaag beeld van het huidige aanbod van dat type functie-vervuller en is niet goed in staat om, als ware hij ontwerper, zich te realiseren dat er andere, betere producten kunnen bestaan of anders bedacht kunnen worden. Er is al eerder op gewezen (4.5 'Waar product- en systeemergonomie minder ontwerprelevant is') dat een lange historische reeks van productverbeteringen nog geen optimum garandeert. Veelal ziet men veranderingen in kleine stapjes, zoals bij camera's (figuur 20.1) of fietsen. Bij elke stap dient de ontwerper zich af te vragen of niet alleen het volgende stapje, maar ook de grote lijn wel in een gewenste richting gaat. Het kan zijn dat de omstandigheden van fabricage of gebruik, of de wensen van de consument, in de loop der tijd veranderd zijn. In dat geval kan de ontwerper beter uitgaan van de oorspronkelijke functie van het product dan het volgende ontwerp te baseren op het huidige product. Of is een totaal nieuw concept nodig?

Idealiter gaat men bij elk ontwerp dus als professioneel verantwoordelijke terug naar de basis van de nutparameters, gebruikskwaliteiten en naar een zo objectief mogelijke invulling van het mens-product interactie model. Het strookt niet met de volwassenheid van een vakgebied om externe opdrachten klakkeloos uit te voeren. Professionalisme betekent juist meer diepgang in het overwegen van nut en dat kan leiden tot wijzigen of zelfs verwerpen van een opdracht. In dat opzicht zijn het ontwerpen van gebruiksgoederen en de productergonomie pas aan het begin. Nadenken over nut is de grootste bron van productinnovatie voor 'quality of life'.

20.4 Efficiëntie en effectiviteit

Bij het beoordelen van de belangrijkste kwaliteiten van een product kan men het zich professioneel niet veroorloven onvolledig of onjuist te zijn. We hebben bij de



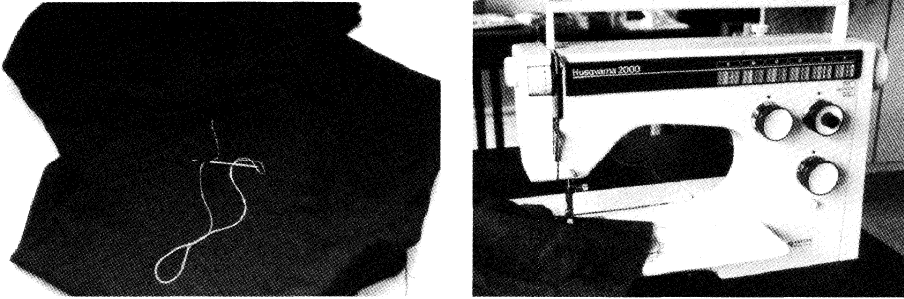
Figuur 20.1 Historische reeks van productverbeteringen (Bijman, 1992).

behandeling van de nut-formule echter al gezien dat de belangrijkste kwaliteiten vaak juist het moeilijkst te bepalen zijn.

De begrippen efficiëntie en effectiviteit zijn beide nauw verwant aan het begrip 'nut', maar zijn minder omvattend en iets nauwkeuriger te hanteren.

Effectiviteit (of doeltreffendheid) duidt aan in hoeverre door gebruik van een product het beoogde doel wordt bereikt, waarbij de kosten buiten beschouwing worden gelaten. De ene wasdroger geeft een droger eindresultaat dan een andere, voor precisie-werk is een grote beitel te grof en minder effectief dan een kleine beitel. Ook handwerk en machinewerk kunnen verschillen in effectiviteit, zie figuur 20.2. Het criterium 'effectiviteit' komt dus voort uit de eisen die aan het resultaat worden gesteld. Bij vergelijkend warenonderzoek krijgt effectiviteit uiteraard een groot gewicht in het eindoordeel van de vergeleken producten.

Efficiëntie (of doelmatigheid) daarentegen beziet wèl de kosten die worden gemaakt voor het behalen van een resultaat (zie bijvoorbeeld Kroemer et al., 1994). Door de verhouding van kosten en baten benadert dit begrip dichter het nut-quotiënt. Bij nut worden echter meer factoren betrokken. Efficiëntie wordt meestal smaller gehanteerd en de nadruk valt meer op de vergelijking van de directe inspanning en kosten die voor het behalen van een bepaald resultaat nodig zijn. De nadruk valt dus op de noemer van de nutformule. De aandacht, die de product- en



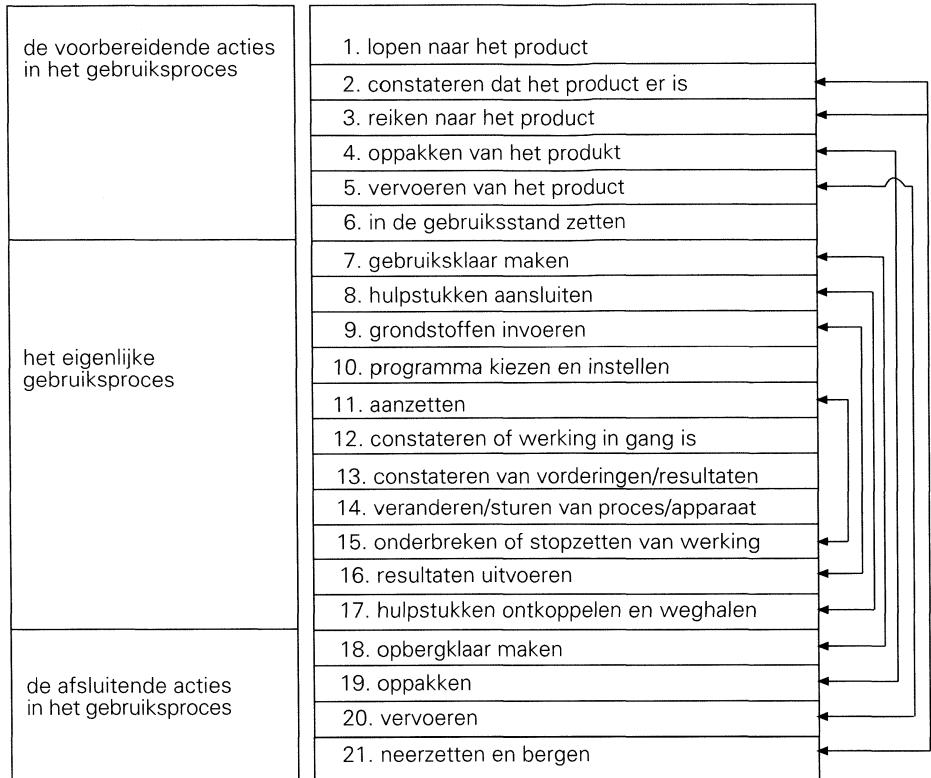
Figuur 20.2 Is de dure machine efficiënter of effectiever?

systeemergonomie pleegt te besteden aan de interactie tussen gebruiker en hulpmiddel en aan de belastingsgraden (hoofdstuk 9 ‘Fysieke inspanning’, hoofdstuk 11 ‘Het leren en begrijpen van complexe bedieningsprocessen’ en hoofdstuk 19 ‘Mentale belasting’), lijkt de nadruk te leggen op efficiëntie. Vandaar dat de beide eerste ergonomische gebruikskwaliteiten ‘nut’ en ‘efficiëntie’ heten. Een product met een hoge effectiviteit kan dus een lage efficiëntie bezitten in vergelijking met andere producten: vergelijkenderwijs is het resultaat prachtig, maar wel ten koste van meer aandacht, of tijd, of lichamelijke inspanning, dan voor soortgelijke producten geldt. Afwassen met de hand kan bijvoorbeeld doeltreffender, maar soms minder doelmatig zijn dan afwassen met de machine. De vraag is dan welke meerwaarde in de eindkwaliteit (meer details en nuancering) nog welke extra moeite waard is. Omgekeerd geldt natuurlijk dat weinig moeite zelfs voor een slecht resultaat overbodig is.

Hoever terug de kosten meerekenen?

In de productergonomische gedachtengang kan de efficiëntie van een product nog van enkele kanttekeningen worden voorzien. Een viertal volgt hier.

Om te beginnen de vraag waar men de kosten voor het resultaat van productgebruik toerekent. In de nutformule werden reeds de kosten onderscheiden voor de verschillende gebruiksfasen: I_v , I_t en I_a . Onder de kosten achteraf werd in de eerste plaats gedacht aan reinigen, demonteren, opbergen en dergelijke. De gedachte kan echter ook worden uitgebreid naar verdere effecten. Zo zal straks aandacht worden besteed aan de vierde gebruikskwaliteit: veiligheid. Een in principe nuttig product, dat met weinig moeite gehanteerd wordt maar wel vaak letsel veroorzaakt, zou bij meetellen van deze kosten achteraf wel eens als onvoldoende kunnen worden beoordeeld. Verderop zal die negatieve kostensoort echter apart worden behandeld. De vraag naar kostentoerekening wordt vooral van belang als men bij de I_v , de inspanning vooraf, verder gaat terugrekenen dan de voorbereidende gebruiksfasen van zoeken, vervoeren, opstellen, gebruiksklaar maken enzovoort. Het vraagstuk is verwant met de vraag waar de ‘systeemgrenzen’ getrokken moeten worden (zie hoofdstuk 3 ‘Modellen en systemen’). Als een voorbeeld van het uiteenleggen van het gebruikproces in vele fasen kan figuur



Figuur 20.3 Fasen in een gebruiksproces.

20.3 worden gebruikt (uit Cruijff, Dirken et al., 1983). Het gebruiksproces is daarin gesplitst in 21 fasen. De lijnen ter rechterzijde geven aan welke fasen spiegelbeeldig zijn ten opzichte van elkaar.

Het is niet onredelijk ook de leerprocessen voor het gebruik (niet opgenomen in figuur 20.3) in de rekening op te nemen. Een leerproces zal weliswaar meestal een investering zijn voor vele malen gebruik erna, maar dat hoeft niet altijd zo te zijn (de toerist die één keer de vreemde telefooncel benut). Indien een speciale motorische vaardigheid via vele pogingen dient te worden verkregen, moet daar rekening mee worden gehouden bij de beoordeling van efficiëntie. Een ligfiets berijden vergt enig omleren, maar dat zou de moeite waard kunnen zijn (figuur 20.4).

In het algemeen geldt bij het leren bedienen van een product dat in het begin vooral de motoriek aandacht vraagt en daarna meer de betekenishebbende aspecten van de interactie: er vindt een verschuiving plaats van een fysiek leerproces naar een informatieel leerproces. In menig opzicht geldt dat eveneens voor de historische ontwikkeling, waar eerst mechanisering ontstond en daarna automatisering volgde. De handelingen worden eenvoudiger, maar het decoderen van signaalgevers en het doorzien van de machine-intelligentie vereisen meer oefening. Men vergelijkte de vroegere auto's met die van tegenwoordig. In den beginne moesten auto's worden

aangeslingerd en ze hadden een forse hefboom als rem. De moderne varianten hebben een startmotor en op vele plaatsen bekrachtiging, maar het dashboard is veranderd in een heuse, complexe 'cockpit'. Het klassieke posten van een brief vergde lopen; het faxen vraagt meer opletten. Zo ook het zoeken van een artikel door langs de schappen in de supermarkt te wandelen versus het vinden van de plaats ervan door middel van een toetsenbord en beeldscherm bij de ingang. Leerinvesteringen in productbedienen blijken veelal efficiënt, omdat het bedieningsproces daarna soepeler en automatisch kan verlopen, maar ze mogen als kostenpost niet worden verwaarloosd.



Figuur 20.4 Opnieuw leren fietsen?

Efficiëntie en gezond belasten

Dat brengt ons tot een tweede vraagpunt: Waarom moet alles zo efficiënt? Daarop is in vorige hoofdstukken al antwoord gegeven. De belastingsgraad dient niet te hoog te zijn; een kortere gebruiksduur maakt tijd vrij voor andere bezigheden, en minder inspanning laat energie over voor wellicht nuttiger zaken. Zo werd er al op gewezen welke sprong de menselijke cultuur kon maken door voedsel te koken, waardoor men minder tijd nodig had om te kauwen. Onderzoek wijst uit dat, gedurende de laatste eeuw, de huisvrouw in de westerse wereld onveranderd een veertig tot vijftig uur per week huishoudt, maar dat zij door de mechanisering een groeiend deel van die tijd aan gezinscontacten en opvoeding van kinderen kan besteden. De medaille heeft echter een keerzijde. Is het ook zinvol te werken aan de efficiëntie van producten die van oppervlakkig belang zijn? En, wat ernstiger is, indien opperste efficiëntie gerealiseerd is, zal de mens dan niet geplaagd worden door 'onderbelasting'? Het is realiseerbaar met een paneel vanuit de luie stoel de gordijnen, de ramen en de verwarming in het hele huis te bedienen, of de magnetron en de wasautomaat; men kan ook al via een camera de tuin, voordeur en straat inspecteren. Zulke interessante innovaties kunnen echter wel resulteren in een achteruitgang van lichamelijke conditie van de gebruikers. Dat kan met joggen

worden tegengegaan, waardoor de inspanning dus verplaatst wordt. Wat nuttig is voor een gebruiker met motorische beperkingen, of een snel vermoeibaar persoon, iemand met reuma of in een rolstoel, hoeft nog niet efficiënt te zijn voor een motorisch gezonde. Ofschoon de consument persoonlijke verantwoordelijkheid voor aanschaf en gebruik heeft, is er – ergonomisch gerekend – ook nog zoets als een ‘hygiëne (gezondheidsleer) van productgebruik’. Tegenover de trend van automatiseren wat technisch-economisch haalbaar is en het ‘weg-ontwerpen’ van aandacht, tijd en beweging in het productgebruik, staat dus de gedachte dat een hulpmiddel best mag uitdagen aan lijf en leden, brein en zintuigen.

Efficiëntie voor speciale gevallen

De derde kanttekening bij efficiëntie van productgebruik betreft wederom de grote zorg in de productergonomie voor de verscheidenheid van gebruikers (hoofdstuk 4 ‘De ontwerpuitdaging door de menselijke verscheidenheid’). De evidente constatering dat efficiënt voor de één, nog niet efficiënt voor de ander behoeft te betekenen, wordt gevolgd door de vraag waar grenzen te trekken in de normaalverdeling, ofwel welk ontwerptype te volgen. Indien alleen rekening zou worden gehouden met de gebruikers die handig zijn, veel technisch inzicht en belangstelling hebben, die over een ruim kort-geheugen beschikken en dergelijke, volgt men het verwerpelijke Prokrustes-type. Gewoonlijk zal men bij een ontwerp de grenzen moeten trekken bij een lage percentiel-waarde, zoals in hoofdstuk 4.2 ‘De zeven ergonomische ontwerptypen’ al werd besproken. Hieraan kunnen in het kort nog drie principes worden toegevoegd.

Bij sommige ontwerpen kan men de benodigde inspanning beter doseren voor zwakkeren door de mogelijkheid te bieden het tempo omlaag te brengen: degenen voor wie normaal gebruik te veel inspanning vergt, die mogen het ongestraft langzamer doen. De crux is het ‘ongestraft’ bij het ontwerpen dan niet te vergeten.

Het tweede principe ligt bij ontwerptype 7: het maken van productvarianten, die dan niet zozeer in omvang variëren, zoals bij schoolmeubilair, maar waarbij een begrijpelijker productvariant naast een complexe variant wordt verschaft, of een arbeidsintensieve versie naast één die minder kracht vergt (langere hefboomen of machinale bekrachtiging), desnoods ten koste van een lager tempo.

Het derde principe betreft het voorzien in het noodgeval: zodanig ontwerpen dat bij uitval van bepaalde geautomatiseerde of gemechaniseerde functies, er met ‘de hand’ (of het oog of eigen geheugen) verder kan worden gegaan. Veelal kan men dan niet verder komen dan zichzelf of het product uit de gevarezone brengen, maar dan is er al veel gewonnen. Kan men bijvoorbeeld bij een plots afslaan de automotor de wagen zelf naar de kant duwen (figuur 20.5)? En is bij stroomonderbreking de verwerkte tekst nog te redden? Er is dan een noodsituatie, waardoor de gebruiker het product moet ondersteunen, in plaats van omgekeerd, wat heel wat inspanning kan vergen. Dan is er in feite een neerwaartse sprong in de efficiëntie van het productgebruik. Op die eventualiteit dient de ontwerper liefst te anticiperen.



Figuur 20.5 Noodgeval: overschakelen op menselijke kracht.

Ik de lusten, jij de lasten

Het vierde vraagpunt bij efficiëntie is of zowel de lusten als de lasten bij de gebruiker terechtkomen. De luid spelende meedraagradio in het park bijvoorbeeld geeft genoeg aan de drager, maar bezorgt anderen kosten: irritatie en rustverstoring. Het wegwerpen in de vrije natuur van verpakking kan zeer efficiënt zijn voor wie van de inhoud geniet, maar de vervuilingskosten worden door de gemeenschap ooit eens gedragen. Efficiëntie op individueel niveau kan dus in inefficiëntie verkeren op groeps- of hoger niveau. Het moge duidelijk zijn dat dit soort afwentelen van kosten vaak niet door het ontwerp zijn te voorkomen. Soms echter wel, zoals bij het frisdrankblikje waar het lipje (niet bedoeld dat van de kleine drinker!) na het openen blijft vastzitten, waardoor er minder zwerfvuil ontstaat.

20.5 Comfort en discomfort

Comfort als moeilijk begrip

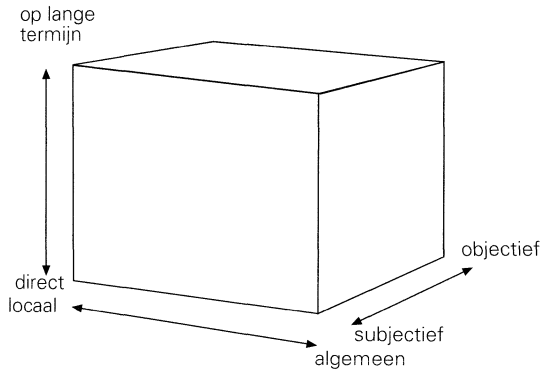
Comfort is het derde begrip in de ergonomische reeks van gebruikskwaliteiten. In diverse productsectoren, bijvoorbeeld meubilair, vormt het één van de belangrijkste verkoopargumenten en daar geldt dan 'ergonomie (comfort) doet goed verkopen'. In de ergonomie geldt comfort echter als een concept, dat weliswaar een belangrijke kwaliteit aanduidt, maar dat niet eenvoudig voor algemene toepassing te definiëren of te meten valt. Zoals wel vaker gebeurt, wordt ook hier een term uit het alledaagse spraakgebruik overgenomen door de wetenschap. Na die overheveling behoort een verschijnsel goed te zijn gedefiniëerd. Het kenmerk comfort dient te onderscheiden tussen meer of minder ervan (het is een variabele) en er dient minstens één goede meetmethode te zijn, die reproduceerbare resultaten

oplevert. Bij comfort wordt, zoals we zullen zien, nog niet voor 100% aan die eisen voldaan.

Lichamelijk welbevinden

Comfort verwijst in dit boek naar lichamelijk welbevinden. Geest en lichaam zijn echter moeilijk te scheiden. Lichamelijk ongemak is alleen oncomfortabel als de geest dat zo interpreteert, en geestelijk ongemak uit zich over het algemeen ook in lichamelijke klachten. Ook geestelijk kan men zich dus onwel bevinden, maar er zijn termen in omloop die deze staat accurater omschrijven dan 'geestelijk discomfort' (men denke aan verveling en irritatie). In de literatuur wordt de term discomfort vaak wèl voor alle vormen van (on)welbevinden gebruikt. Er zijn echter geen sluitende definities en er is zeker geen consensus over de meetmethode. Dit geldt nog het meest voor geestelijk discomfort, waar evenveel meetmethoden zijn als onderzoekers. Aangezien voor geestelijk comfort zoals gezegd ook beter andere termen kunnen worden gebruikt, wordt hier met comfort alleen lichamelijk welbevinden aangeduid. In de literatuur moet men echter bedacht zijn op een zeer uiteenlopende invulling van de term 'comfort'.

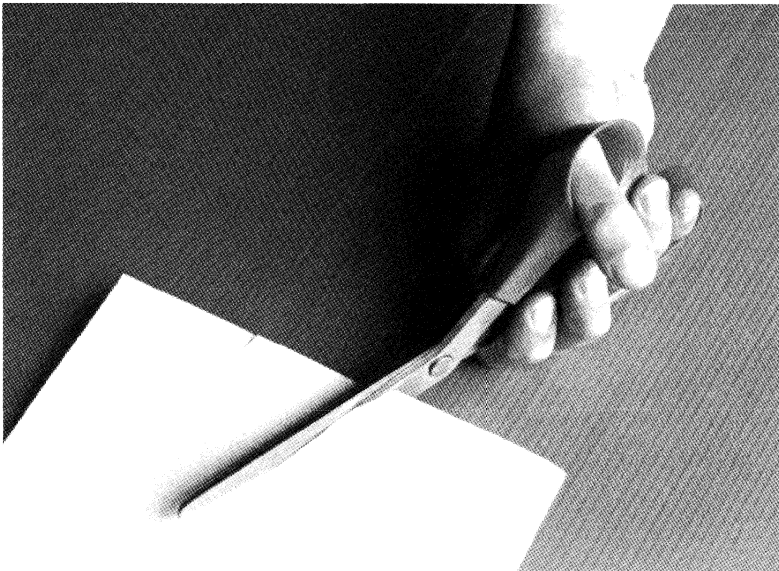
In de ergonomie wordt er overigens liever niet van 'comfort' gesproken, maar van de 'afwezigheid van discomfort'. Bij producten betekent dat dus: het ontbreken van negatieve gevoelens in lijf en leden bij en wegens productgebruik. Het doel van productvormgeving is niet dat de gebruiker permanent ondersteboven is van het uiterlijk. Evenmin kan de productergonomie uit zijn op continue gevoelens van weldadigheid. Indien wel, dan zou het een hedonistisch (genotzuchtig) doel nastreven, en dat blijkt in de praktijk van compromissen niet de hoogste prioriteit te krijgen. In werkelijkheid is het meestal de bedoeling, om het product op bescheiden wijze zijn functie te laten vervullen en het niet teveel aandacht te laten opeisen. Conform de verlengstuk-theorie gaat de parallel op van een product met een lichaamsdeel. Een duim moet bijvoorbeeld goed werken en niet gedurig in het bewustzijn aanwezig zijn, tenzij er kennelijk iets bijzonders aan de hand is, en alleen dan mag die duim gevoeld worden. In de ergonomische praktijk gaat de voorkeur eerder uit naar het bescheiden hulpmiddel en gaat de belangstelling dan ook meer uit naar het voorkómen van discomfort. De analyse omvat dus de oorzaken en mogelijke preventie van negatieve lichamelijke gevoelens bij en wegens productgebruik. Volgens een ergonomische vuistregel zijn comfortabele waarden ongeveer één derde van de maximale waarden; dat geldt min of meer voor allerlei eenheden, variërend van krachttuioefening en reikwijdte tot leesafstand van letters. Als iemand bijvoorbeeld met uiterste inspanning een blok steen van 30 kg heft, is een blok van 10 kg een langdurig en goed vol te houden last. Indien een tekst op 150 cm nog net te lezen is, gaat het lezen comfortabel op 50 cm leesafstand etc. Voor het goede begrip dienen drie dimensies van discomfort nader te worden gezien: direct versus op langere termijn; lokaal versus algemeen; objectief versus subjectief (figuur 20.6).



Figuur 20.6 Drie dimensies van discomfort.

Direct discomfort of pas later

Als een linkshandige een rechtshandige schaar hanteert, hebben voor hem de grepen scherpe randen en dat voelt bij knippen meteen onprettig (figuur 20.7).



Figuur 20.7 Rechtshandige met linkshandige schaar.

Vaker ziet men dat er bij het product hanteren in het begin niets te klagen valt, maar dat geleidelijk lichamelijk ongenoegen gaat ontstaan en erna groter wordt. Met een kleine schaar karton knippen wordt na enige tijd pijnlijk. Een te hoge werkstoel zonder voetondersteuning geeft na wat langere tijd pas de gevoelens van verminderde bloeddorstroming in de onderbenen. Aan een werkvertrek met hoge luchttemperatuur en vochtigheid past men zich gewoonlijk enige tijd aan tot de belastingsgraad de volhoudcurve snijdt (zie 9.2 'Spierarbeid' en speciaal fig. 9.6) en het onaangenaam wordt. Bij omgevingslawaaï werkt het eerder andersom; eerst last en dan veelal gewenning. Die gewenning behoeft echter geen comfort te

betekenen. Het lawaai wordt niet bewust meer waargenomen, maar de spierspanning kan ongemerkt stijgen en na langdurige lawaai-blootstelling kunnen hoofdpijn en doofheid, ook achteraf, het gevolg zijn. Er is op de tijdsdimensie dus ook nog een fase ná het gebruik, waar discomfort ook als na-effect kan verschijnen. Voor het beoordelen van discomfort is kortdurend gebruik daarom veelal niet toereikend. Bij het kopen van een fauteuil of bed of werkstoel, is een halve minuut weldadige beleving in de winkel derhalve niet voorspellend voor het (dis)comfort op de lange termijn, hoe fijn die korte comfort-beleving ook is.

Locaal of algemeen discomfort

In het voorbeeld van de scharen bleven de gevoeligheden beperkt tot de knippende hand, bij het voorbeeld van het hete vertrek betrof het een ongenoegen van het hele lichaam. Er zijn ook tussenvormen, zoals wanneer langdurig gespannen turen eerst een pijnlijke nek en vervolgens via uitstraling ook pijnlijke schouders kan geven. Het discomfort blijft dus niet altijd beperkt tot het orgaan met het meest directe contact met het product, c.q. dat met de meeste inzet bij het productgebruik. Bij een langdurige blootstelling aan prikkels die niet direct waarschuwen, zoals veelal bij vernoemd lawaai, hoge tempodruk, moeilijk inspectiewerk en dergelijke, kan het hele vegetatieve systeem uit balans raken. Er is dan sprake van 'stress'. Die wordt ook wel systeem-stress genoemd, omdat het geheel van symptomen (het syndroom) niet naar de ene specifieke oorzaak verwijst: slapeloosheid, spoedig zweten, hoofdpijn of hartkloppingen erbij, oververmoeid gevoel. Dat is dus lange-termijn, algemeen discomfort. Ook het lange-termijn, lokale discomfort kan ernstige vormen aannemen (pag. 223 e.v.): blaren door handvatten; tennisarm, peesschede ontstekingen of 'carpale tunnel syndroom' in de middenhand bij langdurig verkeerd gebruik van handwerktuigen; het witte-vinger syndroom door trillende handwerktuigen, RSI (repetitive strain injury) door veel gebruik van computermuis etc. Bij ernstig discomfort kan er dus sprake zijn van letsel, en de hersteltijd kan zeer langdurig zijn.

Het lokale comfort wordt ook wel eens experimenteel vastgesteld voor een bepaalde gewrichtsstand of een bepaalde krachttuioefening. Ergens in het midden tussen de grenzen van een gewrichtsexkursie is er een comfort-gebied, waarbinnen het langer en gemakkelijker volhouden is. Men kan nagaan welke mate van krachttuioefening (N of Nm) iemand nog prettig vindt. Er is al gesproken (in 6.4 'Ontwerpen van kleine verblijfsruimten') over de visueel-manipulatieve comfort-zone vlak voor de borst, die een compromis vormt tussen het zo comfortabel mogelijk manipuleren en het zo comfortabel mogelijk kunnen zien van de eigen handelingen. Men kan eveneens laten demonstreren en registreren wat iemand in een bepaalde situatie van productgebruik de meest comfortabele lichaamshouding vindt. Die voorkeurs houdingen blijken individueel goed reproduceerbaar (Daams 1994). Bij het volhouden van een lichaamshouding is weliswaar een groot deel of zelfs het gehele lichaam betrokken, maar er zijn altijd enkele delen waar discomfort het eerst zal worden gevoeld.

Objectieve vaststelling van discomfort

Er zijn bij de voorgaande voorbeelden soms lichamelijke verschijnselen genoemd die uiterlijk goed vast te stellen zijn: rode huid, blaren, trillende handen, spoedig transpireren en wellicht zelfs de mimiek. Gewoonlijk is er dan al sprake van intens discomfort. Ook bij lagere intensiteiten kan soms objectief worden geobserveerd.

Er begint door experimenteren enig inzicht te komen betreffende welke druk (N/cm²) op verschillende huidplekken nog aanvaardbaar is voor een bepaalde tijdsduur. Fysische metingen van drukverdeling en -niveau en -oppervlak op het zitvlak of in de handpalm kunnen met behulp van deze kennis een indicatie geven van discomfort.

Een andere manier van objectief meten van discomfort is de registratie van de motoriek. De tijd na welke iemand bij krachtoefening overpakt van de ene naar de andere hand is bijvoorbeeld een goede indicatie van discomfort (Daams, 1994). Ook bij zitten kan een frequente verandering van lichaamshouding op discomfort wijzen.

Er is een natuurlijke 'motiliteit' (pag. 157) (beweeglijkheid) van lichaamshouding, om de spier-inzet en krachtdoorleiding af te wisselen. Indien die beweeglijkheid aanmerkelijk hoger is, voelt men zich waarschijnlijk niet lekker. Een uiterst lage motiliteit is daarentegen eveneens verdacht en wijst op een klemhouding die ook spoedig discomfortabel zal zijn.

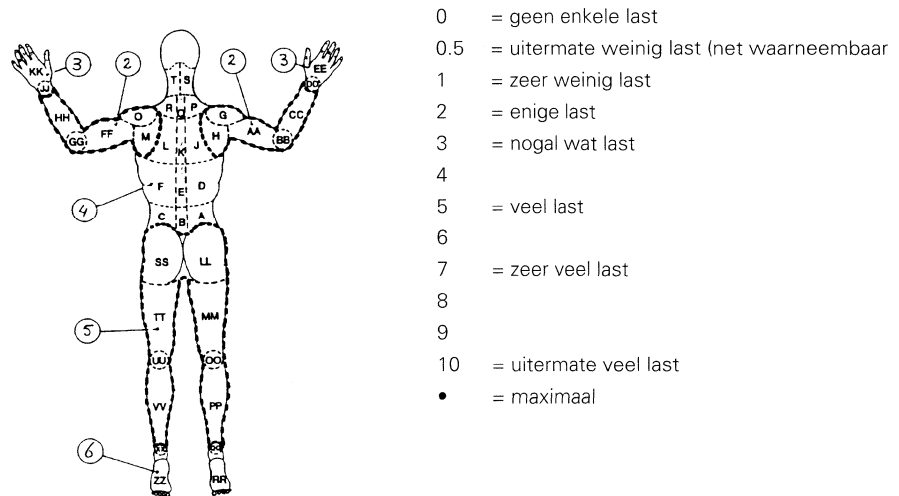
Subjectieve vaststelling van discomfort

De mens is uitgerust met een uitgebreid systeem van sensoren om het eigen lichaam waar te nemen, zoals druk, pijn, spanning, warmte (somesestie, zie hoofdstuk 12 'Zintuigen als vensters naar de buiten- (hier binnen-)wereld'). Daarom is het een goede, of soms zelfs de enige mogelijke, methode, te vragen naar de beleving van discomfort. De meeste somesestie blijft echter onbewust, zolang de aandacht er niet speciaal op wordt gericht. De meting (de vraag) kan daardoor het te meten proces (het gevoel van discomfort) dan ook enigszins verstoren. Bij vragen en antwoorden kan bovendien ruis optreden doordat de proefpersoon de vraag verkeerd begrijpt, of zich flink wil voordoen en dergelijke. Men kan wachten op spontane opmerkingen van de onderzochte productgebruiker of men kan een methode gebruiken waarbij op gezette tijden gerichte vragen worden gesteld. In een volgend voorbeeld wordt dat uitgewerkt.

Lokaal Ervaren Ongemak registratiemethode

Het meten van discomfort wordt vaak via een 'subjectieve methode' gedaan. TNO ontwikkelde de LEO registratiemethode om het lichamenlijk ervaren ongemak van enige tijd volgehouden houdingen en/of statische belastingen te meten (Van der Grinten, 1990). Hierbij wordt de proefpersoon in de te meten houding gezet (eventueel met belasting). Na iedere halve minuut wordt er gevraagd hoe groot het ongemak is, per lichaamsregio of per cluster van gebieden (zie figuur 20.8). De proefpersoon moet het ongemak aangeven op een tienpunts-schaal, variërend van

‘geen enkele last’ tot méér dan ‘uitermate veel last’. Deze lijst is een aangepaste versie van de Category-Ratio-10 schaal (CR-10 Scale van Borg). De resultaten laten zien waar de proefpersoon zich niet lekker voelt en hoe dat discomfort verloopt in de tijd. Bij statische houdingen wordt het discomfort in de loop van de tijd meestal groter. Uit de resultaten kan afgeleid worden waar aanpassingen nodig zijn in de taak, in de gebruikte werktuigen of in producten. Dat curatieve herontwerp zal vooral moeten gebeuren voor de plaatsen waar het discomfort het eerst optreedt en waar het het grootst is.



Figuur 20.8 Lichaamszônes en tienpuntsschaal voor de indicatie van Lokaal Ervaren Ongemak (LEO) (Van der Grinten, 1990).

Zware belasting op zich is geen discomfort

Is zware belasting synoniem met discomfort? Nee, want als een persoon met volle tevredenheid zwaar aan het joggen is, of iemand met genoeg moeilijke rekenopgaven oplost, is er sprake van een hoge belastingsgraad maar niet van discomfort. Het is dus niet geoorloofd alle symptomen van fysieke of mentale hogere belastingsgraad direct te scharen onder het begrip discomfort. Discomfort kan daarom beter als begrip gereserveerd worden voor door de betrokkene als onprettig ervaren lichamelijke bij-verschijnselen, hetzij van fysieke, hetzij van mentale taken. Bij de productergonomie is daar altijd een product bij betrokken.

Vierde kwaliteit

Aan de vierde kwaliteit in de reeks van ergonomische gebruiksfunctionaliteit: veiligheid, wordt het volgende hoofdstuk gewijd.

Begrippen¹

Productfunctionaliteit:

- i1 beoogde en daadwerkelijke functie
- i1 gebruikersintentie als criterium
- k1 nut, doelmatigheid, comfort en veiligheid
- i2 productfunctionaliteiten: psychologische, vormgevings, technische, bedrijfskundige, maatschappelijke, mondiale
- i1 productfunctionaliteit is primaire bestaansreden van product

Nut:

- i1 kosten en baten van productgebruik
- k1 nutquotiënt
- i2 relaties tussen termen in teller en in noemer
- k2 kwalitatieve nutparameters
- t2 analyse van mogelijk nut in relatie tot productinnovatie

Efficiëntie en effectiviteit:

- k1 doelmatigheid en doeltreffendheid
- k2 meerwaarde en moeite
- i1 kostentoerekening vooraf en achteraf
- i1 leerproces als investering
- i1 onderbelasting versus uitdaging
- k3 hygiëne van productgebruik
- i2 uitruilen van inspanning en snelheid
- i1 productvarianten van doelmatigheid
- k2 functie-uitval en efficiëntie-val
- i2 kosten bij gebruiker of bij anderen

Comfort en discomfort:

- k3 hedonisme
- k1 discomfort:
 - k1 op korte of lange termijn
 - k2 lokaal of algemeen:
 - k3 stress-syndroom
 - k3 comfort-zones
 - k3 voorkeurshouding
 - k2 objectief of subjectief:
 - k3 observatie en fysieke meting
 - k3 motiliteit
 - k3 Lokaal Ervaren Ongemak registratiemethode
- k1 beperking van comfortbegrip tot beleving van betrokkene

¹ i = inzicht, k = kennis, t = toepassing; 1,2,3 zijn afnemende graden van belang

Vragen en suggesties

- 20.1. Kies een eenvoudig gebruiksartikel uit en probeer te schatten in welke mate er bij het ontwerpen rekening is gehouden met verschillende soorten van productfunctionaliteit.
- 20.2. Vervolg die exercitie met pogingen om globaal het nutquotiënt van dat product in te vullen. Welke invloed kan de ontwerper er op hebben uitgeoefend?
- 20.3. Tracht van een andersoortig product ook het nutquotiënt in te schatten en vergelijk de waarden van beide quotiënten. Welke parameters geven de grootste onzekerheid?
- 20.4. Welke producten blijken in praktijk productfunctionaliteit niet als primaire bestaansreden te hebben? Is dit verspilling van energie/grondstoffen?
- 20.5. Geef voorbeelden van producten waarvan de beoogde en daadwerkelijke functionaliteit verschillend zijn.
- 20.6. Is gebruikersintentie het enige criterium bij het bepalen of de productfunctionaliteit naar tevredenheid wordt vervuld?
- 20.7. Noem vier belangrijke gebruikskwaliteiten.
- 20.8. Geef voorbeelden van een type functie- vervuller waarvan de varianten duidelijk uiteenlopen in effectiviteit. Welke kosten betreft u in de vergelijking?
- 20.9. Geef zo ook voorbeelden van varianten, die verschillen in efficiëntie. Is de effectiviteit daaraan parallel?
- 20.10. Noem een gebruiksgoed dat te vaak of langdurig de gebruikers onderbelast.
- 20.11. Heeft u verklaringen voor de trend: zoveel mogelijk producten met zo min mogelijk gebruikersmoeite en -aandacht daarvoor.
- 20.12. Discomfort speelt bij fysiek ondersteunende producten een grotere rol dan bij de overige categorieën. Waarom?
- 20.13. Als men het heeft over 'comfortabel studeren', is het begrip comfortabel dan alleen overdrachtelijk gebruikt?
- 20.14. Welk vervoermiddel is gemiddeld efficiënter denkt u, de fiets of de auto? Is dat ook zo als u alle investeringen, inleertijd, gebruiksklaar maken, reparatietijd, onderhoudstijd, file-tijd etc. meerekent? Bedenk bij welke afstand het omslagpunt zou kunnen liggen.
- 20.15. Bestudeer in hoeverre u de systeemgrenzen zou trekken met betrekking tot de berekening van de kosten van wegverpluiers.
- 20.16. Waar is een langdurig leerproces als investering gerechtvaardigd?
- 20.17. Welke producten spelen al in op het variëren van de doelmatigheid om de capaciteit van verschillende gebruiksgroepen optimaal te benutten?

21

Veilig productgebruik

Samenvatting

De vierde ergonomische gebruikskwaliteit: veiligheid, verdient een aparte behandeling. De interacties tussen een product en zijn gebruikers geven meestal een grote spreiding te zien. Afwijkingen van de door de ontwerper verwachte gebruikswijze of gebruikssituatie kunnen soms zodanig zijn, dat de kans op lichamelijk letsel sterk toeneemt. Gebruiksgegevens worden relatief vaak genoemd in de ongevalsstatistieken. De mogelijke factoren worden nagelopen uit elk van de sectoren van het mens-product-interactie model: mens, product, interactie en omgeving. Factoren zijn te onderscheiden in meer en minder relevant voor ongevallen, maar elk heeft slechts een kleine kans om als oorzaak van een ongeval op te treden. Een ongeval wordt bijna altijd veroorzaakt door een combinatie van factoren. Met een ongevalsanalyse is achteraf zulk een reeks of netwerk van gebeurtenissen soms te reconstrueren. Een preventieve aanpak richt zich eerst op de bron van gevaar, daarna op de interactie tussen product en gebruiker en in de derde plaats pas op een te dragen beschermingsmiddel. Enkele overwegingen en werkwijzen voor productveilig ontwerpen worden tenslotte kort aangegeven.

21.1 Productveiligheid en ergonomie

Ergonomie streeft naar het zodanig ontworpen worden van producten of systemen dat voor de verwachte gebruikersgroep de omgang ermee nuttig, efficiënt, comfortabel en veilig zal zijn. Veiligheid is hierbij een zeer belangrijk aspect, omdat een onveilig product ernstige gevolgen kan hebben, veel ernstiger dan een oncomfortabel of een inefficiënt product.

‘Veilig’ wil in dit verband niet alleen zeggen dat er geen letsel aan personen kan worden toegebracht, maar ook dat het product en de omgeving niet beschadigd kunnen worden.

Bij het beschouwen van veiligheid moeten zowel mens, product, interactie en omgeving worden meegenomen. Een product moet overigens niet alleen veilig zijn voor de bestemde doelgroep en de verwachte mogelijke omgevingen en gebruikswijzen, maar liefst voor alle mogelijke en zelfs de minder waarschijnlijke doelgroepen, omgevingen en gebruikswijzen. De ergonomie richt zich niet speciaal op onwaarschijnlijke situaties, maar toch wordt geprobeerd in alle gevallen letsel of beschadiging te voorkomen. Dit is niet altijd mogelijk, maar de ontwerper moet zich tenminste realiseren welke onveilige situaties zich kunnen voordoen en wat, hoe en wanneer het fout kan gaan. Hoe ernstiger de mogelijke gevolgen, des te meer moet men aandacht besteden aan veiligheid, en des te meer moet daarbij met

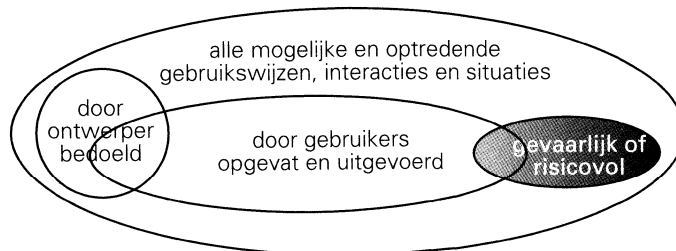
afwijkende en weinig voorkomende situaties rekening worden gehouden. Vervolgens kunnen er een bewuste afweging en een gefundeerde keuze worden gemaakt welke mogelijk gevaarlijke situaties met het product geaccepteerd worden. Hierbij kan of moet soms gebruik gemaakt worden van wettelijke bepalingen op het gebied van producten. Een ontwerper moet zich in ieder geval bewust zijn van de gevolgen van zijn ontwerp, en moet deze kunnen verantwoorden jegens zijn opdrachtgever, de gebruikers en de wet. Dit alles wordt in het volgende nader toegelicht en uitgewerkt.

21.2 Variatie in mens-product interactie

Het 'productbeeld'

Bij een gegeven product(idee) worden een bepaalde gebruikersgroep, situatie en interactie-patroon verwacht, maar binnen zekere grenzen. Er moet rekening gehouden worden met de variatie binnen de gebruikersgroep, en met de veranderlijkheid in de productwerking en gebruiksomgeving. Het product krijgt een bedoeling mee en de ontwerper vormt zich daarbij een beeld over hoe het zal functioneren, in welke omgeving en welke gebruikswijzen daarbij betrokken zullen zijn (zie 18.3, 'Het product in het brein'). De verzameling van door de ontwerper bedoelde gebruikssituaties wordt links aangegeven in figuur 21.1.

Daarnaast hebben ook de gebruikers beelden van de manier waarop het product bediend dient te worden, van de medegebruikers, van de mogelijke omgeving en de interactie. Hun beelden kunnen afwijken van het productbeeld dat de ontwerper heeft. Iedereen heeft een eigen en vaak andere opvatting over wat 'gewoon' is (dat is namelijk wat hij of zij zelf zou doen). Ontwerpers moeten zich terdege realiseren dat datgene wat zij als een 'normale gebruikshandeling' zien, door sommige gebruikers vreemd wordt gevonden. De productbeelden van gebruikers kunnen zelfs leiden tot gevaarlijke situaties. Ook de verzameling van door de gebruikers gedachte en gerealiseerde gebruikssituaties, -wijzen wordt aangegeven in figuur 21.1.



Figuur 21.1 Venn-diagram van alle mogelijke en optredende gebruikswijzen, interacties en situaties.

Het daadwerkelijk gebruik van het product en ook de gebruikers en de omgevingen, zullen echter gewoonlijk nog meer variëren dan het beeld dat ontwerpers en gebruikers daarvan hebben. Haast, vermoeidheid, onoplettendheid of paniek



Figuur 21.2 Er gebeurt (nog steeds) van alles met een bierkrat.

te zijn. De oorzaken van een ongeluk zijn lang niet altijd dramatisch, ook al zijn de gevolgen dat soms wel. Het is uit dit Venn-diagram van figuur 21.1 wèl duidelijk dat de kans op een gevaarlijke situatie, en dus de kans op een ongeval, groter is als het product niet gebruikt wordt zoals de ontwerper bedoeld heeft. Uiteraard geeft deze figuur een algemeen beeld, dat nogal zal verschillen afhankelijk van type product, ontwerper, doelgroep enzovoort.

De ontwerper dient te anticiperen op de gebruikswijzen die het meest door de gebruikers toegepast zullen worden. Hij/zij moet proberen het eigen productbeeld zoveel mogelijk overeen te laten stemmen met het beeld dat de gebruikers er van zullen hebben en hij moet daar in het ontwerp rekening mee houden. Hierbij moeten gevaarlijke situaties zo min mogelijk kunnen vóórkomen. Eigenlijk zou geen enkele gebruikswijze mogen leiden tot letsel, maar dit is niet altijd haalbaar. Een keukenmes is nu eenmaal door zijn functie een inherent gevaarlijk product. Bovendien kunnen gebruikers ook zulke vreemde dingen doen dat je daar als ontwerper niet verantwoordelijk voor kunt zijn. De ontwerper moet niettemin proberen zoveel mogelijk van de productbeelden van gebruikers en over het mogelijk en werkelijk gebruik, te weten zien te komen en dus het eigen productbeeld zo breed mogelijk te maken.

kunnen bijvoorbeeld de oorzaak zijn van een menselijke actie die niet tot het productbeeld van de gebruikers hoort. Het gebruik kan ook bijvoorbeeld, als er geen geschikte omgeving beschikbaar is, niet gaan zoals de gebruikers zich in gedachten hadden. Hoe rijdt het boodschappenkarretje op het mulle pad; hoe zet je de elektrische boor uit in het donker? Er kan dus van alles gebeuren met een product en dat blijft niet beperkt tot het mogelijk voorspelbare (figuur 21.2).

Binnen de verzameling van alle mogelijke en voorgevallen soorten van productgebruik bevindt zich ook een verzameling 'gevaarlijke situaties'. Per definitie overlapt het productbeeld van de ontwerper niet met de verzameling gevaarlijke situaties, omdat die nooit door de ontwerper bedoeld kunnen zijn. Dit wil overigens niet zeggen dat er dan geen ongelukken kunnen gebeuren, want de kans op ongelukken is nooit nul.

Ongelukken kunnen ook ontstaan bij normale handelingen door gewone mensen in dagelijkse situaties, kortom omstandigheden waaronder een product zéker geacht wordt veilig

Letsel als kosten

Over het algemeen houdt de wetenschap, en dus ook de productergonomie, zich bezig met invarianten. Dat zijn voorspelbare en telkens terugkerende gebeurtenissen. In de productveiligheid hebben we te maken met interacties die letsel of beschadiging tot gevolg hebben. Deze gebeurtenissen zijn zeldzamer en minder voorspelbaar. Toch is de ergonomie in deze min of meer unieke interacties geïnteresseerd, omdat ze voorzien en voorkómen moeten worden. Het gaat dan in de eerste, maar niet enige, plaats om het voorkómen van schade aan de gebruiker. Productveilig ontwerpen beoogt echter ook beschadiging van het product, de omgeving en de omstanders te voorkómen! In hoofdstuk 10 werd bij de kosten van productgebruik gesproken van ‘excessieve prikkels’, als een derde en zeer ongewenste kostensoort. Deze excessieve prikkels bewerkstelligen structurele, ongewenste en niet- of moeilijk herstelbare, veranderingen in het menselijk functioneren. De gevolgen kunnen variëren van verwonding, breuk, ziekte en handicap tot zelfs de dood. In de behandeling van het nutquotiënt in het vorige hoofdstuk (20.3, ‘Nut van gebruiksgoederen’) en bij de doelmatigheid van productgebruik (20.4, ‘Efficiëntie en effectiviteit’) werd eveneens van (te) hoge kosten gesproken, die soms in één of meer van de gebruiksfasen of achteraf moeten worden opgebracht. We concentreren ons in de volgende paragraaf op de lichamelijke schade die door productgebruik kan worden veroorzaakt.

Ongevalsbetrokkenheid van gebruiksgoederen

Uit de registratie van ongevallen komt een lange en bonte rij van voorvallen en oorzaken naar voren: vallen, botsen, snijden, beklemmen, hitte en vuur, elektriciteit, vergif, verstikking, (bijna) verdrinking, explosie e.d. Het jaarlijkse (1994) aantal dodelijke ongevallen in Nederland in de privé-sfeer, verkeer en bedrijfs sfeer wordt geschat op ca. 3.300. Het aantal ongevallen met ernstig letsel waarvoor ziekenhuis-opname nodig was, wordt geschat op ca. 75.000. Ieder jaar zijn er bovendien naar schatting ongeveer bijna twee miljoen ongevallen met licht letsel, die poliklinisch of door de huisarts behandeld worden (SCV, 1995). Zie ook figuur 21.12. Deze cijfers hebben betrekking op ongevallen. In de meerderheid van de gevallen was daar een of ander technisch product (weg, vloer, trap, werktuig etcetera) bij betrokken, zij het niet steeds als primaire oorzaak. Dat is niet verwonderlijk, aangezien we leven in een door techniek gevulde wereld.

Indien het alleen om producten gaat, wijzen schattingen erop dat de producten die vaak op de een of andere wijze bij een ongeval betrokken zijn, de producten zijn die het onderwerp vormen van het industrieel ontwerpen van duurzame gebruiksgoederen. Dit zijn alledaagse gebruiksgoederen die onder ieders handbereik zijn. Dat hier relatief veel ongelukken mee gebeuren, valt ook wel te verwachten, omdat er met deze consumenten- en professionele hulpmiddelen intensief en frequent wordt omgegaan: men wordt er relatief vaak aan blootgesteld.



Figuur 21.3 Riskant productgebruik (Stichting Consument en Veiligheid, 1989).

Ernst van gevolgen

Onder risico wordt verstaan: de grootte van de kans maal de ernst van het gevolg, kortweg 'risico = kans \times gevolg'. Bij producten behelst het risico vaak zowel een grote kans op kleine verwondingen als een kleine kans op ernstiger effecten (zie ook de statistieken in figuur 21.12). Voor het individu kunnen die kosten aanzienlijk zijn en tot uitdrukking komen in bijvoorbeeld pijn, extreem discomfort en tijdelijk of permanent functieverlies. De kosten betreffen echter ook de niet gerealiseerde productie, de vermindering van waardevolle sociale contacten en dergelijke. Toename in afhankelijkheid en financiële gevolgen kunnen daaraan vaak worden toegevoegd. De maatschappelijke kosten zijn evenmin gering, als gedacht wordt aan de bezetting van medische voorzieningen. Economische schattingen omtrent ongevalskosten belopen landelijk tientallen miljarden euro's per jaar.

Regelgeving en verantwoordelijkheid van ontwerpers

De betrokkenheid van producten bij ongelukken dient ontwerpers een zorg te zijn. Dat geldt vanuit de professionele verantwoordelijkheid en persoonlijke ethiek, maar wordt ook opgelegd door regelgeving. Er zijn verschillende wetten, normen, voorschriften en keurende instanties die productveiligheid beogen. In de consumentensector zijn er de warenwet en uitvoeringsbesluiten en de wet op productaansprakelijkheid. Op de werkvloer heeft men te maken met de ARBO (Arbidsomstandigheden)-wetten (Gies et al, 1997). In het verkeer gelden de verkeersreglementen. Voor elektrische apparaten is er het KEMA-keur en voor apparaten met water het KIWA-keur.

Indien producten als onveilig bekend staan, maken ze ook weinig kans op aanvaarding door de markt, of op commercieel succes. Het zou ideaal zijn als er geen onveilige producten op de markt komen, zodat gebruikers daar blindelings op kunnen vertrouwen. Maar zelfs al zou dat ideaal gerealiseerd zijn, dan zullen de ongevallen niet verdwijnen en slechts voor een deel verminderen. Het product is over het algemeen niet de enige oorzaak of de enige factor die een rol speelt bij het

ontstaan van een ongeluk. Daar zijn immers zowel de vaste eigenschappen van mens en product, als de wisselende interactie en omgeving bij betrokken. Onbelangrijk is het product echter zeker niet. Er wordt geschat dat in bijna alle gevallen een product een of andere rol speelt in de toedracht van het ongeval (SCV, 1993). Ontwerpers dragen de verantwoordelijkheid voor het ontwikkelen van veilige producten en daardoor mede de verantwoordelijkheid voor het welzijn van de gebruikers en andere betrokken personen. Het risico van productgebruik dient zo veel mogelijk beperkt te worden, volgens de beste inzichten uit de veiligheidskunde en de ergonomie. Dit houdt in dat zowel de kans op een ongeval als de gevolgen ervan zo klein mogelijk moeten worden gehouden. Dat betekent voor het ontwerpen, herontwerpen en aanpassen van gebruiksgoederen dat de ontwerper in zijn ontwerp zo goed mogelijk moet anticiperen op riskante gebruikswijzen en gebruikssituaties. Voor een deel kan dat gebeuren met een veiliger ontwerp. Voor een ander deel is dat een zaak van waarschuwingen op of bij het product, van een gebruiksaanwijzing of van voorlichting. Een bijzondere categorie vormen de ontwerpen van persoonlijke beschermingsmiddelen (valhelm en dergelijke) en beschermingsonderdelen (noodstop, afscherming en dergelijke), waarop straks zal worden teruggekomen. Eerst is voor het verkrijgen van inzicht wat meer kijk op de mens-, product-, interactie- en omgevings-factoren geboden.

21.3 Factoren bij product(on)veiligheid

Mens-factoren

Gebruikers verschillen onderling, zo weten we, in menig kenmerk dat voor productgebruik van belang is. Er zijn vele kenmerken te onderscheiden op onder andere sensorisch, fysiek, psychisch, motorisch en sociaal gebied. Ervaring, technisch inzicht en gewoonten zullen per persoon verschillen. Daarnaast speelt ook het uiteindelijke gedrag van de gebruiker een rol. Een aantal van de voornoemde kenmerken zal bovendien per individu sterk wisselen in de tijd, afhankelijk van bijvoorbeeld het activatie-niveau, de motivatie en de belangstelling van het moment. Voor bijna alle kenmerken geldt dat zij slechts in beperkte mate bijdragen aan het ontstaan van ongelukken, en dat meestal van te voren niet aan te geven is welke specifieke kenmerken van de gebruikers tot een riskante situatie kunnen bijdragen. Dit kan echter verschillen per product, en zelfs per ongeluk. Steenbekkers (1993) onderzocht kinderen, die wat karaktereigenschappen en gedragskenmerken betreft beoordeeld werden op de dimensie: risico-mijdend versus risico-nemend (zie figuur 21.4). Dat betekent niet dat een persoon altijd en jegens alle producten op dezelfde wijze handelt (gebruiksstijl), maar wel dat het iemand in het algemeen kan typeren. Het ziet er ook naar uit dat er enige blijvendheid is in die kenmerken en dat die enigermate tot het karakter van een persoon behoren. De kinderen die over het algemeen meer ongelukjes kregen (volgens ouders en leerkrachten), bleken meer risico-nemende gedragskenmerken toegekend te krijgen dan degenen die weinig ongelukjes kregen.

Het verband tussen karakter of gedragskenmerken enerzijds en de kans op ongevallen anderzijds (zie brokkenmaker theorie op de volgende bladzijde) is echter nog lang niet bewezen, aangezien de in de literatuur gevonden onderzoeken van uitkomst verschillen en de meningen verdeeld zijn.

Risico-nemend	Risico-mijdend
impulsief	afwachtend
gauw afgeleid	geconcentreerd
onvoorzichtig	voorzichtig
onrustig	rustig
neemt veel risico	neemt geen risico
struikelt vaak	struikelt nooit
onstuimig	beheerst
meestal onvoorbereid	kijkt en denkt vooruit
doenerig en druk	stil en teruggetrokken
zeer ondernemend	neemt weinig initiatief
snel uit balans	evenwichtig karakter

Figuur 21.4 Gedragskenmerken met als uitersten risico-mijdend en risico-nemend (Steenbekkers, 1993)

Perceptie van risico

De gebruiker wordt in zijn gedrag beïnvloed door zijn perceptie van risico. Een ongeluk met een product is meestal onvoorzien door de gebruiker ervan. Niemand krijgt tenslotte voor zijn plezier een ongeluk. Het kan ook zijn dat de kans op een ongeluk weliswaar onderkend, maar onderschat wordt, of dat het risico dat men loopt gewoon geaccepteerd wordt. In de praktijk lijkt het er op dat ontwerpers er van uit gaan dat de perceptie van risico door gebruikers bijzonder goed is. De gebruikers zullen makkelijk inzien dat bepaalde handelingen gevaar opleveren en deze dan ook achterwege laten. Wagenaar (1992) veronderstelt echter dat mensen zich over het algemeen in het geheel níét bezig houden met de risico's die zij lopen in het dagelijks leven en dat daarom ongelukken niet geweten kunnen worden aan (bewust) onderschatte of geaccepteerde risico's. Als gebruikers in het geheel niet nadenken over de risico's, betekent dat dat ook de perceptie van dat risico afwezig is en er zeker niet zo'n accurate waarneming of verwachting is als ontwerpers vaak denken.

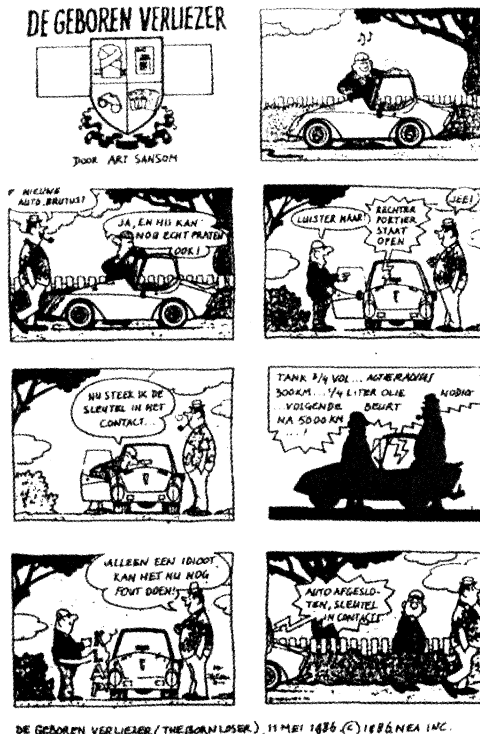
Ondanks de veronderstelling van Wagenaar wordt er ook wel gesteld dat de mens zijn gedrag aanpast aan het geschatte risico. Een bestuurder zal wellicht eerder besluiten tot een riskante inhaalmanoeuvre met een auto die een veilige indruk maakt (stevige deuren en een degelijke kreukelzone) dan met een auto die licht en gammel is. Met een veilige auto en daardoor opgewekt onveilig gedrag, wordt het uiteindelijke risico dat men loopt zo niet kleiner.

Brokkenmaker-theorie

Er zijn theorieën over 'accident-proneness', die inhouden dat er brokkenmaker-

karakters zijn, personen die altijd in zeven sloten tegelijk lopen. Onderzoek bevestigt dat niet of nauwelijks. Het is moeilijk bij personen te registreren hoeveel ongevallen en van welke ernst hen over langere tijd is overkomen en nog moeilijker is het dan te analyseren welk aandeel zij zelf in het veroorzaken hebben gehad. Het is immers waarschijnlijk dat personen ook aanmerkelijk verschillen in de hoeveelheid risico die bij hun dagelijks leven past (exposure). Een circus-acrobaat, auto-coureur, verhuizer of houtbewerker leiden waarschijnlijk een onveiligere leven dan een telefoniste, boekhouder, professor of bibliothecaris. Of zou het zijn dat 'accident-prone' personen riskante situaties en beroepen uitzoeken? De kleine kans op een ongeval, dat bovendien door vele uiteenlopende factoren lijkt te worden veroorzaakt, leidt ertoe dat de risico-mijdenden en risico-nemenden niet eens zoveel hoeven te verschillen: waaghalzen komen er meestal wel goed vanaf en de uiterst zorgvuldigen kunnen soms ook pech hebben. Van belang is niet alleen het belanden in een riskante situatie. Het vermogen een riskante situatie snel te ontdekken en te doorzien en meteen weten te compenseren of te herstellen (remedial response), is vaak nog meer van belang dan hoe vaak men in zo'n situatie terecht komt. Risico-nemers of slaperigen kunnen soms uitstekend compenseren en zorgvuldige opletters af en toe niet.

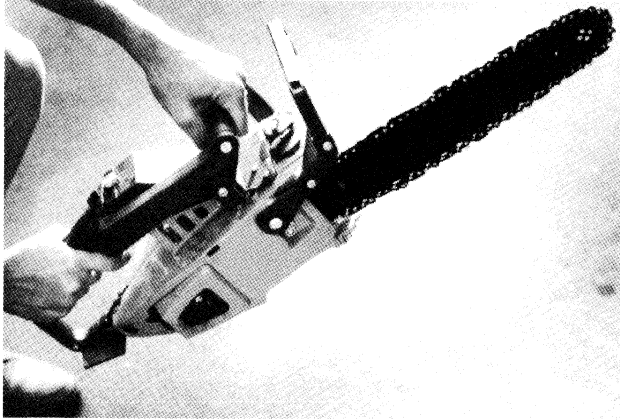
Er zijn dus wel degelijk mens-factoren betrokken bij de oorzaken van ongevallen met producten, maar ze wisselen door de tijd en zijn zeer divers.



Figuur 21.5 Persoonlijkheid en productgebruik.

Product-factoren

Met een rubberen toneelmes valt weinig schade te berokkenen, maar blijkens de ongevalsstatistieken met een motorzaag wel (figuur 21.6).



Figuur 21.6 Kettingzaag.

Bij de product-factoren kan men denken aan een onderscheid in veiligere en onveiligere producten (zie figuur 21.7).

veilig	onveilig
←	→
handzaam	moeilijk te hanteren
beschermd	onbeschermd
overzichtelijk	complex
gebruikstolerant	star
bedrijfszeker	onbetrouwbaar
voorspelbaar	grillig

Figuur 21.7 Dimensie van productveiligheid op basis van productkenmerken.

Aan de veilige zijde geldt dan met enig recht: ze zijn handzaam, beschermd (bijvoorbeeld 'fail-safe', dat wil zeggen: komt bij falen automatisch in veiliger toestand), overzichtelijk, gebruikstolerant (verdraagt uiteenlopende behandelingen zonder dat er brokken van komen), bedrijfszeker (minieme kans op fout of breuk) en voorspelbaar. Aan de andere zijde bevinden zich producten die ongeveer beoordeeld kunnen worden als: moeilijk te hanteren, onbeschermd, complex, star, onbetrouwbaar en grillig. Er zullen overigens weinig of geen producten in de handel zijn, die alle laatstgenoemde eigenschappen in overtuigende mate bezitten; die zijn verboden en worden niet aangeschaft. Bij geldigheid van één of enkele van die negatieve eigenschappen zal het risico echter wel toenemen. Er zijn ook producten die nu eenmaal bedoeld zijn om 'letsel' aan ander materiaal toe te brengen en die daardoor inherent gevaarlijk zijn. Dat zijn bijvoorbeeld producten die bedoeld zijn om te snijden, breken, zagen, slijpen, boren, pletten en branden. Bij veel van dergelijke producten is het niet goed mogelijk de gevaarlijke zijde

absoluut af te schermen; bijvoorbeeld omdat men er zicht op moet houden, of omdat een gevaarlijke onderdeel zijn nuttige functie anders niet kan uitoefenen. De gebruiker van een inherent gevaarlijk product zal zich gewoonlijk gewaarschuwd voelen. Er zijn daarentegen ook zeer onschuldige producten, waarbij de gebruiker weinig op z'n hoede is. Zo blijkt uit de ongevalsstatistieken bijvoorbeeld dat de combinatie van een, al dan niet wankel, keukentrapje en een oudere huisvrouw zeer riskant is.

Fail-safe

Indien het product faalt en daardoor in een riskante toestand geraakt, is het – net zoals bij de mens-factoren – van belang dat er direct bescherming of correctie optreedt, opdat de situatie niet escaleert. Zodra de liftkabel breekt wordt de lift automatisch vastgehouden; wanneer het vat overkookt stopt het proces direct en wordt de koeling gestart; als een hand tijdens de persslag tussen stempel en plaat komt, stopt een signaal van de infra-rood-detector de slag; bij een plotselinge schok vult de airbag in de auto zich met gas.

Niet alles is te voorzien en tegen niet alles is een kruid gewassen. Ouderdom van materialen en verbindingen kan plotselinge breuk veroorzaken of elektrische onveiligheid. Bij een wegschietende beitel, het breken van een zaag of het doorzakken van een laddersport zal het van diverse andere factoren afhangen of het optredende risico een ongeval tot gevolg zal hebben.

De conclusie bij deze groep van factoren is dus min of meer gelijk aan die bij de mens-factoren. Er zijn wel degelijk product-factoren die kunnen bijdragen tot het ontstaan van een ongeval, maar deze zijn zeer divers. De product-factoren zijn echter de enige waar de ontwerper direct zelf invloed op kan uitoefenen.

Interactie-factoren

In het mens-product-interactie model gaat het bij interactie om de acties en reacties van mensen en producten op elkaar tijdens gebruik van het product. Dat gebruik heeft een aantal vrijheidsgraden en is dus niet volledig voorspelbaar uit de eigenschappen van mensen en producten. Interacties kunnen door vele factoren beïnvloed worden: niet, of niet op tijd of verkeerd waarnemen; verkeerd interpreteren; onjuist gedragsprogramma uit het geheugen halen of niet tijdig de juiste beslissing nemen; te laat (re)ageren; wisselen van een handelingsvolgorde; verkeerd activeren van controls; onjuiste beweging of krachtdosering en dergelijke. Deze factoren kunnen soms enigermate voor een bepaald product en gebruiksmoment worden gespecificeerd. Of de gebruiker daarna corrigeert, of dat het product dat doet, vormt de volgende stap in de interactie-spiraal. Er kunnen soms nog diverse stappen volgen en heel soms mondt dat uit tot letsel aan mens of product. Drie speciale vormen van interactie verdienen hierbij aandacht: onverwachte confrontatie, oneigenlijk gebruik en meervoudig gebruik.

1. **onverwacht gebruik**
2. **oneigenlijk gebruik**
3. **meervoudig gebruik**

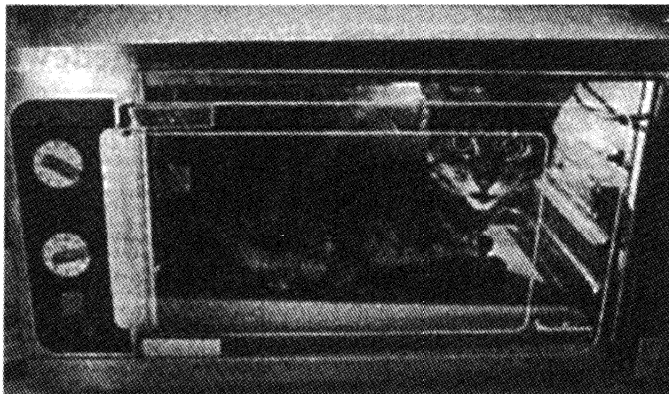
Figuur 21.8 Speciale vormen van interactie.

Onverwachte confrontatie

Onverwachte, al dan niet door de gebruiker gewenste, confrontatie met een product, kan riskant zijn. Enkele voorbeelden: als men tijdens het blootsvoets wieden van een tuin met een voet op de tanden van een hark stapt; als men tijdens een routinelooptje na het omgaan van een hoek tegen een bak botst die daar nooit eerder stond. Of als tijdens groente snijden op een aanrecht acuut iets in de oven moet worden gedaan. Bij solderen wordt in de ooghoek plots een schuivende stapel planken waargenomen, enzovoorts. Er is in zulke gevallen geen of te weinig tijd voor omschakelen of voorbereiden, de eerste actie kan niet tijdig worden gestopt of de nieuwe actie niet meer adequaat gestuurd. Toch kan het ook hier weer goed aflopen.

Oneigenlijk gebruik

Producten hebben een primaire functie, maar worden soms toch voor een ander doel (figuur 21.9) gebruikt. Dat andere gebruik kan soms riskant zijn, omdat de producteigenschappen meestal weinig geëigend zijn voor het nieuwe doel. Het kan ook zijn dat bij deze kleine ‘productinnovatie’ geen passend gebruiksprogram aanwezig is, dat de improvisatie verkeerd is of dat het toch inzetten van het program voor de primaire functie riskant is. Als voorbeelden: op een iele stoel gaan staan om bij een hoge lamp te kunnen. Slechts even hameren met de elektrische, aangesloten heggeschaar. Bij haast, niet de vertrouwde doseerder halen, maar de bijtende vloeistof direct uit de grote container gieten. Bij sommige van die situaties vraagt men om ellende, maar de vraag wordt gelukkig niet altijd gehonoreerd.



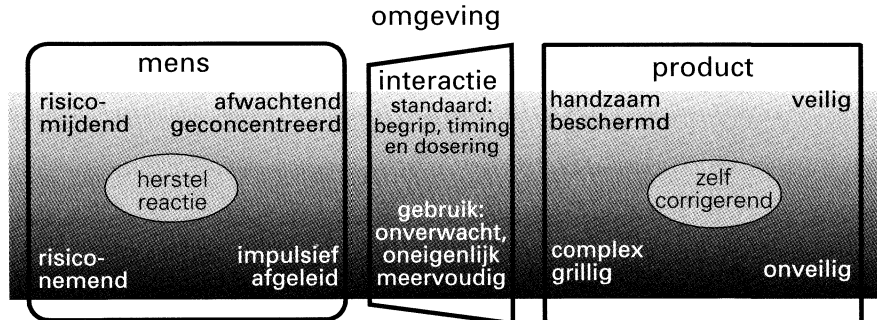
Figuur 21.9 Oneigenlijk gebruik.

Meervoudig gebruik

Mensen kunnen vele dingen tegelijkertijd doen, maar niet elke combinatie is zonder risico. Het omschakelen op, of juist verdelen van aandacht over, verschillend productgebruik kan wel eens tekortschieten. Bijvoorbeeld met een priem in een blok hout prikken en het blok in een wankele positie houden met de andere hand door middel van een tang. Onder het bestijgen van een ladder alvast een boor in de boormachine verwisselen. Of verder uiteenliggende doelen: bellen met de autotelefoon terwijl men een inhaalmanoeuvre uitvoert; een appel schillen onder het kijken naar een boeiend TV-programma; een vruchtenpers bedienen en tegelijkertijd een kookboek doorbladeren. Men komt soms handen, maar vaker nog brein, tekort bij dubbeltaken of neventaken.

Plaats van de factoren in het model

We vatten alvast enkele van de factoren samen door ze in het mens-product-interactie model te plaatsen. Hierbij moet worden opgemerkt dat de waarde van iedere factor moeilijk te schatten is voor een bepaald product en dat de bijdrage van elke factor (aan de voorspelling van de kans op een ongeluk) gering is. Het is derhalve niet de bedoeling om er veiligheid van producten mee te berekenen. Desalniettemin is het goed om de factoren te zien in het perspectief van het model dat als leidraad wordt gebruikt.



Figuur 21.10 De veiligheidsfactoren in het Mens-Product Interactie-model.

Omgevingsfactoren

Zowel de fysieke omgeving als de sociale omgeving kunnen bij het ontstaan van ongevallen bij productgebruik een belangrijke schakel of oorzaak vormen. Om evidente voorbeelden te noemen van fysieke omgeving: bij lawaai wordt het waarschuwingsalarm niet gehoord; bij lage verlichting ontwaart men niet dat de elektrische spanning nog ingeschakeld staat; bij felle koude verliest men de greep op het handvat; bij extreme schokken schiet het mes uit e.d. En voorbeelden van sociale omgeving: bij het schoonmaken van een snijmachine roept iemand anders om de aandacht; in het spitsverkeer beginnen de kinderen op de achterbank te vechten; onder het zagen schiet de dreiging van de baas te binnen.

Er zijn ook vele situaties waar de grens tussen omgeving of product(en) minder

scherp is. Zwaar torsend, struikelt men over een achtergelaten tang of bananenschil; een hendel is glad van smeerolie en kan niet tijdig worden overgehaald e.d. Het patroon kan dus neerkomen op het onverwachts en plots storen van een routine, maar ook kan het zijn dat de omgevingscondities voor het productgebruik niet optimaal zijn.

Zijn er hoofdschuldigen?

Elk van de hiervoor behandelde vier groepen van factoren kan in principe een hoofdschuldige leveren voor het ontstaan van een ongeval. Grote kanshebbers kunnen niet worden aangewezen, omdat elk van die vier groepen vele verschillende factoren inhoudt, die ook nog wisselen voor verschillende personen, producten, interacties en omgevingen, die evenmin alle constant zijn. De kansen dat er één hoofdoorzaak kan worden aangewezen, ook in één bepaald geval, wordt nog kleiner als men zich realiseert dat, zelfs bij eenvoudige gevallen, in de werkelijkheid er meestal een samenloop van omstandigheden is. Er is met andere woorden een gezamenlijke beïnvloeding door diverse factoren, zowel uit dezelfde groep als uit verschillende groepen. Die samenloop is er verder slechts zelden op één moment, maar bestaat gewoonlijk uit een reeks van gebeurtenissen die elkaar beïnvloeden.

21.4 Multi-causaliteit, ketens en netwerken van voorvallen

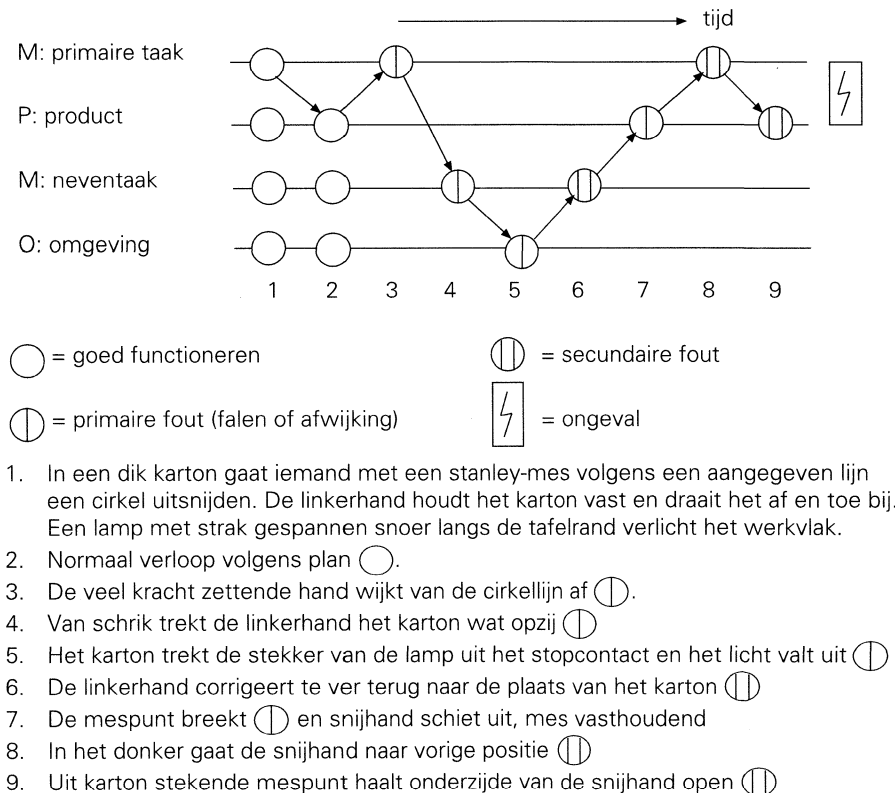
Reconstructie van een reeks van gebeurtenissen

Het analyseren van een ongeval brengt al gauw aan het licht hoe aan de situatie van het ongeval verschillende andere situaties voorafgingen waarin een wisselend geheel van grotere en kleinere factoren de toon zet. Er zijn soms verschillende oorzaken tegelijk of in opeenvolging. Dat heet multi-causaliteit. Zie bijvoorbeeld de beschrijving in figuur 21.11. Dan bedenkt men zich pas welk een bont verloop gewone gebeurtenissen plegen te hebben bij nadere inspectie, ook als er geen ongeval of ‘bijna-ongeval’ optreedt. Dat maakt eveneens duidelijk dat ongevalsanalyse zeer moeilijk is. Doordat de reconstructie achteraf plaatsvindt, loopt men het risico het bonte verloop niet te kunnen achterhalen, factoren over het hoofd te zien, of ‘false positives’ aan te wijzen. Daar kunnen verschillende oorzaken voor zijn, bijvoorbeeld onvolledige of onjuiste herinnering van betrokkenen (het geheugen heeft nu eenmaal niet de accuratesse van een videotape, of soms geeft men niet graag fouten toe), of onvolledige of onjuiste inspectie van product en situatie. Ofschoon de arts, de ongevallenstatistiek of de rechter graag één schuldige vindt, kan dat begrip schuldige bij een veelheid van invloeden zijn zin verliezen. Een indeling van ongevallen in: productgebonden, mensgebonden, situatiegebonden, kan dus weinig zuiver zijn. In werkelijkheid is een indeling in ‘oorzaak velerlei’ en ‘oorzaak onbekend’ weliswaar minder bevredigend, maar vaker juist. Dat neemt niet weg dat een product of productonderdeel waaraan iemand zich verwond heeft, hoe dat dan ook is veroorzaakt, een nadere ergonomische inspectie

altijd waard is. Ook het onschuldige mes verdient aandacht van de ontwerper.

Ongevalsanalyse

Bij de ongevalsanalyse worden verschillende methoden gebruikt om de verknoping van oorzaken, zoals die zich in de tijd ontwikkelt, in kaart te brengen. Uit de methoden die bij technische bedrijfszekerheidsanalyse worden gebruikt, komen 'faalbomen' voort. De verschillende mechanismen en onderdelen van een werktuig worden als een systeem gezien. Men analyseert waar falen van componenten kan optreden; vervolgens berekent men de kansen van afzonderlijk of gezamenlijk optreden en de kans op het doorgeleiden van falen. Het is eenvoudiger en soms nuttig, als een eerste benadering een stroomschema te maken van een gebeurtenissenreeks en van de voornaamste actoren: product, taken en omgeving. Een voorbeeld wordt gegeven in figuur 21.11.



Figuur 21.11 Een voorbeeld van een gebeurtenissenreeks en ongeval.

Het voorbeeld beschrijft een kleine keten van oorzaken die gezamenlijk tot een ongeval voeren. Hoe was dit te voorkomen geweest? Een sterker mes, of de verlichting op een andere plaats, of minder kracht zetten met de handen, of twee ervan, of alle drie? Bij veranderen van alle drie zou het risico het kleinst zijn geweest. Een gebruiksaanwijzing zou in dit geval waarschijnlijk niets geholpen

hebben. De invloed van de ontwerper blijft beperkt tot het maken van een steviger mes of een klem op het werkstuk.

21.5 Ongevalsstatistiek

Om het niet alleen bij voorbeelden te laten en de ernst van veiligheid nog eens te onderstrepen, volgen enkele statistische Nederlandse gegevens. Ongevallen worden in vele landen systematisch en zo volledig mogelijk geregistreerd, vanwege het vele menselijke leed en de hoge kosten die er mee gemoeid zijn. Her en der worden eveneens, al of niet steekproefsgewijs, analyses verricht van de ongevalsituaties en de aard van het letsel. Soms wordt dan ook bepaald welke typen van producten daarbij zijn betrokken. Voor de landelijke statistieken vormen medische registratie van huisartsen en ziekenhuizen de bron van gegevens. Kleinere ongevallen, waarvan men het letsel zelf verzorgt of waarvan men zonder meer de genezing afwacht, komen niet bij instanties terecht en worden derhalve niet in de tellingen opgenomen.

Gebruikelijk is een driedeling in de grote sectoren: bedrijf, verkeer, privé. In elk van deze sectoren zijn vele dagelijkse gebruiksgoederen aan te treffen.

	bedrijf	verkeer	privé	Σn
dodelijk	1	37	62	3.360
ernstig letsel (ziekenhuisopname)	4	18	78	75.300
lichte verwonding (polikliniek, huisarts)	10	10	80	1.606.000

Figuur 21.12 Schatting jaarlijks (1994) aantal ongevallen in Nederland, in percentages en naar ernst van letsel over drie belangrijke sectoren, en totaal-aantallen (naar SCV, 1994).

De Stichting Consument en Veiligheid onderzoekt de ongevallen in de privé-sfeer. Uit de jaaroverzichten blijkt de verdeling van ongevallen over de sexen:

- vrouwen 42,6%;
- mannen 57,3%;
- onbekend 0,1%.

In figuur 21.13 is de onevenredige verdeling over leeftijdsgroepen weergegeven.

leeftijd (jaren)	0 - 4	5 - 19	20 - 59	60+
ongevalspercentage	8,1	31,9	49,2	10,7
bevolkingspercentage	6	19	58	17

Figuur 21.13 Ongevallen in privé-sfeer naar leeftijd (SCV, 1990).

Uit het verslag uit 1990 is ook een grove indeling te maken naar type van ongeval:

struikelen, uitglijden, vallen, verstappen	434.000	(50%)
botsen, beknellen	138.000	(16%)
snijden, steken	64.000	(7,5%)
verbranding	12.500	(1,5%)
rest categorieën	220.000	(25%)

Tenslotte nemen we uit dat jaaroverzicht de 'producten top 10' over: de 10

producten die direct of indirect aanleiding waren tot het ongeval en de 10 producten die het letsel uiteindelijk veroorzaakten. Deze zijn opgenomen in figuur 21.14.

aanleiding	n	'oorzaak'	n
fiets en accessoires	4.174	vloer	11.052
vaste trap binnen	3.228	bestrating	10.097
glas (heel/stuk)	2.161	bodemgesteldheid	4.285
deur en attributen	1.513	glas (heel/stuk)	2.865
bromfiets	1.068	bal	2.432
mes (voor huishoudelijk gebruik)	980	sportschoen	1.742
handgereedschap	939	deur en attributen	1.700
speelplaats	769	hond (!)	1.656
stoel	675	gruis, splinter (excl. glas)	1.475
bed	599	mes	1.452
	16.106		38.756

Figuur 21.14 'Producten top tien', ongevallen in privé-sfeer (SCV, 1990).

Door middel van onderzoek dat uitgebreider is dan alleen registratie, wordt door verschillende instituten getracht meer wetmatigheden te ontdekken in het ontstaan van ongevallen. De preventie door beter, veiliger ontwerpen zou dan gericht kunnen gebeuren. De ontwerpbijdrage zal beperkt, maar zeker waardevol kunnen zijn.

21.6 Bescherming

Bron, weg en gebruiker

Zoals al behandeld werd in hoofdstuk 14 bij lawaai, is het beter te voorkómen dan te genezen. Het heeft de voorkeur éérst de bron aan te pakken en pas daarna de weg tussen bron en blootgestelde mens. Uiteindelijk in de derde plaats moet men aan de mens zelf bescherming geven. Bij lawaai dus eerst proberen de lawaaiige motor zelf te verbeteren; indien dat niet of onvoldoende lukt, kan men denken aan een isolerende omkasting of een tussenscherm; en pas daarna kan men gaan denken aan oorbeschermers. Lawaai is overigens een gevarenbron doordat het de concentratie stoort, doordat het belangrijker geluidsignalen maskeert en door het 'lange-termijn ongeval' beroepsdoofheid. Bij lawaai wordt een beschermingsmiddel dubbel noodzakelijk bevonden om de kans op bovengenoemde gevaren te verminderen. Bij dit type van beoordeling moet men niet alleen de aandacht richten op de fase van het gebruik in strikte zin, maar moet men ook de voorbereidende fasen en de navolgende gebruiksfasen erbij betrekken. Juist bij vervoeren, installeren, aansluiten, of reinigen, demonteren en opbergen, kunnen gevaarlijke situaties ontstaan. De gebruiker ervaart soms die andere fasen als noodzakelijk kwaad, concentreert zich op het strikte gebruik, of wil er snel vanaf zijn. De gebruiker let daarom minder op en er zal dus eerder iets gevaarlijks gebeuren.

Aanpak van de bron

Bij de aanpak van het gevaar bij de bron is de eerste vraag of het denkbaar is dat door een samenloop van omstandigheden ledematen in aanraking kunnen komen met productdelen die letsel zouden kunnen veroorzaken, bijvoorbeeld elektriciteit, bijtende vloeistof of onderdelen die snijden, steken, klemmen of verbranden. Dit moet uiteraard voorkomen worden. De volgende vraag is, of het absoluut noodzakelijk is dat het gevaarlijke onderdeel bereikbaar is voor de gebruiker. Het is vaak mogelijk het product zó te maken dat de gevaarlijke delen minder toegankelijk zijn, of eventueel minder toegankelijk worden zodra het product werkt. Die gevaarlijke delen liggen dan bijvoorbeeld dieper, verzonken of achter een rand. Bij een werkend product valt te denken aan afscherming van het gevaarlijke gedeelte. Dat kan bijvoorbeeld ook door op andere wijze de handen uit de weg te laten houden. Zo werken sommige apparaten, zoals een koffiemolen, alleen met goed gesloten deksel en doen andere apparaten het alleen zolang beide handen contact maken met een knop of handvat buiten de gevarezone (zie figuur 21.15). Er kunnen ook aspecten aan een product zitten, waarbij niet de interactie met de gebruiker gevaarlijk is, maar waarvan de veiligheid wél bij de bron aangepakt moet worden. Een voorbeeld is de waakvlam van een geysers, waarbij de gastoevoer wordt afgesneden als de vlam per ongeluk uitwaait. Dit voorkomt explosies.

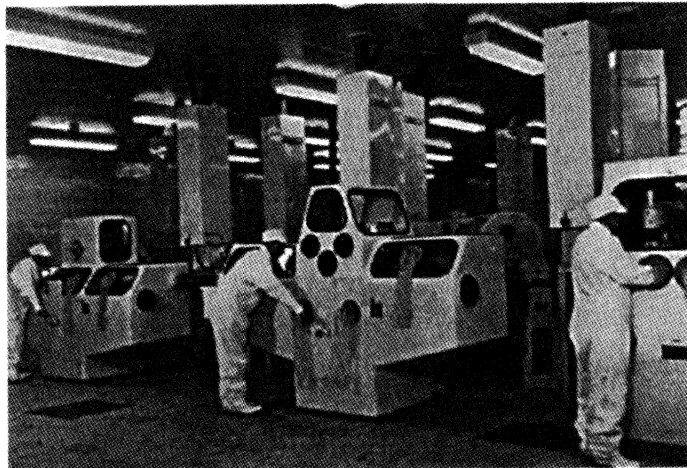


Figuur 21.15 Beide handen elders bij cirkelzaag.

Aanpak van de weg

Tussen ledematen of het hele lichaam enerzijds en de gevarenbron anderzijds wordt een beschermer geplaatst (figuur 21.16). Dat kan dichtbij of veraf zijn. Hierna zijn enkele voorbeelden uitgewerkt. Een isolerend handvat van een handwerktuig voor reparatie van elektrische toestellen; een beschermkap over het grootste deel van een cirkelzaag, zodat de opening hopelijk alleen het te bewerken materiaal doorlaat, terwijl de zaag uitsluitend kan roteren als de kap in goede positie staat; de eerder genoemde infra-rood detector in de platenpers, die de persslag tegenhoudt of stopt, indien warme, levende materie op een gevaarlijke plaats aanwezig is.

Deze voorbeelden kunnen gedeeltelijk ook beschouwd worden als aanpak van de bron, want de beschermende onderdelen zitten aan het product (de bron) vast. Er zijn ook voorbeelden waarbij de bescherming echt tussen product en mens in zit. Denk bijvoorbeeld aan de schermen, die geplaatst worden rond een lasser om de omgeving te beschermen; het scherm met loodglas, waarachter men moet staan, voordat de röntgenstraler of andere gevaarlijke stralingsbron geactiveerd kan worden; geluidswallen langs de snelweg.



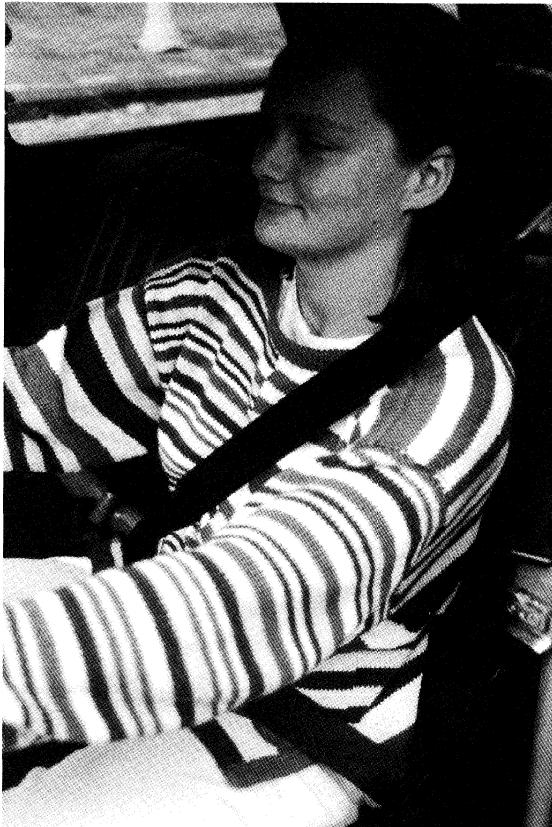
Figuur 21.16 Aanpak van de weg.

Ook zijn er voorbeelden van oplossingen waarbij het toestel of de machine op afstand gehanteerd wordt. Men noemt dat 'telemanipulatie'. Zo denke men aan een cabine rond de verspaner, die gietstukken ontbraamt en die door een joy-stick aan de buitenzijde kan worden gestuurd. Of de oplossing van twee kunsthanden die men kan omvatten om radio-actief materiaal te pakken, positioneren, over te gieten e.d. en waarbij die eind-actie op grote afstand plaatsvindt en alleen via een TV-circuit waar te nemen valt.

Aanpak van de gebruiker

Indien geen goede oplossing kon worden gevonden voor bron of weg, kan aan een 'tweede huid' voor de gebruiker worden gedacht (zie ook 6.6 en 7.6, ontwerpen

van persoonlijke uitrusting). Hittebestendige handschoenen bij brand, rubber handschoenen tegen zuur, werkhandschoenen tegen splinters of doorns. Veiligheids gordels (figuur 21.17) en val-koorden zijn middelen om te grote versnelling van de gebruiker (te pletter slaan of vallen) te voorkomen, of de effecten ervan te verminderen. De laskap beschermt tegen verblinden en vonken. Het loodschort dient ter bescherming tegen röntgenstraling; oorbeschermers tegen luid lawaai; valhelmen, kniebeschermers en kogel-vrije vesten tegen impact van buitenaf. Bij deze oplossingen is het niet alleen van belang dat de gedragen beschermingsmiddelen goed isoleren en passen, maar ook dat zij niet, of zo min mogelijk, het normale functioneren noch de bedoelde interactie tussen mens en product hinderen. Hinder kan bijvoorbeeld ontstaan doordat de bescherm-middelen het zicht belemmeren, de bewegingen beperken, of dat zij door hun gewicht vermoeien, veel transpiratie veroorzaken en zo voort.



Figuur 21.17 Aanpak van de gebruiker.

Bescherming kost iets. Zowel de ontwerper als de gebruiker dienen dus een verstandige afweging te maken, gezien de kans op een ongeval en de mogelijke ernst van de gevolgen. Omdat gebruikers daar veelal lichtvaardig over denken, is het goed dat er vele wetten en voorschriften zijn.

21.7 Ontwerpen van veilige producten

Werkwijzen

Het ontwerpen met aandacht voor veilig productgebruik hoort thuis in de rij van ergonomische gebruiksfunctionaliteiten, waarvan de overigen zijn: nut, doelmatigheid en comfort. Alle vier zijn het belangrijke en onmisbare doelstellingen in elk ontwerpproces, die in een of andere vorm in het programma van eisen verwerkt moeten worden. We hebben echter gezien dat elk van die productkwaliteiten ook wel speciale denkwijzen en analyse-methoden vergt. Zo is het dus ook gesteld met het veilig gebruik. Het bijzondere daarbij is dat er rekening moet worden gehouden met zeer kleine kansen en met een diversiteit van wisselende factoren. Productfactoren vormen daar, zoals gezegd, slechts een deel van. Desalniettemin ligt het binnen de professionele verantwoordelijkheid van productontwikkelaars de gebruiksveiligheid bewust en kundig af te wegen en de beste garanties te geven die mogelijk zijn, gezien de stand van de kennis uit de productergonomie, veiligheidskunde en techniek. Hoe schat men dat een product ‘fool-proof’ (bestand tegen gekken) of ‘child-proof’ (bestand tegen kinderen) behoort te zijn, en hoe realiseert men dat? In het volgende worden kort de eerste handreikingen gedaan.

Analyse van gebruiks- en levensfasen

Er is enige kennis nodig van wetten, normen en voorschriften, maar ook van de ongevalsstatistiek, om reeds bij een vaag idee voor een nieuw product te weten of men in een gevarezone kan belanden. Is dat het geval, dan is men als ontwerper extra gewaarschuwd. In ieder geval kan het productidee, tezamen met de eerste aftekening van gebruikssituaties en gebruikersgroep, worden ingeschat op de dimensie veiliger-onveiliger, zoals dat in 21.3 ‘factoren bij product(on)veiligheid’ is aangegeven. Dat schatten moet fantasierijk en misschien zelfs wat pessimistisch geschieden. Naarmate het ontwerpproces concreter en gedetailleerder wordt, zal die inschatting (assessment) over product, onderdelen, systeem en gebruikswijzen gewoonlijk nader kunnen worden gefundeerd. In alle gebruiksfasen, de voorbereidende, die van gebruik in strikte zin en de nazorg-fasen, zullen de mogelijkheden tot letsel moeten worden geïnventariseerd. Het is zelfs geboden die analyse uit te breiden naar de overige fasen van de product-levenscyclus: die welke voorafgaan aan het gebruik (de fasen van makelij en distributie) en de fasen die op het gebruik volgen (de fasen van afdanking, demontage en hergebruik). De – zij het gedeelde – verantwoordelijkheid van de ontwerper gaat dus ver!

Reeks van veiligheidsbevorderende oplossingen

Wat door keuze van vorm, werking, materiaal, opbouw en keuze van onderdelen kan bijdragen tot minder riskante mens-product interactie is velerlei, maar is niet in enkele regels te vangen. Als wij ons concentreren op de interactie tussen mens en product – en dus op de gebruikers – komt het erop neer dat de denkwijze dient te worden gevolgd zoals die verbeeld is in de opsomming van figuur 21.18. Er dient

dus in het proces, van eerste idee tot gereed product, specifiek en stapsgewijs te worden geanalyseerd, bedacht, getoetst, veranderd, getoetst enzovoort. Als globale regel voor de volgorde van verbeteringen geldt dat bij voorkeur éerst de bron moet worden aangepakt, dan de weg en, als dat daarna nog nodig is, een tweede huid voor de gebruiker. Daarnaast kan men gebruik maken van het principe ‘if exposed, show’, dat wil zeggen dat, indien de gebruiker dan toch in een riskante situatie komt, het product dat zo duidelijk mogelijk toont ter waarschuwing. Maak onderdelen met letsel-potentie dus liefst onbereikbaar, maar als dat niet kan laat het gevaar dan zichtbaar en opvallend zijn, of bouw een alarmerende signaalgever in. Een waarschuwingsaanduiding op het product of, nog erger, een gebruiksaanwijzing (die zelden gelezen wordt, zie figuur 21.19) mag niet gebruikt worden om tekortkomingen van product, van de weg of van een eventuele tweede huid te vergoelijken. Wèl kan een waarschuwing en/of gebruiksaanwijzing een aanvulling zijn op een reeds zo goed mogelijk verbeterd product. Evenals het ongeval het resultaat is van een netwerk van gebeurtenissen en dus multi-causaal is, is het een goed product-ergonomisch principe een reeks of netwerk van veiligheidsbevorderende oplossingen tegelijkertijd in en op en bij het ‘onveilige product’ aan te brengen.

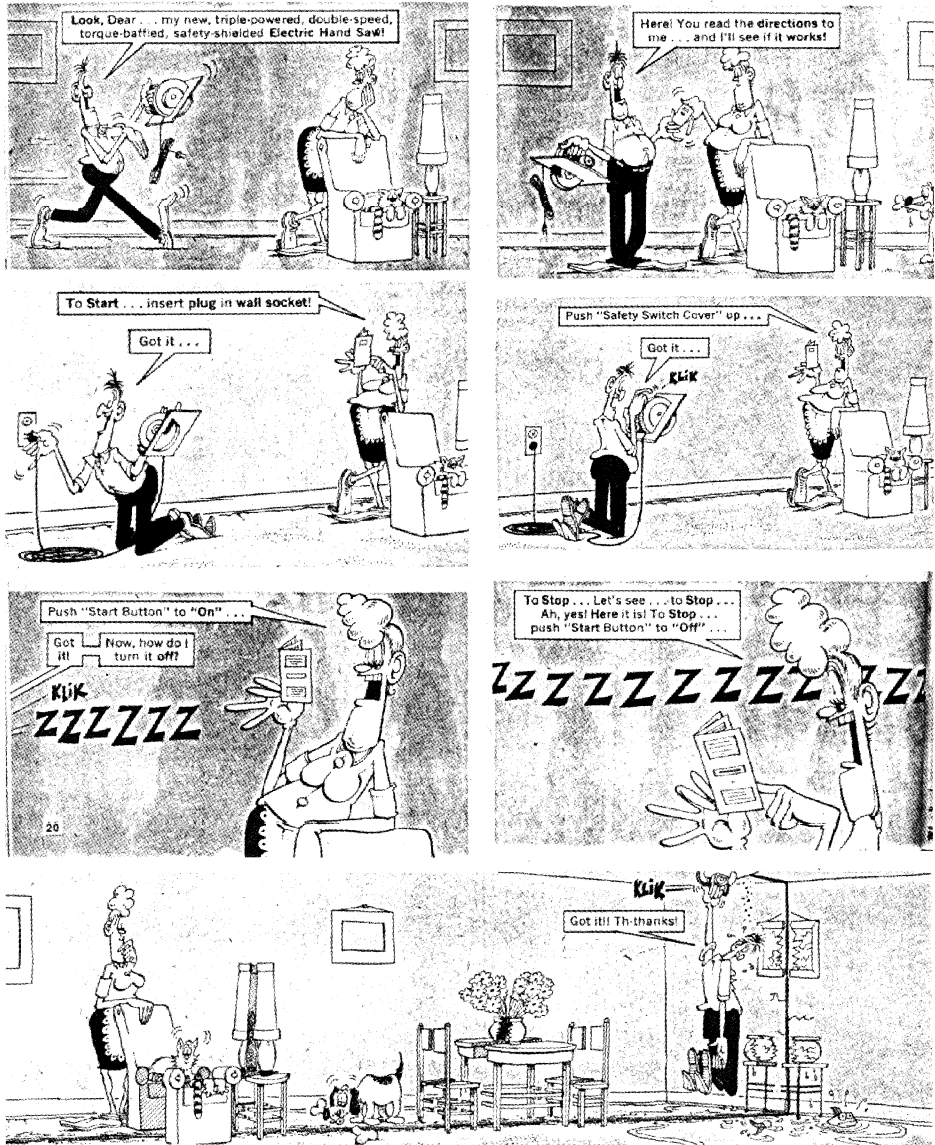
- | | |
|---------------------------------|---|
| Aanpak van prioriteiten: | <ol style="list-style-type: none"> 1. aanpak van de bron 2. aanpak van de weg 3. een tweede huid |
| Toevoegingen: | <ol style="list-style-type: none"> 1. if exposed, show 2. waarschuwingsaanduiding 3. gebruiksaanwijzing |

Figuur 21.18 Reeks van veiligheidsbevorderende ontwerp-strategieën.

Productveiligheid in het ontwerpproces

Hoe groter de vrijheidsgraad van het product, des te groter de vrijheidsgraad van handelen voor de gebruikers en des te groter de variatie in gebruik. Een hendel op een nagelvast apparaat heeft weinig vrijheidsgraden; hij kan alleen maar overgehaald worden. De gebruiker wordt daarbij beperkt door de vaste plaats, oriëntatie en bewegingsrichting van de hendel en de restricties die de omgeving oplegt (misschien kan de gebruiker niet overal staan). Een schaar heeft daarentegen veel vrijheidsgraden, daar kan van alles mee gedaan worden. De gebruiker kan de schaar oppakken, overal mee naar toe nemen, op allerlei manieren vasthouden en in alle richtingen bewegen.

Het moge duidelijk zijn, dat men bij het vormen van een productbeeld van het ontwerp er niet onder uit komt om rekening te houden met mogelijk gevaarlijke situaties. Bij producten met veel vrijheidsgraden moet er daarom ook rekening gehouden worden met de mate van vrijheid in gebruik en de mogelijke risico's die daaraan verbonden kunnen zijn.



Figuur 21.19 Iemand die de gebruiksaanwijzing wél las.

De volgende noodzakelijke stap is aandacht geven aan die risico's in de productvisie, die vooraf gaat aan het programma van eisen (P.v.E.). In dat P.v.E. moeten de risico's met zo expliciet mogelijke eisen worden bestreden. Aan de hand van het P.v.E. kunnen er concepten gemaakt worden, waarbij de prioriteiten voor de productveiligheids-aspecten zijn zoals hiervoor beschreven. Het beste concept, waaruit het uiteindelijke product zal groeien, moet opnieuw worden geëvalueerd en op risico worden geanalyseerd. In vele ontwerpprocessen zal gebruiksonderzoek (zie onder meer 18.5 'Gebruiksonderzoek') nuttig of zelfs onmisbaar zijn, om de onzekerheden te verminderen. Enkele onhandige of nonchalante proefpersonen los

te laten op proefmodellen kan goud waard zijn. De bevindingen van evaluatie en gebruiksonderzoek kunnen worden gebruikt om de puntjes op het P.v.E. te zetten en het product weer een slag te verbeteren, ofwel veiliger te maken. Dit cyclische proces kan eventueel worden herhaald tot het resultaat bevredigend is, waarna verdere detaillering van het ontwerp kan plaatsvinden.

Ontwerpen van gebruikskwaliteit blijkt dus wederom niet eenvoudig te zijn, noch via eenduidige recepten te verwezenlijken. Met enige aandacht valt er echter veel goed werk te doen.

Begrippen

Mens-Product Interactie:

- i1 (on)voorspelbaarheid van interactie
- i1 productbeeld van ontwerper (bedoeling)
- i1 productbeeld van gebruikers (opvatting)
- i1 gebruikswijzen/interacties en situaties (mogelijk en werkelijk)
- i1 gevaarlijke situaties
- k1 lichamelijke schade wegens productgebruik
- k1 risico = kans \times gevolg
- k2 kostensoorten van ongeval
- k2 veiligheidsvoorschriften

Factoren bij productveiligheid:

- i2 Mens: risico-mijdend versus risico-nemend (dimensie)
- k2 accident-proneness
- k2 verschil in blootstelling (exposure)
- i1 remedial response
- i2 Product: veiliger versus onveiliger (dimensie)
- k1 fail-safe, zelf corrigerend
- k1 gebruikstolerant
- k1 bedrijfszeker
- k1 onderdeel met letsel-potentie
- k2 Interactie: onverwacht, oneigenlijk, meervoudig
- k3 Omgeving: onderscheid omgeving en product

Multi-causaliteit:

- i1 gebeurtenissenreeks
- k1 netwerk van factoren
- i2 productgebondenheid?
- k2 faalboom
- k2 stroomschema
- i2 primaire en secundaire fout

Ongevalsestatistiek:

- k3 registratie-drempels
- k3 sector indeling
- k3 leeftijd factor
- k2 ongevalstype
- i2 product als aanleiding of 'oorzaak'

Bescherming:

- k1 bron, weg, tweede huid
- k2 risico in verschillende gebruiksfasen
- k3 registreerbaarheid letseloorzaken
- k3 isolatie en afstand
- k1 beschermingsmiddelen: gedragen worden, isoleren, passen, niet hinderen

Ontwerpen:

- k1 de vier kwaliteiten van gebruiksfunctie
- i1 ontwerpverantwoordelijkheid
- k2 risico-inschatting
- k2 overige fasen product-levenscyclus
- k1 risico's in productvisie en P.v.E.
- k1 rol gebruiksonderzoek
- k2 'if exposed, show'
- k2 waarschuwingaanduiding en gebruiksaanwijzing
- k2 beschermingsnetwerk

Vragen en suggesties

- 21.1. Ga na welk gevaar een pingpongballetje kan opleveren door onvoorspelbaar gebruik.
- 21.2. Welk productbeeld zal de ontwerper van de pingpongbal hebben gehad?
- 21.3. Wat is het productbeeld van verschillende gebruikers bij een pingpong bal?
- 21.4. Waarom bevatten de productbeelden van gebruikers zelden gevaarlijke situaties?
- 21.5. Meent u een of meer 'brokkenmakers' te kennen? Zo ja, ligt dat dan aan karakter of leefsituatie (exposure) of beide?
- 21.6. Bedenk zelf een voorbeeld van risico bij onverwacht, bij oneigenlijk en bij meervoudig gebruik.
- 21.7. Bij de grote ramp met de Russische kernergie-centrale te Tsjernobyl werd eerst aan het personeel de schuld gegeven en dat werd later weer teruggetrokken. Waarop kan dat wijzen?
- 21.8. Kunt u een soortgelijk plausibel voorbeeld bedenken en in een stroomschema zetten, zoals het voorbeeld van het Stanley-mes en het karton?
- 21.9. Verbaast u zich over de percentages in de tabel met de drie sectoren en ernst van letsel? Kunt u verklaringen geven voor die verhoudingen?

- 21.10. Waarom zou het ongevalstype 'struikelen, uitglijden, vallen, verstappen' in de privé-sector zo domineren?
- 21.11. Maak een gebeurtenissenreeks van het gebruik van een douche. Waar zitten risicovolle gebeurtenissen?
- 21.12. Kunt u een voorbeeld geven van een ontwerpaspect dat de productveiligheid in de distributiefase beïnvloedt, en in de afdankingsfase?
- 21.13. Is het gaspedaal van een auto 'fail safe'?
- 21.14. Is een huishoudmes foolproof en childproof te maken?
- 21.15. Geef voorbeelden van maatregelen waarbij men respectievelijk de bron, de weg en de gebruiker heeft aangepakt.
- 21.16. Als de gebruiker wordt beschermd tegen gevaar, op welke aspecten moet men dan extra letten?
- 21.17. Probeer de theorie in dit hoofdstuk samen te vatten door beïnvloeding, aangrijpen en dergelijke aan te geven in het mens-product interactie (en omgeving) model.
- 21.18. Beschrijf aan de hand van een eigen ervaring met een product het netwerk van gebeurtenissen dat bijdroeg aan het ongeval en geef aan of, en zo ja hoe en waar, dit voorkomen had kunnen worden.
- 21.19. Welke vier kwaliteiten zijn onmisbare doelstellingen in het ontwerpproces? Welk product uit uw omgeving voldoet niet aan minstens een van deze doelstellingen?
- 21.20. In welk geval hoeft de ontwerper zich totaal geen zorgen te maken over de veiligheid van zijn ontwerp?
- 21.21. Schrijf een productvisie van een airbag voor de mede-inzittende; neem daarin de risico's op.
- 21.22. Plan een kort gebruiksonderzoek voor een alledaags gebruiksvoorwerp dat door iemand uit uw dagelijkse omgeving wordt gehanteerd; noteer punten en momenten van uw observaties, vragen en eventuele metingen.

22

Productergonomie bij ontwerpen en evalueren van gebruiksgoederen

Samenvatting

Dit vijfde deel bestaat uit een synthese van de voorgaande, meer specifieke productergonomische inzichten, feiten en richtlijnen. Dat gebeurde in de vorige hoofdstukken door de verschillende aspecten van de ergonomische gebruikskwaliteit te analyseren: nut, efficiëntie, comfort en veiligheid. Aan productveiligheid werd apart aandacht besteed. In dit laatste hoofdstuk wordt nader stil gestaan bij het innoveren van gebruiksgoederen en hoe kennis van mens-product interactie daarbij van groot belang is. Het is dus zaak om de ergonomische inbreng in het ontwerpproces goed te kennen. In de verschillende fasen van het ontwerpproces dienen ergonomische vragen en antwoorden, over de gebruikersgroep en gebruikssituaties, het 'product in wording' te begeleiden. Zowel kwalitatieve als kwantitatieve informatie over mens-product interactie wordt tijdens het gehele proces verweven en meegewogen met informatie uit andere invalshoeken zoals constructie, vormgeving en marketing. Het ergonomisch beoordelen van bestaand gebruiksgoed vertoont ook enige overeenkomst met dat beoordelen van een ontwerp tijdens het proces van productontwikkeling. Afgesloten wordt met een korte behandeling van het productontwerpen voor gehandicapten en ouderen, waarbij nog eens extra aandacht voor en kennis van mens-product interactie geboden is.

22.1 Innovatie van gebruiksgoederen

Innovaties veranderen de technocultuur

Innovatie betekent vernieuwing en onder gebruiksgoederen verstaan we hier de industriële producten, die in serie of massa worden vervaardigd voor meermalig gebruik door consumenten en professionals. Het zijn de goederen voor intensief, frequent of urgent gebruik, die onder handbereik zijn, of anderszins in directe interactie met de gebruiker staan. We kunnen ze opvatten als verlengstukken van de natuurlijke menselijke functies van waarnemen, denken, onthouden, beslissen en handelen. Vooral bij de fysiek, sensorisch en cognitief ondersteunende producten is het duidelijk voor welke biologische en psychologische functies het technische hulpmiddel als directe ondersteuning bedoeld is. Techniek is er voor mensen. Het gebruik door gebruikers, nader te analyseren als de gebruiksfunctionaliteiten (nut, efficiëntie, comfort en veiligheid) in verschillende gebruiksfasen, vormt daarom de

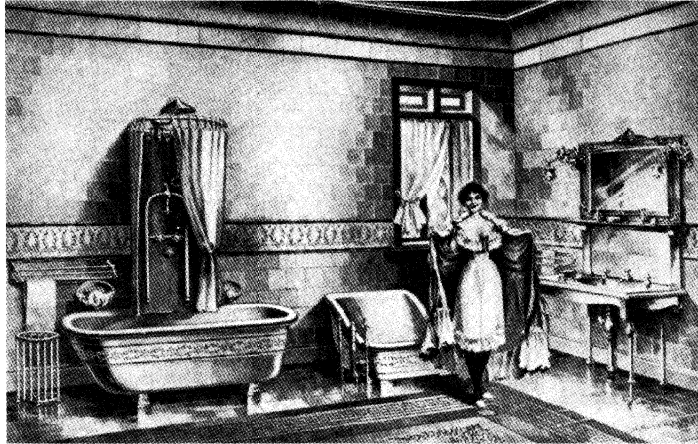
voornaamste bestaansredenen van een product. Gebruiksgoederen vormen ook een belangrijk deel van onze technocultuur (2.1 'Historie van technocultuur'); zij zijn een neerslag en ondersteuning van een bepaalde wijze van denken en doen. Die cultuur is voor een belangrijk deel gebaseerd op de verscheidenheid en samenhang van de mens-product interactie in de, grotendeels ook kunstmatige, omgeving. De technocultuur stroomt verder door uitbreiding, vervanging en vernieuwing; er is een ontwikkeling naar meer van en nieuwe: mensen, producten, interacties en omgevingen. Mens en interactie veranderen als het product verandert en er ontstaan nieuwe gewoonten, vaardigheden, verwachtingen en behoeften. Er ontstaan bonte patronen van innovaties, die wisselen in grootte van vernieuwing, in effect op de maatschappij en op onze dagelijkse levens, maar ook in de levensduur van de toepassing (Giedion, 1948). Recent was er bijvoorbeeld een golf van consumentenelektronica en misschien bestaat de volgende golf uit genetisch, nieuw ontworpen materialen en daarmee gemaakte verbruiksgoederen. Zulke golven kunnen veel invloed hebben op het leven en denken van alledag.

Deze patronen verlopen allerminst via een 'masterplan', noch zijn zij gericht op duidelijke doelstellingen. Die ontwikkelingen hebben echter wel beperkende en richtinggevendende voorwaarden. De belangrijkste voorwaarden zijn de natuurlijke menselijke functies, zoals die door de productergonomie bestudeerd worden. Innovatie van gebruiksgoederen is dus ook afhankelijk van kennis omtrent mens-product interactie en wordt idealiter ook mede vanuit die kennis geïnspireerd, geïnitieerd, gestuurd en beoordeeld.

Wat katalyseert productinnovatie?

De aanjagers van die productinnovaties, ofwel de 'pompen van die ontwikkelingsstromen' in de technocultuur, zijn velerlei. In dit kader kunnen er enkele kort worden aangeduid. Nieuwe gebruiksgoederen ontstaan, omdat er maatschappelijke en of economische problemen worden onderkend, zoals de milieu- en afvalproblematiek, of de vergrijzing van de bevolking waardoor een groeiende markt van senior-gebruikers ontstaat. Deze problemen kunnen een golf van innovaties veroorzaken. De richting van productinnovatie kan ook samenhangen met de heersende denkbeelden in een bepaalde periode, waardoor de aandacht vooral op bepaalde onderwerpen wordt gericht en minder op andere. Die denkbeelden zijn achteraf en over langere historische perioden pas goed te onderscheiden, zoals de preoccupatie met mechaniek rond 1800, of die met hygiëne rond 1900 (figuur 22.1).

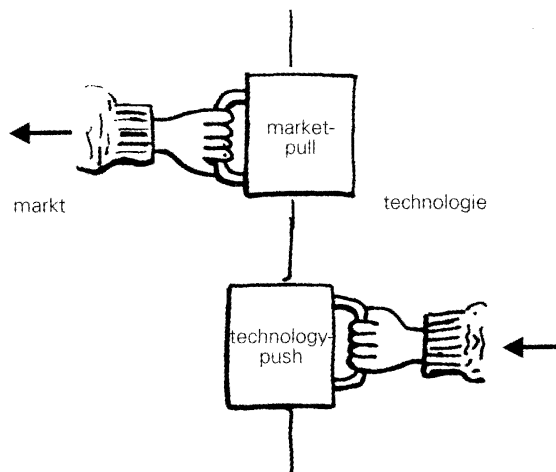
Van een dergelijke stroming of mode is niet één enkel individu, groep of centrum als aanjager of initiator aan te geven. Dat is wél het geval bij technologische basisinventies, waarbij uitvinders, laboratoria of ondernemingen, nieuwe technische principes ontdekken en ontwikkelen, die later een brede en belangrijke toepassing in vele producten kunnen krijgen. Doorbraken in de fysica van de vaste stof en micro-elektronica hebben de technocultuur veranderd en doen dat nog steeds via de fundamentele verandering en uitbreiding van de mogelijkheden van informatie-



Figuur 22.1 Preoccupatie met 'hygiëne' rond 1900 (Forty, 1992).

opslag, -bewerking en -transport.

Er wordt in dit verband gesproken van 'technology-push': de nieuwe technische mogelijkheid wordt in de markt gedrukt en veroverd die desnoeds tegen heug en meug. Daartegenover staat dan de 'market-pull': in de markt ontstaat spontaan een vraag en de techniek reageert door een adequate oplossing te bedenken (figuur 22.2). In de meeste gevallen echter domineert noch vraag, noch aanbod, maar is er wederzijdse beïnvloeding.



Figuur 22.2 Market-pull versus technology-push.

Een interessant, aanvullend idee komt van Petroski (1992) die de innovatie van goederen vooral ziet worden aangedreven door de onvolkomenheden en fouten van de eerdere uitvoeringen van die producten annex hun diensten.

Gebruikers zijn geen innovatieve productontwerpers, maar zij zijn wel selectief en kritisch bij het aanvaarden van nieuwe hulpmiddelen. Onderzoekers en ontwerpers zijn zelf ook consumenten en gebruikers, en hebben in ieder geval op die manier

contact met de marktontwikkelingen. De cultuur bepaalt mede het product; want de interactie kent tradities en beperkingen.

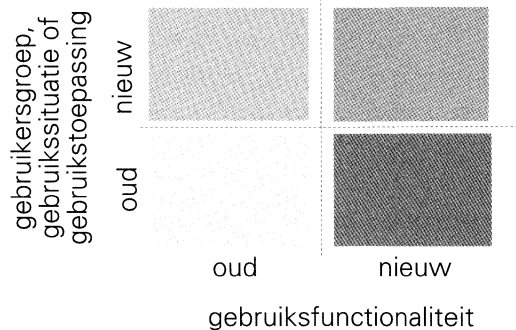
Technologisch verkennen

Het spel van uitvinden en ontwerpen versus aanvaarden en vervangen is, bezien over langere tijd en vele gevallen, nogal grillig. Innovaties zijn dan ook niet, of slechts beperkt, voorspelbaar. Wie had kunnen voorzien dat er tekstverwerkers, foto-kopieerapparaten, fax en electronic-mail zouden ontstaan en dat die zulke grote veranderingen zouden bewerkstelligen? Die systemen werden overigens zo snel ontwikkeld dat een gemeenschappelijke standaard voor signaalgevers, bedieningselementen en gebruikswijzen helaas niet tot stand is gekomen. Wat zullen bijvoorbeeld nieuwe materialen en verdere robotisering kunnen veroorzaken? Er is een (meta-)vakgebied dat 'technologisch verkennen' heet (technology assessment, zie ook 1.1 over maatschappelijke effecten van de ontwikkeling van wetenschap en techniek) en waarin scenario's (mogelijke toekomstbeelden) worden opgesteld van de maatschappelijke, mogelijke gevolgen van nieuwe technische producten en systemen. Er zijn ook bedrijven die voor hun sector trachten te voorspellen welke nieuwe producten over 10 of 20 jaar maakbaar, nuttig en aanvaardbaar zouden kunnen zijn. Men baseert zich daarbij op bestaande technische inzichten en mogelijkheden en dus niet op science fiction, waar de grenzen van het technisch-fysisch mogelijke vaak worden overschreden. Kennis van de huidige mens-product interactie en van haar invariante kenmerken is daarbij een niet te onderschatten bron van inspiratie.

Innovatie en ontwerpruimte

Van productinnovatie kan pas gesproken worden, indien het vernieuwde of nieuwe hulpmiddel op enige schaal door een markt is aanvaard en dus gebruikt wordt. De vernieuwing kan zowel de technische uitvoering van het product betreffen als de vervaardigingswijze. Een oud product voor een nieuwe gebruikersgroep, of in een nieuwe gebruikssituatie/toepassing, kan echter ook een innovatie betekenen. Het criterium voor innovatie is dan of er vernieuwing plaatsvindt in de gebruikskwaliteiten: een nieuw nut, in de zin van de ondersteuning (verlengstuk) van een menselijke functie, die tot die tijd niet of veel gebrekkiger werd geholpen. Dat kan een aanmerkelijke verbetering van efficiëntie betekenen, zodat de aandacht en inspanning meer effect hebben, of dat minder aandacht en inspanning nodig zijn, zodat de gebruiker langduriger of meer kan presteren. Een wezenlijke verhoging van comfort of veiligheid kan ook een productinnovatie voor bepaalde gebruikers bij een bepaalde gebruikstoepassing zijn. De 'ontwerpruimte' tot innoveren kan dus in diverse richtingen gezocht worden. De innovatie in mens-product interactie kan kleine verbeteringen betreffen (herontwerp) of een grote stap in een nieuwe richting betekenen. Het kan gaan om een vernieuwing door het combineren van reeds langer bestaande technische principes en onderdelen, zoals meestal het geval is; of het gaat om een nieuwe toepassing van een nieuwe uitvinding.

De innovatieve ontwerpruimte wat betreft mens-product interactie wordt aangegeven door de overige dan de oud-oud kwadranten in figuur 22.3. Als men iets succesvol en nieuws voor gebruikers wil bedenken, zal dat steeds mede gebaseerd moeten zijn op, al dan niet expliciete, kennis van product- en systeemergonomie. Juist bij een innovatief ontwerp is het namelijk erg belangrijk om aandacht te besteden aan de ergonomie, zoals al in 1.4 ‘Vier-pilaren model’ werd uitgelegd.



Figuur 22.3 Ontwerpruimten voor innovatie en voorbeelden.

Initiatieven tot productontwikkeling

Aanleidingen en initiatieven tot productontwikkeling kunnen veelsoortig zijn, zoals reeds vermeld bij de aanjagers van productinnovaties. Het kan starten met spontaan denken of vinden, of met systematisch zoeken. De producerende onderneming tracht met nieuwe producten of markten haar continuïteit en winst te verzekeren. Men zoekt via technologisch speurwerk en ontwikkeling naar nieuwe toepassingen van materialen, vervaardigingswijzen of verwerkingsprincipes. Men zoekt gericht naar nieuwe onderdelen of eigenschappen aan de binnen- of buitenkant van producten, of naar nieuwe gehele producten of productsystemen. Maatschappelijke organisaties kunnen innovaties beïnvloeden door bundeling van de vraag naar producten en dat gebeurt ook door keuring, certificering, wetten en normen. Dat alles kan leiden tot opdrachten aan ontwerpers. Er komen echter ook veel initiatieven voort uit de professionele habitus van productontwerpers om, als tweede natuur, de bestaande mens-product interactie continu te observeren en de zwakke punten te ontdekken. Naar aanleiding daarvan stelt de ontwerper zich nieuwe vragen of doet nieuwe ideeën op voor productverbetering. Hoe gebruiken ze wat? Wat is nuttig? Hoe kan het beter? Wat zou er nog meer nuttig zijn? Welke nieuwe gebruikers of toepassingen zouden er ook baat bij hebben na aanpassing van het product? Etcetera. Men kan spreken van ‘kijken door een product-ergonomische bril’, of van een soort ‘product-antropologische houding’ (pag. 45) jegens mens-product interactie.

Verskillende doelen bij productontwikkeling

Die verschillende aanleidingen en initiatieven kunnen uiteraard wisselen in volg-

orde en belang. In het ontwerpproces, dat hieruit zou kunnen volgen, is er als het ware een gevecht om invloed en aandacht van de verschillende invalshoeken van productfunctionaliteit (zie 20.2 'Productfunctionaliteit'). De voorwaarden voor het slagen van een productinnovatie zijn legio. Hier wordt een lans gebroken voor het primaat van de gebruiksfunctie. Het wordt immers vaak voorgesteld of het ontwerp- of innovatie-proces uitsluitend bedrijfskundige of technische doelen dient, waarbij het productgebruik en de esthetische-culturele waarden van het product slechts middel zijn en afgeleide voorwaarden voor afzet. Indien wij er van uit gaan dat gebruiksgoederen er zijn voor gebruikers (en dat doen wij), dan is deze voorstelling niet juist. In dat geval is er sprake van verwarring, of zelfs omkering, van doel en middel!

22.2 Het ontwerpproces en de ergonomische inbreng

Methodologie van ontwerpen

Het tot stand komen van gebruiksgoed, dat in serie of massa wordt gefabriceerd, is gewoonlijk kostbaar, langdurig en van veel informatie en beslissingen afhankelijk. De weg, vanaf pril idee of globale opdracht tot daadwerkelijk gebruik door velen, is complex en kent veel uitval en kans op verspilling van tijd en geld. Niet voor niets is de ontwerpmethodologie een centraal vak in elke ontwerpersopleiding en krijgt deze bij de ontwerp oefeningen en als theorie-vak veel aandacht. Om die weg te banen zijn er diverse modellen in omloop, die de volgorde, aard en structuur van ontwerpend denken en doen in kaart brengen. Een model heeft enigermate de schijn van onwrikbaar voorschrift en receptuur, maar is in de praktijk eerder een onmisbare steun om greep te houden op processen die telkens weer anders blijken te zijn. Het gebruik van modellen geeft desalniettemin geen absolute garantie voor een succesvol productontwerp.

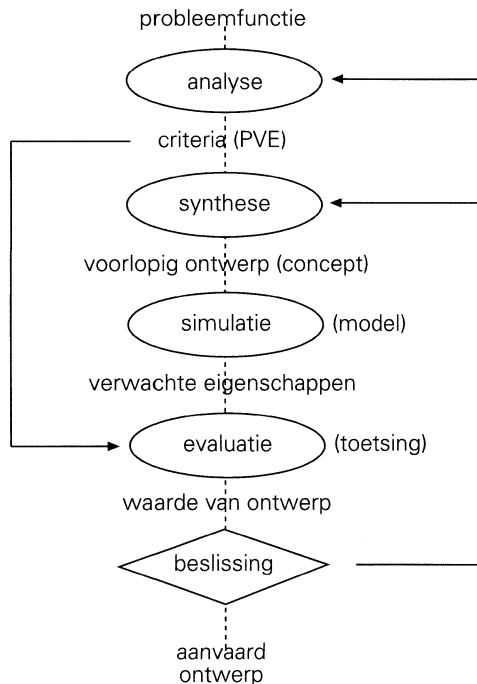
Richting en stappen van het ontwerpproces

In het volgende zal, vooruitlopend op de nadere studie van en ervaring met ontwerpmethodologie, kort worden ingegaan op het ontwerpproces, om globaal de productergonomische inbreng te kunnen aangeven. Het ontwerpproces wordt gewoonlijk verondersteld te beginnen bij een opdracht. Dat is een juiste voorstelling van zaken, zolang niet vergeten wordt welke aanleidingen en initiatieven aan de opdracht voorafgingen. Het erna komende proces kan worden gezien als een systematische reeks van probleem-oplossen: een opdracht bestaat meestal uit een vage omschrijving van een eerste of algemeen probleem. Na het verzamelen en analyseren van informatie wordt die omschrijving omgezet in een preciesere definitie. Daaraan worden vervolgens de vele specifieke eisen ontleend, die aan de te bedenken materiële functie vervuller worden gesteld. Daarop kunnen één of meer concepten worden bedacht, waarmee die eisen zo goed mogelijk worden vertaald in gebruiksfuncties, werking, vorm, materiaal en makelij. In één of meer slagen worden vervolgens die concepten tot modellen gematerialiseerd, beproefd, getoetst,

geselecteerd en bijgesteld, om tenslotte het ontwerp uit te werken, te detailleren en te realiseren tot technische tekeningen en prototype. Het is een proces waarin een functie steeds meer gespecificeerd en gematerialiseerd wordt en waardoor het productbeeld steeds duidelijker wordt. De gebruiksfuncties, de gebruikersgroep en de gebruikssituatie staan de ontwerper dus steeds duidelijker voor ogen. Van een globale mens-product interactie tot een verantwoorde en duidelijke mens-product interactie; van de hoop op voldoende gebruikskwaliteit (zie hoofdstuk 20 'Ergonomische gebruiksfunctie') tot redelijke garanties voor nut, doelmatigheid, comfort en veiligheid.

Probleemoriëntatie en -analyse

Een zeer goede voorstelling van de ideale gang van zaken in het ontwerpproces is de 'basis cyclus van het ontwerpen' (Roozenburg en Eekels, 1991), zie figuur 22.4.



Figuur 22.4 Basis cyclus en ontwerpfasen (naar Roozenburg en Eekels, 1991).

Bij het oplossen van een probleem wordt de cyclus meestal meermalen doorlopen, waarbij het programma van eisen en wensen (P.v.E) ook verandert en meegroeit. In de fase, waarin het ontwerpprobleem tot een nadere definitie wordt gebracht, vinden er een probleemoriëntatie en een probleemanalyse plaats. Er wordt daarbij een eerste beeld verkregen van de gebruiksfuncties: wat moet het product doen voor de gebruiker? Ook moet dan de gedachtenvorming op gang komen over de gebruiksfuncties, ofschoon die tevens afhangen van de latere specificatie en materialisatie. Enige vragen over het nut voor gebruikers (nutquotiënt, zie 20.3

‘Nut van gebruiksgoederen’) zijn op dat moment zeker al op hun plaats. Voor die oriëntatie en analyse is gewoonlijk zeer veel informatie nodig. Soortgelijke producten, het gebruik daarvan en de globaal beoogde gebruikssituaties vormen dan een bron van kennis voor het eerste voorlopige beeld van de mens-product interactie en omgeving. Het is zaak ook dan reeds aandacht te schenken aan mogelijk kritische gebruikaspecten, inclusief de capaciteiten en gewoonten van de – wellicht nog niet geheel duidelijke – gebruikersgroep. Een eerste inschatting is ook geboden van het ontwerptype (zie 4.2 ‘De zeven ergonomische ontwerptypen’) en enig bewust afstand nemen van het ego-type kan dan helpen. De vele informatie vergt echter onvermijdelijk ook enige subjectieve interpretatie, waardoor er dus nooit geheel van eigen ervaring (en daarmee enig ego-centrisme) kan worden losgekomen. Afhankelijk van hoe groot de ontwerp-onzekerheden zijn en hoe essentieel die vragen zijn voor het product in wording, is er onderzoek nodig; dat betekent vaak ergonomisch ontwerponderzoek: met behulp van literatuur, folders, beurzen, gesprekken en observaties. Een goed en verantwoord ontwerp komt niet vanzelf tot stand!

Productvisie en Programma van Eisen

In het ontwerpproces vindt de eerste neerslag van het productidee plaats in een programma van eisen en wensen (P.v.E): de lange lijst van globale en gedetailleerde punten, waaraan het uiteindelijke product moet voldoen en waaraan het getoetst zal worden. Die lijst kan groeien en veranderen tijdens het vervolg van het proces, maar er is de eerste maal al sprake van een ‘ontwerpbeeld’. Hierin is de mens-product interactie in verschillende gebruiksfasen van groot belang, naast vele andere aspecten die met de fabricage, distributie en afdanking van doen hebben. Het valt aan te raden aan het begin van het programma van eisen een ‘productvisie’ te formuleren. Dat is een korte, kwalitatieve omschrijving van waartoe het product dient, wie ongeveer de gebruikers zullen zijn en in welke gebruiksomstandigheden. De beoogde mens-product interactie wordt dan als ontwerp- c.q. productbeeld omschreven, om tot een beter inzicht te komen in de samenhang en relatieve gewichten van alle eisen en wensen. In het programma van eisen zijn ook de gebruikersgroep, het ontwerptype, de kritische gebruikskennmerken en dito interactie-aspecten zoveel mogelijk verdisconteerd. Nog niet het product zelf, maar wel de eisen waaraan het allemaal zou moeten voldoen, zijn in kaart gebracht. Het gebruik en de groep van gebruikers zijn uiteraard niet te verwaarlozen eisenstellers.

Genereren van concepten

In de fase die volgt worden één of meer concepten ontworpen, voor het geheel en voor de belangrijke onderdelen. Concepten zijn syntheses en dus bedenksels, die kans maken te voldoen aan het programma van eisen. Zij kunnen vele vormen aannemen: schetsen, tekeningen, of eerste materiële (schaal)modellen. Het zijn de eerste vertalingen van een beeld dat de ontwerper heeft omtrent vorm, opbouw,

werking en gedacht materiaal, zonder veel detaillering; geen wilde probeersels, maar inventieve doch gerichte pogingen. Het is duidelijk dat hiermede ook de mens-product interactie nader wordt vastgelegd. De vragen over herkenbaarheid, leerbaarheid (4.4 'Ontwerpen voor herkenbaarheid en gebruik') en de ergonomische gebruikskwaliteiten (hoofdstuk 20 'Ergonomische gebruikskwaliteiten') beïnvloeden en typeren mede het ontstaan van die productconcepten.

Toetsing en keuze van concepten

Bij de toetsing en de selectie van concepten is het programma van eisen het belangrijkste richtsnoer, maar gewoonlijk doemen er ook nieuwe vragen op. Verwachtingen over gebruikswijzen worden preciezer en dienen op één of andere wijze te worden getoetst. Representatieve gebruikers en experts kunnen in sommige gevallen reageren op twee-dimensionale voorstellen, maar het realistischer waarnemen en hanteren van een vormmodel of werkend model op werkelijke schaal geven vanzelfsprekend meer informatie. Het verschaft gegevens die beter voorspellen hoe het uiteindelijk gebruik ongeveer zou kunnen zijn. Welke productbeelden hebben de gebruikers? Dat wil zeggen, hoe denken zij dat bediening, reactie en functie van het apparaat zullen zijn, en in welke omgeving? Verlopen de kritische interactie-aspecten naar de wens van ontwerpers en van gebruikers? Klopt het beeld dat de ontwerper van de mens-product interactie heeft, en zo niet, zijn de afwijkingen bezwaarlijk? Naarmate de concepten meer innovatieve eigenschappen hebben, zal productergonomisch gebruiksonderzoek noodzakelijker zijn (4.5).

Detaillering van concept

Het gekozen concept bestaat uit één van de oorspronkelijke concepten, of uit een combinatie van concepten, of uit wederom een nieuw concept. Bij de detaillering wordt een grote aanspraak gedaan op de vormgevende en technische kennis en vaardigheden van de productontwerper. De productergonomie is dan echter evenmin uitgepraat. Er wordt wel eens gemeend, dat de productergonomie nu pas van belang wordt en dat op dit moment de ergonomische kookboeken, over menselijke maten, controls, displays en andere contactaspecten met gebruikers, in de strijd moeten worden gebracht. Die informatie is zeker nuttig, maar als er nú pas aandacht aan kwalitatieve en kwantitatieve aspecten van mens-product interactie wordt besteed, kan dat gevoeglijk als te laat worden beschouwd. In de eerdere ontwerpfasen is de richtlijn 'Voor de gebruiker, maar zonder de gebruiker', zelden succesrijk.

Het voorgaande neemt niet weg dat er bij de ontwerpdetaillering gewoonlijk nog vele ergonomische details dienen te worden opgelost. In de delen 2, 3 en 4 van dit studieboek, waar de fysiek, zintuiglijk en cognitief ondersteunende producten nadere aandacht kregen, zijn ook vele van die detail-aspecten vermeld: de precieze maatgeving voor ledematen, de criteria voor het onderscheiden van signalen, de compatibiliteitsregels, de tien geboden voor intelligente producten, etc. (zie ook 4.3, Bronnen en data).

Toetsing van eindontwerp

‘The proof of the pudding is in the eating’. Om na te gaan of de gebruiker metterdaad goed geholpen wordt, moet het prototype dus systematisch getoetst worden, zowel in theorie (aan het programma van eisen) als in de praktijk (door middel van gebruiksonderzoek). Indien de gebruiksvriendelijkheid niet zeker is, is het verstandig nog niet tot de kostbare serie-fabricage over te gaan, maar eerst aanpassingen door te voeren. Uiteraard geldt dat niet alleen voor productergonomische aspecten, maar evenzeer voor alle andere productaspecten. Al eerder is er op gewezen dat er maar zelden absolute garanties zijn voor succes, omdat gebruikers, gebruikswijzen en gebruikssituaties breed kunnen variëren. Het gaat er echter om dat men de professionele ontwerpverantwoordelijkheid kan dragen door naar beste inzicht en kunnen - uiteraard afhankelijk van tijd en geld - te werk te gaan bij het aanreiken van een ‘verlengstuk’ aan, en van, gebruikers.

22.3 Het ergonomisch evalueren van bestaand gebruiksgoed

Vakkundige productbeoordeling

Bestaand gebruiksgoed wordt veelvuldig beoordeeld. Door de gebruikers gebeurt dat bij koop en gebruik; zij doen dat veelal met weinig technische en ergonomische kennis en meestal onbewust. Toch leiden de gebruikservaringen tot gevoelens van tevredenheid of ontevredenheid. Die gevoelens zijn gewoonlijk van grote invloed op het vaker of juist minder vaak gebruiken, maar ook op het besluit tot onderhoud, reparatie, voorgoed opbergen of afdanken en eventueel hernieuwde aanschaf. Producten worden niet alleen beoordeeld door gebruikers. Hieronder wordt kort ingegaan op verschillende soorten, min of meer vakkundige, productbeoordeling, zoals daar zijn:

- beoordeling door vaklieden (professionals) voor de individuele aanschaf van eigen apparatuur;
- beoordeling door terzake kundigen die aanschaffen voor een organisatie, zoals een kantoor, fabriek, hotel, bejaardenhuis en dergelijke;
- beoordeling door instanties die, al dan niet op specifieke aspecten, producten keuren volgens vaste regels en criteria: elektrische veiligheid (KEMA keur), certificering van vlieg-, vaar- of wegvoertuigen, milieu-vriendelijkheid (milieukeur) en dergelijke;
- beoordeling door instanties voor vergelijkend warenonderzoek (bijvoorbeeld de Consumentenbond) die, om consumenten voor te lichten, gewoonlijk een groep van overeenkomstige functie-ervullers op prijs-prestatie verhouding onderzoeken;
- beoordeling door productontwerpers, die soortgelijke voorbeeldproducten bij hun herontwerp of innovatie betrekken, om zich er door te laten inspireren of zich er tegen af te zetten;
- beoordeling door een deskundige jury in het kader van een wedstrijd, om erkenningen of prijzen toe te kennen.

Verschillen met beoordeling tijdens ontwerpen

De hiervoor genoemde beoordelingen vertonen vele gelijkenissen, maar er zijn ook verschillen met de toetsingen in het voorgaand beschreven ontwerpproces. Een verschil is dat de producten geheel gereed en gefabriceerd zijn en dat er al gebruikservaring door de markt opgedaan is. Het programma van eisen, dat het productontwerp richtte, wordt zelden bij de beoordeling betrokken, al was het maar omdat een onafhankelijk oordeel over de daadwerkelijke kwaliteiten wordt nagestreefd. Dat betreft meestal de gebruikskwaliteiten: nut, doelmatigheid, comfort en veiligheid, tegen de achtergrond van kosten, beschikbaarheid, bedrijfszekerheid, technische levensduur e.d. In zekere zin vindt een analyse plaats van een nut-quotiënt, zoals behandeld in 20.3 ‘Nut van gebruiksgoederen’.

Hoe, door wie, waartoe te beoordelen

De genoemde beoordelingen kunnen op vele wijzen worden uitgevoerd. Het kunnen schriftelijke enquêtes zijn, of mondelinge interviews, of observaties van gebruikers tijdens gebruik. Meestal gaat het echter om laboratoriumproeven met fysische en technische metingen: duurproeven in opstellingen waarbij bijvoorbeeld de ijskastdeur duizenden malen wordt geopend en gesloten; of de meting van de resolutie van een TV-scherm. Er worden ook wel geobjectiveerde analyses van hanteerbaarheid, vervoerbaarheid en dergelijke uitgevoerd.

Hier kan volstaan worden met twee algemene conclusies:

- Productontwerpers, en zeker de ergonomisch goed onderlegde, zijn zeer geschikt voor het professioneel en dus systematisch en objectief, beoordelen van gebruiksgoederen.
- Gebruikers en de voor of namens hen werkende instanties, geven het laatste en beslissende oordeel over de kwaliteiten van een productontwerp.

22.4 Het ontwerpen voor gehandicapten en andere bijzondere gebruikersgroepen

Nieuwere en bredere gebruikersgroepen

Bij het ontwerpen van gebruiksgoederen hoort een keuze van een gebruikersgroep en deze keuze is afhankelijk van vele factoren. Twee daarvan worden hier genoemd. Ten eerste worden er ontwerpopdrachten gegeven, waarbij de opdrachtgever een bepaalde doelgroep op het oog heeft. Ten tweede is er de werking van het markt-mechanisme van vraag en aanbod. In het kader van dit boek, waar mens-product interactie tegen een bredere achtergrond wordt gezet, waar er af en toe naar trends in de technocultuur wordt verwezen (2.1 ‘Historie van technocultuur’) en er ‘waarom-vragen’ worden gesteld over gebruiksgoed, voldoen die verklaringen vanuit opdracht en markt niet geheel. Zo is er al eerder (4.2 ‘De zeven ergonomische ontwerptypen’) op gewezen dat er bij de aard en verbreiding van gebruiksgoederen waarschijnlijk zeer veel rekening wordt gehouden met de jongvolwassen, gezonde man met redelijk technisch inzicht; althans méér dan men op

grond van pure aantallen en vitale behoeften zou verwachten. Er werd daarbij zelfs gewezen op het 'ego-type' van ontwerpen, waarbij de ontwerper er ten onrechte en onbewust, van uit gaat dat al zijn productgebruikers net zo zijn als hijzelf. Tegelijkertijd valt er te constateren dat de ontwikkeling van duurzaam gebruiksgoed doorgaat met diversificeren: grotere aantallen en meer verschillende, menselijke verlengstukken voor meer uiteenlopende gebruikssituaties en voor nieuwere of bredere gebruikersgroepen. De voortgang in onder meer de massa- en seriefabricage en in vervoer en opslag maakt het in zekere zin mogelijk dat groepen, die eerder relatief minder werden voorzien, nu meer aan de beurt komen. Ook wat dat betreft is het productontwerpen pas net begonnen!

Tekortkomende gebruikersgroepen

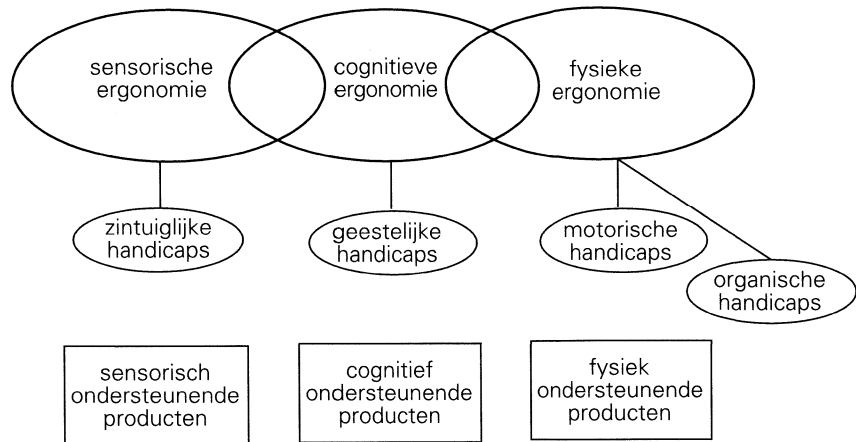
Er zijn, vooral in historische terugblik, menselijke functies en leefsituaties te onderscheiden, waar de technische inventiviteit tot dan niet werkelijk op gericht werd. Evenzo zijn er gebruikersgroepen te vinden die nog weinig ontdekt zijn. Voor de huishoudelijke taken van werkende ouders of voor vreemdtalige toeristen valt bijvoorbeeld nog veel te ontwerpen. Dat geldt eveneens voor gehandicapten en ouderen. Dit kan zowel worden beredeneerd uit principes van sociale rechtvaardigheid en gelijke verdeling, alswel uit algemene lijnen die zich in de technoculturele ontwikkeling aftekenen en waardoor ook sociale en economische processen worden beïnvloed.

Productontwikkeling voor gehandicapten

Gehandicapten vormen een substantieel deel van elke nationale bevolking. De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) heeft vastgelegd dat het bij handicaps niet alleen gaat om een stoornis of gebrek in lichamelijke of geestelijke functies, maar tevens om de hinder die deze veroorzaken in het alledaags functioneren. Daardoor is de sociale omgeving en het geheel van voorzieningen mede debet aan het voortduren van een handicap. Voor sommige groepen wordt niet een hulpmiddel ontworpen en die blijven dus vooralsnog een gebrek en hinder houden. Indien er geen leesbrillen zouden zijn, zouden bijna alle personen boven de 50 jaar, miljoenen mensen dus alleen al in Nederland, visueel gehandicapt zijn.

Technische hulpmiddelen, ter compensatie van onvolkomen dagelijks en sociaal functioneren en wel door vervanging of ondersteuning van biologische functies (orthesen en prothesen), zijn dus van groot belang. Er zit enige waarheid in de uitspraak: "gehandicapt is diegene, voor wie niet (goed) is ontworpen". De relatie met productontwerpen blijkt ook uit de gebruikelijke indeling van handicaps: motorisch, zintuiglijk en geestelijk, overeenkomend met de fysieke, sensorische en cognitieve indeling in de ergonomie, annex de categoriën van fysiek, sensorisch en cognitief ondersteunende producten.

Daarnaast worden apart onderscheiden organische handicaps, die betrekking hebben op gebrekkig fysiek uithoudingsvermogen, en dubbele handicaps waarbij zowel van lichamelijke als geestelijke functionele hinder sprake is.



Figuur 22.5 Typen handicaps en ergonomie-onderdelen.

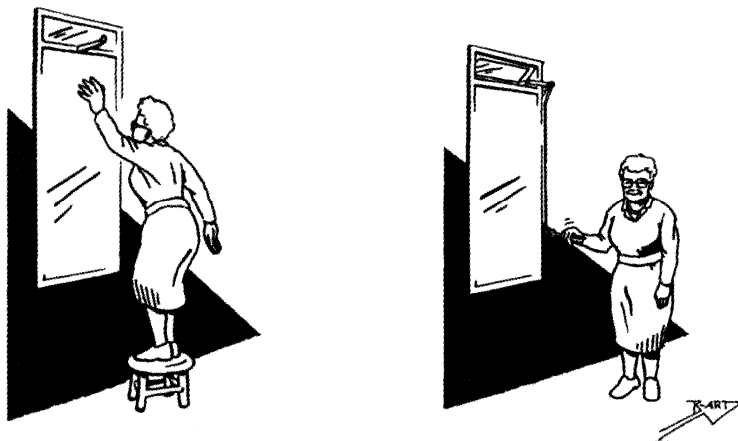
Kenmerkend voor het ontwerp van orthesen en prothesen, is in de eerste plaats de grote gebruiksafhankelijkheid van het hulpmiddel. De interactie tussen mens en product is gewoonlijk intensief en vaak continu. Technische stoornissen en wachttijden bij verkrijgen of voor repareren zijn bijzonder ongewenst. Een tweede belangrijk kenmerk is de combinatie van een kleinere seriegrootte per product en een grotere inter-individuele variantie. Er zijn weliswaar hulpmiddelen die in massa kunnen worden vervaardigd voor een bepaalde gehandicapten-markt (brillen, gehoorapparaten, rolstoelen), maar ook dan is individuele aanpassing en instelling meestal noodzakelijk (bril: slijpformule van brilglas; gehoorapparaat: in- of verstellen van geluidssterkte-regeling en eventueel gehoorspectrale nuancering; rolstoel: maatpassing van zit- en rugvlak). In veel gevallen zijn er echter slechts kleine series van producten nodig en zeer vaak gaat het om enkelstuks producten, of om maatwerk of semi-maatwerk waar niet eens altijd standaardonderdelen kunnen worden gebruikt. Productontwerpen voor gehandicapten (Dirken e.a., 1997) vergt daarom niet alleen medische kennis, onder meer van revalidatie-kunde en biomechanica, maar ook een groter gebruik van productergonomische inzichten, methoden en onderzoek.

Gerontechnologisch ontwerpen

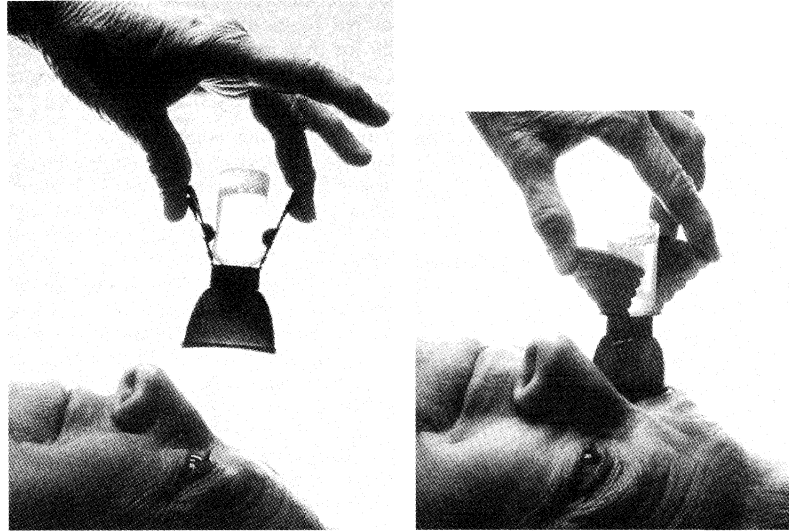
Oudere productgebruikers behoeven in zeer veel, waarschijnlijk de meeste, gevallen van productontwerp niet als een afzonderlijke gebruikersgroep te worden gerekend. Immers de meesten ouderen tussen 60 en 80 jaar zijn nog steeds vitaal en zelfstandig. Er zijn echter twee belangrijke ontwerpoverwegingen. De eerste is dat de ouderen behoren tot een generatie die is opgegroeid met andere alledaagse gebruiksgoederen; dat zij er vaak andere gewoonten en visies op nahouden (andere subjectieve productbeelden) en dat zij bovendien minder gemotiveerd zijn tot het bijhouden van alle innovaties in gebruiksgoederen. De tweede overweging is dat diverse capaciteiten die van belang zijn voor interactie met producten, een lichte neergang vertonen, ook bij het gezond ouder worden. Op motorisch gebied zijn als

voorbeelden te noemen de spierkracht en de handvastheid; sensorisch de verkleining van het vensteroppervlak (11.2) en van de resolutie; als cognitief voorbeeld de teruggang van het kortgeheugen en van verschillende leermogelijkheden. Men zou kunnen zeggen dat de ouderen naar de lagere percentielen schuiven in de populatie-normaalverdeling van de gebruikerskenmerken. Daarmee zijn indirect twee dingen aangeduid. Ouderen vormen in de meeste kenmerken niet een aparte populatie en veel jongeren delen met hen de lagere percentielwaarden. Zodoende wordt het duidelijk dat het ontwerpen van een product voor ouderen tegelijkertijd resulteert in een grotere geschiktheid van dat product voor belangrijke percentages van jongere gebruikers. Wat men soms ziet is dat de lichtere of meer comfortabele oplossing die bedacht is voor ouderen, eigenlijk voor iedere gebruiker een verbetering betekent. 'Ontwerpen voor ouderen' als aanleiding of excuus voor algehele productverbetering: 'Design for all'!

Het in alle westerse landen groeiende bevolkingsaandeel van 'zestigplussers', hun koopkracht en deelname aan de samenleving, leiden ertoe dat steeds vaker bij productontwerpen ook rekening wordt gehouden met de generatieverschillen en de typische, verminderde capaciteiten van ouderen. Producten alleen bedoeld voor ouderen en ook nog als zodanig herkenbaar, blijken vaak weinig succesvol. Ze worden dan gezien als stigmatiserend. De Abraham-fiets werd niet aanvaard; de snorfiets, die ook in gebruik is bij jongeren, werd wel aanvaard. Ook hier geldt, zij het minder stringent dan bij ontwerpen voor gehandicapten, dat extra aandacht voor de typische aspecten van senior-product interactie nodig is. Het productergonomisch onderzoek voor ouderen (soms 'gerontechnologisch onderzoek' genoemd) is echter nog nauwelijks van de grond gekomen, dus er is weinig literatuur over te vinden. Het alternatief is derhalve nog vaker zelf ergonomisch ontwerponderzoek, gebruiksobservaties enzovoort te doen dan al aangeraden was voor gewone ontwerpomstandigheden. Recent is een nationale studie verschenen naar de ontwerp-relevante kenmerken van oudere consumenten (Steenbekkers en Van Beijsterveldt, 1998). In de tweede helft van die studie worden er voor product-



Figuur 22.6 Jong geleerd, oud - met moeite - gedaan (Molenbroek, 1987).



Figuur 22.7 Houder voor oogdruppelfles, ontworpen voor trillende handen van ouderen, maar ook beter voor jongeren (Moggridge, 1993).

ontwikkelaars overzichten van de mensenmerken gegeven; statistische technieken, toepassingsvoorbeelden, suggesties en ontwerprichtlijnen komen daarbij ook overzichtelijk aan bod (Dirken en Steenbeekers, 1998).

Besluit

Evenmin als men kan spreken van ontwerpen voor 'de' gehandicapte, 'de' zieke of 'de' oudere, kan men beweren voor 'de' volwassen man of vrouw, of voor 'het' kind te kunnen ontwerpen. Gebruiksgoederen zijn verlengstukken van individuen in bepaalde situaties. Als er iets in dit studieboek benadrukt is, is het wel de verscheidenheid van gebruikers: de inter- en intra-individuele varianties in mogelijkheden, gewoonten en behoeften. Daartoe is nog veel onderzoek nodig, niet alleen voor het verkrijgen van algemene inzichten en richtlijnen, maar ook bedoeld: het inlassen van ontwerpergonomisch onderzoek bij de specifieke productontwikkeling. Het ontwerpen voor gebruikers kan echter ook nu al verantwoord geschieden. Er is een tendens naar nog nuttiger producten voor nog meer leefsituaties. De groeiende inzichten en ontwerpregels uit de productergonomie kunnen dat proces in belangrijke mate inspireren en ondersteunen.



Figuur 22.8 Verscheidenheid van gebruikers verdraagt geen 'hokjes-denken' (de Kort, 1993).

Begrippen

Innovatie:

- k2 ontwikkelingen van technocultuur
- i1 katalysatoren van innovatie-stromen
- i1 heersende denkebeelden
- k2 technology-push versus market-pull
- i1 onvoorspelbaarheid van aard en invloed van innovaties
- k2 technologisch verkennen en scenario's
- k2 criteria voor innovatie
- k2 innovatieve aspecten van product en toepassing
- k1 ontwerpruimte
- i1 product-antropologische houding van ontwerpers
- i2 verschil en prioriteit bij doelen voor productontwikkeling

Ontwerpproces:

- k1 ontwerpmethodologie
- k1 probleem-oriëntatie en analyse
- k1 productvisie en programma van eisen
- k1 genereren, toetsen, selecteren van concepten
- k1 detailleren van concept
- k1 toetsing van eindontwerp

Ergonomische productbeoordeling:

- i1 invloed van consumenten-tevredenheid
- k2 situaties en instanties van vakkundige productbeoordeling
- i1 aan gebruikers het laatste oordeel

Ontwerpen voor bijzondere gebruikersgroepen:

- i1 tekortkomende groepen en situaties
- k1 begrip gehandicapte
- k2 soorten van handicap
- i1 kenmerken van gebruiksgoed voor gehandicapten
- k2 gerontechnologisch ontwerpen
- i1 generatieverschillen
- k2 vermindering van interactieve capaciteiten
- i2 verschuiving naar lagere percentielen
- k2 stigmatisering

Vragen en suggesties

- 22.1. Zet voor jezelf eens op een rijtje welke factoren productinnovatie in een stroomversnelling brengen.
- 22.2. De meeste gebruiksgoederen voor het jaar 2025 moeten nog uitgevonden en ontworpen worden. Durft u te speculeren over enkele trends in de productinnovatie tot dan?
- 22.3. Probeer voorbeelden op te sporen van productinnovaties, waarbij de aanvaarde vernieuwing voornamelijk bestond uit één aspect, bijvoorbeeld alleen vervaardiging, of materiaal, intern onderdeel, vormgeving, gebruikersgroep, gebruikssituatie, gebruiksnut, -doelmatigheid, -comfort, -veiligheid, herkenbaarheid of leerbaarheid.
- 22.4. Welke heersende denkbeelden zouden, achteraf gezien, in deze tijd een belangrijke sturing aan productinnovaties geven?
- 22.5. Waarom zijn innovaties slechts beperkt voorspelbaar?
- 22.6. Een product-antropologische houding van een productontwerper wordt ontwikkeld door product-ergonomisch inzicht en gevoel, maar ook door langdurige ontwerpervaring. Trek de parallel met vormleer en vormgeving.
- 22.7. Kunnen in een ontwerpproces de vele en vroege vragen over mens-product interactie de goede en creatieve voortgang hinderen?
- 22.8. Vergelijk de in dit boek genoemde productkwaliteiten met de beoordelingscriteria van vakkundige beoordelaars, zoals in consumentengidsen.
- 22.9. Bedenk van een bestaand product een aantal mogelijkheden tot innovaties, door in verschillende richtingen van de ontwerpruimte te kijken.
- 22.10. Kijk eens met een productergonomische bril naar een aantal ontwerpen om u heen. Waar zouden ze kunnen worden verbeterd?
- 22.11. Som in het kort de te nemen stappen in een ontwerpproces op. Komt dit overeen met de theorie in dit boek?

- 22.12. Scat in of, en zo ja hoe, het studeren van dit boek bij u geleid heeft tot het anders beoordelen van producten.
- 22.13. Overweeg het nut van een productvisie voor het programma van eisen.
- 22.14. Welke veranderingen treden er op in de aard van de ergonomische vragen en antwoorden bij het verloop van het ontwerpproces, in de zin van kwalitatief en kwantitatief, globaal en specifiek?
- 22.15. Beschrijf globaal de inbreng van de ergonomie in de diverse fasen van het ontwerpproces van respectievelijk een barbecue, een WC-bril, een camcorder en een waterpomptang.
- 22.16. Neem een nummer van de Consumentengids en analyseer bij een gepubliceerd warenonderzoek op welke groepen van aspecten een groep gebruiksartikelen wordt beoordeeld.
- 22.17. Bedenk een product dat is geflopt omdat de consumenten er ontevreden over waren.
- 22.18. Noem minstens drie groepen van gebruikers, voor wie nog te weinig producten worden ontwikkeld. Wat zouden de redenen kunnen zijn?
- 22.19. Maak een tabel van dominante factoren en thema's volgens de gebruikelijke indeling van handicaps en de overeenkomende gebieden in de ergonomie.
- 22.20. Welke factoren, denkt u, bepalen dat een product voor gehandicapten of ouderen als stigmatiserend wordt ervaren?
- 22.21. Wat zijn twee belangrijke ontwerpoverwegingen voor productontwerpen voor ouderen? Bedenk een nieuw product-concept voor uw ouders of grootouders, gebaseerd op deze inzichten.
- 22.22. Herlees nog eens het eerste hoofdstuk van dit studieboek, om de plaats van de product- en systeemergonomie in de toegepaste wetenschappen en haar verband met industrieel ontwerpen beter te begrijpen.

z-tabel

LINKSE KANSEN VAN DE STANDAARDNORMAAL VERDEELDE GROOTHEID T

$T = \frac{x-\mu}{\sigma}$	$P_L(T)$										$T = \frac{x-\mu}{\sigma}$	
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09		
0,0	0,5000	0,4960	0,4920	0,4880	0,4840	0,4801	0,4761	0,4721	0,4681	0,4641	—	0,0
+	0,5000	0,5040	0,5090	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359	—	+
0,1	0,4602	0,4562	0,4522	0,4483	0,4443	0,4404	0,4364	0,4325	0,4286	0,4247	—	0,1
+	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753	—	+
0,2	0,4207	0,4168	0,4129	0,4090	0,4052	0,4013	0,3974	0,3936	0,3897	0,3859	—	0,2
+	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141	—	+
0,3	0,3821	0,3783	0,3745	0,3707	0,3669	0,3632	0,3594	0,3557	0,3520	0,3483	—	0,3
+	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517	—	+
0,4	0,3446	0,3409	0,3372	0,3336	0,3300	0,3264	0,3228	0,3192	0,3156	0,3121	—	0,4
+	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879	—	+
0,5	0,3085	0,3050	0,3015	0,2981	0,2946	0,2912	0,2877	0,2843	0,2810	0,2776	—	0,5
+	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224	—	+
0,6	0,2743	0,2709	0,2676	0,2643	0,2611	0,2578	0,2546	0,2514	0,2483	0,2451	—	0,6
+	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549	—	+
0,7	0,2420	0,2389	0,2358	0,2327	0,2296	0,2266	0,2236	0,2206	0,2177	0,2148	—	0,7
+	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852	—	+
0,8	0,2119	0,2090	0,2061	0,2033	0,2005	0,1977	0,1949	0,1922	0,1894	0,1867	—	0,8
+	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133	—	+
0,9	0,1841	0,1814	0,1788	0,1762	0,1736	0,1711	0,1685	0,1660	0,1635	0,1611	—	0,9
+	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389	—	+
1,0	0,1587	0,1562	0,1539	0,1515	0,1492	0,1469	0,1446	0,1423	0,1401	0,1379	—	1,0
+	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621	—	+
1,1	0,1357	0,1335	0,1314	0,1292	0,1271	0,1251	0,1230	0,1210	0,1190	0,1170	—	1,1
+	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830	—	+
1,2	0,1151	0,1131	0,1112	0,1093	0,1075	0,1056	0,1038	0,1020	0,1003	0,0985	—	1,2
+	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015	—	+
1,3	0,0968	0,0951	0,0934	0,0918	0,0901	0,0885	0,0869	0,0853	0,0838	0,0823	—	1,3
+	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177	—	+
1,4	0,0808	0,0793	0,0778	0,0764	0,0749	0,0735	0,0721	0,0708	0,0694	0,0681	—	1,4
+	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319	—	+
1,5	0,0668	0,0655	0,0643	0,0630	0,0618	0,0606	0,0594	0,0582	0,0571	0,0559	—	1,5
+	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441	—	+
1,6	0,0548	0,0537	0,0528	0,0516	0,0505	0,0495	0,0485	0,0475	0,0465	0,0455	—	1,6
+	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545	—	+
1,7	0,0446	0,0436	0,0427	0,0418	0,0409	0,0401	0,0392	0,0384	0,0375	0,0367	—	1,7
+	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633	—	+
1,8	0,0359	0,0351	0,0344	0,0338	0,0332	0,0326	0,0320	0,0314	0,0307	0,0301	—	1,8
+	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706	—	+
1,9	0,0287	0,0281	0,0274	0,0268	0,0262	0,0256	0,0250	0,0244	0,0239	0,0233	—	1,9
+	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767	—	+
2,0	0,0228	0,0222	0,0217	0,0212	0,0207	0,0202	0,0197	0,0192	0,0188	0,0183	—	2,0
+	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817	—	+
2,1	0,0179	0,0174	0,0170	0,0166	0,0162	0,0158	0,0154	0,0150	0,0146	0,0143	—	2,1
+	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857	—	+
2,2	0,0139	0,0136	0,0132	0,0129	0,0125	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110	—	2,2
+	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890	—	+
2,3	0,0107	0,0104	0,0102	0,0099	0,0096	0,0094	0,0091	0,0089	0,0087	0,0084	—	2,3
+	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916	—	+
2,4	0,0082	0,0080	0,0078	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0068	0,0066	0,0064	—	2,4
+	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936	—	+
2,5	0,00621	0,00604	0,00587	0,00570	0,00554	0,00539	0,00523	0,00508	0,00494	0,00480	—	2,5
+	0,99379	0,99396	0,99413	0,99430	0,99446	0,99461	0,99477	0,99492	0,99506	0,99520	—	+
2,6	0,00466	0,00453	0,00440	0,00427	0,00415	0,00402	0,00391	0,00379	0,00368	0,00357	—	2,6
+	0,99534	0,99547	0,99560	0,99573	0,99585	0,99598	0,99609	0,99621	0,99632	0,99643	—	+
2,7	0,00347	0,00336	0,00326	0,00317	0,00307	0,00298	0,00289	0,00280	0,00272	0,00264	—	2,7
+	0,99653	0,99664	0,99674	0,99683	0,99693	0,99702	0,99711	0,99720	0,99728	0,99736	—	+
2,8	0,00256	0,00248	0,00240	0,00233	0,00226	0,00219	0,00212	0,00205	0,00199	0,00193	—	2,8
+	0,99744	0,99752	0,99760	0,99767	0,99774	0,99781	0,99788	0,99795	0,99801	0,99807	—	+
2,9	0,00187	0,00181	0,00175	0,00169	0,00164	0,00159	0,00154	0,00149	0,00144	0,00139	—	2,9
+	0,99813	0,99819	0,99825	0,99831	0,99836	0,99841	0,99846	0,99851	0,99856	0,99861	—	+

Voorbeeld: $T = -4$, $P_L(-4) = 0,0000317$; $T = +4$, $P_L(+4) = 0,9999683$.

Literatuurlijst

- Åkerblom, B., 1969. Anatomische und physiologische Grundlagen zur Gestaltung von Sitzen. In: *Sitting posture*, p. 6-17. Edited by E. Grandjean. London: Taylor & Francis.
- Amory, C., 1902. *The 1902 edition of the Sears Roebuck catalogue*. Heruitgave 1969. New York: Bounty Books.
- Åstrand, P.O. and K. Rodahl, 1977. *Textbook of work physiology*. New York etc.: McGraw-Hill.
- Baker, C.A., and Grether, W.F., 1954. *Visual presentation of information*. Ohio, U.S.A.: Wright-Patterson Air Force Base.
- Barber, J.L. and Garner, W.R., 1951. *The effect of scale numbering on scale-reading accuracy and speed*. *Journal of Experimental Psychology*, 41, 298-309.
- Barnes, R.M., 1963. *Motion and time study*, 5th ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Baudet, H., 1986. *Een vertrouwde wereld*. Uitgeverij Bert Bakker, Amsterdam.
- Berlin, B. and Kay, F., 1969. *Basic Color Terms. Their universality and evolution*. Berkeley: University of California Press.
- Bernstein, N.A., 1967. *The coordination and regulation of movements*. London: Pergamon.
- Bijman, R., 1991. *Graphic Information Management System*. Delft: Delft University of Technology, Faculty of Industrial Design Engineering.
- Bonjer, F.H., 1965. *Fysiologische methoden voor het vaststellen van belasting en belastbaarheid*. Rapport CARGO-TNO. Assen: Van Gorcum.
- Branton, P. Grayson, G., 1967. *An evaluation of train seats by observation of sitting behaviour*. *Ergonomics*, 35-51.
- Braunfels, S., G. Glowatski, K. Herzog, F. Hiller, H.W. Jürgens, H.W. Müller, E. Röhm, H. Ruelius, C. Pieske, A. Schinz und U. Unschuld, 1973. *Der 'vermessene' Mensch*. München: Heinz Moos Verlag.
- Bridger, R.S., 1995. *Introduction to Ergonomics*. New York etc.: McGraw-Hill International Editions, General Engineering Series.
- Brinkman, H.J., Drukker, J.W., Slot, B., 1987. *Height and income: A new method for estimation of historical national income series*. In : Ark, Buan et al. (eds.) *Economic Growth in Northwestern Europe: the last 400 years*, Research Memorandum M214, Institute of Economic Research, Faculty of Economics, University of Groningen.
- British Orthopaedic Association, The, 1966. *Joint motion: method of measuring and recording*. Prepared and submitted by C.V. Heck, I.E. Hendryson, and C.R. Rowe. Edinburgh: Churchill Livingstone. First published by American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1965.
- Browdy, E., 1979. *The book of Looms*. London: Studio Vista.
- Burandt, U., 1978. *Grundlagen des Sitzens*. Bad Münden: Wilkhahn.
- Carlsöö, S. *How man moves*. Kinesiological Methods and Studies. Heinemann, 1972.
- Chalmers, E.L., Goldstein, M. and Kappauf, W.E., 1950. *The effects of illumination on dial reading*. AF-TR-6021. Ohio: Wright-Patterson Air Force Base.
- Chambers, R.M., 1963. Operator performance in acceleration environment. In: N.M.

- Burns, R.M. Chambers and E. Hendler (eds.). Unusual environments and human behaviour, The Free Press, New York, pp. 193-320.
- Cordon, M., 1992. *The greatest challenge: Understanding how the Brain works*. Rehovot 11 (2).
- Christensen, E.H., 1953. Physiological evaluation of work in the Nykroppa iron works. In: *Ergonomics Society Symposium on Fatigue*, pp. 93 - 108. Edited by W.F. Floyd & A.T. Welford. London.
- Cruijff-Arts, W.C.M., J.M. Dirken, J.J. Houtkamp en G.H.M. Nielanders, 1983. *Blindelings bruikbaar*; controlelijst van de bruikbaarheid voor blinden en slechtzienden van huishoudelijke gebruiksvoorwerpen en apparaten. Ed. Ned. Ver. Blinden en slechtzienden, Arnhem.
- Daams, B.J., 1994. *Human force exertion in user-product interaction*. Physical Ergonomics Series no. 2. Delft: Delft University Press.
- Daanen, H.A.M., 1995. 3D-Oppervlakte Antropometrie, Nederl. Milit. Geneesk. Tijdschr. 48, pp. 157-188.
- Damon, A., Stoudt, H.W. and McFarland, R.A., 1966. *The Human Body in Equipment Design*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Davis, R., 1998. *What are intelligence? and why?*, Presid. address Am. Assoc. for Artificial Intelligence. Spring 1998 (91-110)
- Dempster, W.T., 1955. *Space requirements of the seated operator; geometrical, kinematic, and mechanical aspects of the body with special reference to the limbs*. Technical Report WADC-TR-55-159. Wright Air Development Centre. Ohio: Wright-Patterson Air Force Base.
- Diffrient, N., Tilley, A.R. and Harman, D., 1974. *Humanscale* deel 1, 2 en 3. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Diffrient, N., Tilley, A.R. and Harman, D., 1981. *Humanscale* deel 4, 5 en 6. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Diffrient, N., Tilley, A.R. and Bardagjy, J.C., 1974. *Humanscale* deel 7, 8 en 9. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Dirken, J.M., 1972. *Functional age of industrial workers*. Groningen: Wolters-Noordhoff.
- Dirken, J.M. et al., 1972. *De ontwikkeling van puntenalfabetten*. Ed. Tussenafd. Industriële Vormgeving, Technische Hogeschool Delft.
- Dirken, J.M., Goossens, R.H.M., Snijders, C.J. *Medisign*. Medische Technologie aan de Faculteit van het Industrieel Ontwerpen. April, 1997.
- Dirken, J.M. and Steenbekkers, L.P.A., 1998. *Project data and design applicability (257-433)*. In: Steenbekkers, L.P.A. and Van Beijsterveldt, C.E.M. van (eds.): *Design-relevant characteristics of ageing users*. Delft, Delft University Press.
- Droste, M., 1990. *Bauhaus 1919-1933*. Bauhaus-Archiv Museum für Gestaltung Bern, Benedikt Taschen.
- Drury, C.G., 1980. Handles for manual materials handling. *Applied Ergonomics* 11(1). 35-42.
- Ducharme, R., 1977. Women workers rate 'male' tools inadequate. *Human Factors Society Bulletin*, 20(4), 1-2.
- Elkin, E.H., 1959. *Effect of scale shape, exposure time and display complexity on scale reading efficiency*. WADC-TR 58-472. Wright Air Development Centre. Ohio: Wright-Patterson Air Force Base, USAF.
- Emanuel, J., Mills, S. and Bennett, J., 1980. In search of a better handle. Proceeding of the Symposium: Human Factors and Industrial Design in Consumer Products. Medford, MA: Tufts University.

- Forty, A., 1992. *Objects of Desire, Design and Society since 1750*. New York: Thames and Hudson.
- Fraser, T., 1980. *Ergonomic principles in the design of hand tools*. Occupational Safety and Health Series, no. 44. Geneva: International Labour Office.
- Fiell, Ch and Fiell, P. 1997. *1000 chairs*. Köln Benedikt Taschen Verlag.
- Gage, J. 1993. *Color and culture*. Little Brown & Co, Boston.
- Garrett, J.W. and Kennedy, J.W., 1971. *A collation of anthropometry*. Nat. Techn. Service 5285. Volume 1 & 2. Springfield, U.S.A.
- Gibson, J.J., 1979. *The ecological approach to visual perception*, Boston.
- Giedion, S., 1948. *Mechanization takes command*. New York: Oxford University Press.
- Gies, H.J. et al., 1997. *Praktijkids Arbeidsveiligheid*. Alphen a/d Rijn: Samson Bedrijfsinformatie.
- Goossens, R.H.M., 1994. *Biomechanics of body support*. Thesis. Erasmus University of Rotterdam, Rotterdam.
- Gordon, E.E., 1957. The use of energy costs in regulating, physical activity in chronic disease. *A.M.A. Archives of Industrial Health*, 16,437-41.
- Grandjean, E. (ed.), 1969. *Sitting posture, Sitzhaltung, Posture Assise*. London: Taylor & Francis Ltd..
- Grauls, M. 1993. *Uitvinders van het dagelijks leven (2 delen)* CODA, Antwerpen.
- Green, R.G. et al. 1991. *Humanfactors for pilots*. Ashgate, Aldershot.
- Harrison, P., 1992. *Longman Physics Handbook*, Longman York Press, Beirut.
- Hamer, H. and Critchley, H., 1967. *Dial study of simulated speedometers* (unpublished). Lafayette, Indiana: Department of Psychology, Purdue University.
- Hauspie, R.C., Vercauteren, M. 1998. *Seculaire groeiverschuivingen in internationaal perspectief*. In: J.M. Wit (Ed.) *De vierde landelijke groeistudie*. Presentatie van nieuwe groeidiagrammen. Bureau Boerhaave Commissie, Rijksuniversiteit Leiden.
- Hebb, D.O., 1949. *The organization of behavior; a neuropsychological theory*. Wiley & Sons, New York.
- Hertzberg, H.T.E., Daniels, G.S. en Churchill, E., 1954. *Anthropometry of flying personnel – 1950*. WADC-TR-52-321. Ohio, Wright-Patterson Air Force Base.
- Heskett, J, 1989. *Industriële vormgeving*. Nijmegen, SUN.
- Hoekstra, P.N., 1993. *ADAPS-Manual*. Delft: Faculteit Industrieel Ontwerpen, Technische Universiteit Delft.
- Houy, D., 1983. Ranges of joint movement in college males. In: *Proceedings of the 27th Human Factors Society Annual Meeting*. Santa Monica, CA: Human Factors Society, 575-579.
- Hrdy, S.B., 1990. Sex bias in Nature and History: A Late 1980's Reexamination of the 'Biological Origins' Argument. *Yearbook of Physical Anthropology*. 33, 25-37.
- Imrhan, S.N., en Ayoub, M.M., 1990. *The arm configuration at the point of peak dynamic pull strength*. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 6, 9-15.
- Industriebond FNV, 1979. *Trillen en schokken tijdens je werk*. Amsterdam: Stichting Arbeid & Gezondheid.
- Jenner, R.D., Kaufman, H. und Schäfer, D., 1978. *Arbeitshilfen für die ergonomische Arbeitsplatzgestaltung*. Zeichenschablonen für die menschlichen Gestalt. Stuttgart: Bosch Industrie-ausrüstung.
- Kahle, W., Leonhardt, H. and Platzer, W., 1987. *Sesam atlas van de anatomie*, Bosch & Keuning NV, Baarn.
- Kort, H. de, 1993. In: *Hefaiistos* 1(6), 6 juni.
- Kretschmer, E., 1940. *Körperbau und Charakter. Untersuchungen zum Konstitutions*

- Problem und zur Lehre von den Temperamenten*. 13e und 14e verbesserte und vermehrte Auflage. Berlin: Springer.
- Kroemer, K.H.E., Kroemer, H.B., Kroemer-Elbert, K.E., 1994. *Ergonomics: How to design for ease and efficiency*. Prentice-Hall, New Jersey.
- Kurke, M.I., 1956. *Evaluation of a display incorporating quantitative and check-reading characteristics*. *Journal of Applied Psychology*, 40, 233-236.
- Lange, W., 1991. *Kleine Ergonomische Datensammlung*. Verlag TUV Rheinland.
- Lawlor, R., 1982. *Sacred geometry*. London: Thames and Hudson Ltd.
- Lazet, A., 1955. *Ontwerp van standaardletters en cijfers*. Rapport no. WW 1955-13. Soesterberg: Instituut voor zintuigfysiologie RVO-TNO.
- Lazet, A., 1967. *Gids voor technische menskunde*. Assen: Standaard wetenschappelijke uitgeverij, van Gorcum.
- Lohman, A.H.M., 1976. *Vorm en beweging. Leerboek van het bewegingsapparaat van de mens*. Bohn, Scheltema en Holkema. Utrecht.
- Lombaers, J., 1990. *Ontworpen voor gebruik*. Delft: Delftse Universitaire Pers.
- Lowman, E.W. and Lannefeld Klinger, J., 1969. *Aids to the independent living*. New York: McGraw-Hill Inc.
- Martin, R. en Saller, K., 1957. *Lehrbuch der Anthropologie, in systematischer Darstellung mit besonderer Berücksichtigung der Anthropologischen Methoden*. Band 1. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.
- Maslow, A.H., 1954. *Motivation and personality*. Harper, New York.
- McClelland, I.L. and Thompson, D., 1976. *Ergonomic data for evaluation and specification of operating devices on components for use by schoolchildren*. Loughborough: Institute for Consumer Ergonomics, University of Technology.
- McCormick, E.J., 1976. *Human Factors in Engineering and Design*. New York: McGraw-Hill Inc.
- McMahon, T.A. and Bonner, J.T. 1987. *De maat van het leven*. Maastricht: Natuur en Techniek.
- Miller, J.G., 1978. *Living Systems*. McGraw Hill.
- Moes, C.C.M., 1994. Ongepubliceerde data. TU Delft, Faculteit Industrieel Ontwerpen.
- Moggridge, B., 1993. Design by story-telling. *Applied Ergonomics*, 24 (1).
- Molenbroek, J.F.M., 1987. Anthropometry of elderly people in the Netherlands; research and applications. *Applied Ergonomics* 18 (3), 187-199.
- Molenbroek, J.F.M., Dirken, J.M., 1986. *DINED-tabel, afmetingen van volwassen Nederlanders geschat op basis van DIN 33402*. Delft: Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TH Delft.
- Molenbroek, J.F.M., Houtkamp, J.J., Burger, A.K.C., 1984. *Bejaarden antropometrie*. Serie Bijzondere Onderwerpen deel 6, 3e druk, Delft: Faculteit Industrieel Ontwerpen.
- Molenbroek, J.F.M., 1994. *Op maat gemaakt*. Delftse Universitaire Pers
- Mossink, J.C.M. et al., 1992. *Ontwerpen van arbeidssituaties*. Den Haag: SDU uitgeverij.
- Murrell, K.F.H., 1965. In: *Human performance in industry*, p. 376. New York: Reinhold publ. Corp.
- Newell, A. 1990. *Unified theories of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- NIOSH, 1981. *Work practices guide for the design of manual handling tasks*. USA, National Institute of Occupational Safety and Health.
- Norman, D., 1988. *Dictatuur van het design*. Utrecht: Bruna uitgevers BV.
- Peereboom, K.J. (ed.), 1996. *Handboek fysieke belasting*. Den Haag: SDU.

- Peters, G.A. en Adams, B.B., 1959. These 3 criteria for readable panel markings. *Product Engineering* 30, 55-57.
- Petroski, H., 1992. *The evolution of useful things*. Vintage Books, New York.
- Plaisier, B., 1985. *Geluidarm ontwerpen van huishoudelijke toestellen – een ontwerphandleiding*. Serie Bijzondere Onderwerpen deel 12. Delft: Afdeling van het Industrieel Ontwerpen, TH Delft.
- Quetelet, A.D., 1871. *Anthropométrie ou Mesure des Differentes Facultés de l'Homme*. Bruxelles: C. Musquart, et Paris: J. Baillière & Fils.
- Rioux, M. and Bruckart, J., 1995. Data Collection. In: K.M. Robinette, M.W. Vannier, M. Rioux and P.R.M. Jones (eds) *3-D Surface Anthropometry: Review of Technology*, Draft Report, AGARD.
- Roebuck, J.A., Kroemer, K.H.E. en Thomson, W.G., 1975. *Engineering anthropometry methods*. London: Wiley.
- Roozenburg, N.F.M. en Eekels, J., 1991. *Produktontwerpen, structuur en methoden*. Utrecht: Lemma.
- Russe, O.A., and Gerhardt, I.I., 1975. *International SFTR Method of Measuring and Recording Joint Motion*. International Standard Orthopaedic Measurements. Bern: Hans Huber Publishers.
- Sanders, M.S., 1988. In: J.M. Christensen, D.A. Topmiller and R.T. Gill. Human Factors Definition Revisited. *Human Factors Society Bulletin*, 31, 7-8.
- Sanders, M.S. and McCormick, E.J., 1993. *Human Factors in Engineering and Design*. New York: Mc Graw-Hill, Inc.
- Schnelle, H.H., 1964. *Langen-, Umfangs- und Bewegungsmasse des menschlichen Körpers*. 4th edition. Leipzig: Johann Ambrotius Barth Verlag.
- Schober, H., 1962. *Sitzhaltung, Sitzschade, Sitzmöbel*. Berlin, Springer.
- Schober, H., 1970. *Das Sehen*. Band 1, Leipzig, VEB Fachbuchverlag.
- Sheldon, W.H., Dupertuis, C. and McDermott, E., 1954. *Atlas of men, a guide for somatotyping the adult male at all age*. New York, Harper and Bross.
- Sipek, B., 1991. *Stijl vormt funktie*. Amsterdam: Stedelijk Museum.
- Sleight, R.B., 1948. *The effect of instrument dial shape on legibility*. *Journal of Applied Psychology*, 32, 170-188.
- Smets, C., 1986. *Vormleer, de paradox van de vorm*. Amsterdam: Bert Bakker.
- Sperling, G. and Reeves, A., 1980. *Measuring the Reaction time of an Unobservable Response: A shift of Visual Attention*. In R. Nickerson (Ed.), *Attention and Performance VIII*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 347-360.
- Steenbekkers, L.P.A., 1993. *Child development, design implications and accident prevention*. Physical Ergonomics Series no. 1. Delft: Delft University Press.
- Steenbekkers, L.P.A., van Beijsterveldt, C.E.M. (eds.), 1998. *Design relevant characteristics of ageing users. Background and guidelines for product innovations*, Delft University Press.
- Stichting Consument en Veiligheid (SCV), 1990–1995: *Overzicht ongevals cijfers 1994 (en andere jaren)*, Amsterdam
- Strandh, S., 1979. *A history of the machine*. New York: A & W Publishers.
- Thomas, D.R., 1957. *Exposure time as a variable in dial reading experiments*. *Journal of Applied Psychology*, 41, 150-152.
- Thompson, D., 1975. *Ergonomics data for evaluation and specification of operating devices on components for use by the elderly*. Loughborough: Institute for Consumer Ergonomics.
- Thompson, D., 1976. *Ergonomic data for evaluation and specification of operating*

- devices on components for use by the elderly*. Loughborough: Institute for Consumer Ergonomics, University of Technology.
- Van Cott, H.P. and Kinkade, R.G. (editors), 1972. *Human Engineering Guide to Equipment Design*. Washington: USCPO.
- Wagenaar, W.A., 1992. Risk-taking and accident causation. Hoofdstuk 9 in: *Risk-taking behaviour*. Chichester: Wiley and Sons.
- Walraven, J., 1981. *Kleur ('Colour')*. Ede: Zomer & Keuning b.v.
- Weerdmeester, B.A., 1993. Wat is Ergonomie? In: *Ergonomie, de mens als maat*. Cahiers Bio-Wetenschappen en Maatschappij, 16 (2). Utrecht: Stichting Biowetenschappen en Maatschappij.
- Wiener, E.L., Nagel, D.C., 1990. *Human factors in aviation*, Academic Press Inc, San Diego.
- Wijnen, G. van. 1987. *Handleiding Control and Displays. Serie 10 bijzondere onderwerpen 16*, Faculteit IO, TU Delft.
- Wit, J.M. 1998. *De vierde landelijke groeistudie (1997)*. TNO Preventie en Gezondheid, Leids Universitair Medisch Centrum
- Woodson, W.E., 1981. *Human factors design handbook*. New-York: McGraw-Hill.

Index

- 15-segments model 129
- aan-uit knop 102
- aandachtsbundel 288
- aangeboren behoeften 42
- aangeleerde karakteristieken 273
- aanvaardbare duur van trillingen 207
- aanvaardings-mechanismen 49
- abductie 172
- absoluut contrast 297
- abstract systeem 33
- acceleratie 206
- accident-proneness 442
- acclimatiseren 203
- accommodatie 338
- accommodatiebreedte 326
- accommoderen 326, 328
- accumulatie 41
- achtergronden 31, 35
- actief 176
- actieve krachtsuitoefening 231
- actieve krachtoefening 111, 119
- actieve processen 69
- activatie-centrum 405
- activatie-niveau 317, 405
- activiteit 149, 156, 161
- ADAPS 138
- adaptatie 299, 314
- adaptatietijd 341
- adapters 328
- adaptieproces 294, 297
- additieve menging 354
- adduceren 172
- adductie 172
- ademend weefsel 210
- ademhaling 232
- ademhalingsfrequentie 242
- aërobe capaciteit 231, 242
- aëroob 241
- afbeelding 60, 70
- afdanking 34, 104, 455
- afhankelijkheid 101
- afmetingen 196
- afscherming 149
- afschuifkrachten 157
- afstand tot gebruikers 45
- airbags 207
- alfanumerieke codedimensie 350
- alfanumerieke tekens 351
- algemeen discomfort 431
- algemeen
 - model 35
 - ondersteunende producten 53, 418
- algemene
 - theorievorming 28
 - verlichting 342
- ambacht 18
- anaëroob 241
- anatomie 28, 126
- anatomie van de hand 190
- anatomische standaardhouding 130
- anthropo-techniek 27
- Anthropometric Design Assessment Program System 138
- antropometrie 28, 124
- Applied Ergonomics 98
- arbeid 26, 27
- arbeidsergonomie 26, 98
- arbeidsomstandigheden 76
- arbeidsorganisaties 27
- arbeidspsychologie 27
- arbeidsspecialisatie 44
- ARBO 76, 440
- ARBO-wetgeving 408
- armleggers 158
- armsteun 185, 212
- articulair 177
- artificial speech 310
- artrose 176
- aspecten van waarnemen 53
- asymptoten 83
- atleet 144
- atmosferische druk 202, 204
- atrofisch 236
- attitude 169, 170
- audio-displays 310
- auditieve
 - displays 54, 310
 - functies 52
 - sensor 309
 - signaalgevers 303
 - waarnemingskwaliteiten 307
- zintuigstelsel 303
- automaat 383, 385
- Aziaten 142
- bandbreedte 398
- basaal metabolisme 233
- basal metabolic rate 233
- Basic Color Terms 354
- basilair membraan 304
- basis-gebieden 32
- Bauhaus 23
- bedienen 28, 101, 253
- bediening-effect relaties 273
- bedienings-
 - component 253, 255
 - fasen 256
 - handelingen 62, 268
 - karakteristieken 273
 - motoriek 102
 - onderdelen 74, 111, 117
 - paneel 61
 - patroon 178, 258
 - procedure 270
 - proces 268, 269
 - wijze 33, 69
- bedrijfsarts 30
- bedrijfskundig ingenieur 30
- bedrijfskundige
 - productfunctionaliteit 419
- beeldhoek 333
- beeldresolutie 332
- beeldscherm-werkplek 99
- beeldschermen 36
- beeldverwerking 54
- begrijpelijkheid 295
- beheersing van materie 44
- behoefte en urgentie 42
- behoefte 33, 34
- behoeftenladder 43
- bejaarden 184
- bekrachtigde handwerktuigen 227
- Bel-schaal 305
- belastbaarheid 231, 244
- belasting van de voorvoet 187
- belastingsgraad 231, 235, 244, 397
- beleving 34

- beperkingen 25
 Bertalanffy 63
 bescherming 41, 451
 beslissen 52
 besluiten 28
 betekenis 282
 bewaren 42
 beweeglijkheid 161, 199
 beweging 169, 171
 bewegingsmogelijkheden 111, 170
 bewegingsparallax 338
 bewegingspatronen 177
 bewegingsrichtingen 103
 bewegingstype 270
 bewegingsvlakken 170
 bewegingswetenschappen 28
 bewegingsziekte 207
 bewerkingsmodulen 61
 bewuste informatie-verwerking 70
 bewustwording 41
 biceps 142
 bijna-ongeval 448
 bijvak 30
 bijziendheid 330
 biomechanica 28
 binoculair 340
 bioritmen 405
 biologisch functie-model 51
 biologische
 — evolutie 41
 — functie-groepen 41
 — optimum 140
 — toerusting 41
 biotoop 41, 63
 bit 399
 blauwdruk 64
 bliklijn als aandachtsbundel 358
 blikveld 340, 341
 blinde vlek 325
 bloedsomloop 232
 BMR 233
 bolgewricht 171
 bolvorm 171
 bot 126
 boundary 254
 bouwkunde 22
 bovenste extremiteiten 175
 breedte van het zitvlak 158
 brein-model 71
 brein-werking 40
 breinwerk 18
 breking 336
 brokkenmaker-theorie 443
 bronnen van
 onderzoeksgegevens 36
 bronstijd 44
 bruikbaar 32
 bruikbare hulpmiddelen 31
 buigen 170
 buigpunt 84
 buiksteun 156
 buis van Eustachius 304
 burenlawaai 316
 bus-lus 217
 C.I.E. 356
 cabines 39
 cabins 111, 116, 149
 CAD-systemen 139
 caissonziekte 203
 candela 323
 capaciteiten 25, 33
 carpale tunnel syndroom 178, 224, 431
 cathode ray tube 365
 celdifferentiatie 283
 cellen 126
 CEN 97
 centraal zenuwstelsel 70
 centrale regelkamers 99
 checklist voor de anaesthetist 99
 checklists 98
 chemische en fysische eigenschappen 61
 child-proof 455
 chirurgische apparatuur 39
 chroma 356
 cijferhoogte 370
 cijfertype 370
 claustrofobie 150
 clo-unit 188
 code 282
 codedimensies 264
 codeerwijze 257
 coderen 349
 coderen van
 bedieningsmiddelen 263
 codering van controls 261
 coderingsmethoden 295
 cognitief 51, 112
 cognitief ondersteunende producten 36, 47, 52, 382
 cognitieve ergonomie 36, 54
 comfort 27, 100, 209, 428
 comfortabel 32, 79
 comfortabele waarden 429
 comfortzone 174
 communicatiepsychologie 54
 compatibiliteit 273
 compatibiliteit van de interface 276
 compatibiliteitsregels 268, 401
 complementaire kleuren 354
 Computer Aided Design 138
 computer- of telefoonnetwerk 32
 computersturing 44
 concentrische contractie 240
 concept 25, 468
 concrete dingen 60
 construerende 38
 consumenten-markten 50
 contactvlak 156, 158
 contactvorm 257
 containers 189
 contractie 235
 contraheren 239
 control-effect ratio 274
 controle 270
 controle-lijsten 98
 controls 74, 98, 111, 117, 269
 convergentie 326, 338
 coördinatie 285
 cornea 324
 cortex 294
 CR-10 Scale 433
 creatief 23
 culturele
 — accumulatie 41
 — en esthetische waarden 23
 — evolutie 41
 cumulatieve frequentiegrafiek 93
 curatieve ergonomie 27
 curricula 30
 cybernetica 28
 cybernetische ergonomie 55
 cilindervorm 171
 dagelijks functioneren 31
 data 96
 databank 69, 97
 databronnen 132
 dB 305
 dB (A) 318
 de maximale uitslag 171
 deceleratie 206
 deciBel 299, 305
 decoding 285
 decubitus 205
 deeltheorieën 28
 dekking door hulpmiddelen 48
 dekweefsel 126
 demontage 455
 denken 21
 denken en handelen 33
 denktuig 420

- design eye point 214
 design heel point 214
 Design of Hand Tools 219
 detaillering 33, 101
 deurklinken 216
 dichromatisch 335
 diepte van het zitvlak 158
 diepte-zien 337
 dimensies 281
 Dined 84, 141
 Dined-tabel 132
 ding-, doe- en denksystemen 41
 directe ondersteuners van de zintuigen 281
 discipline 16
 discomfort 209
 discreet 256
 discriminatie 297
 discriminatievermogen 336
 dispariteit 337
 displays 74, 98, 269, 281
 distaal 190
 diversificatie 64, 83
 DNA 64
 dode tijd 273, 274
 dodemanskop 243
 doel 31
 doelmatigheid 100, 423
 doelstellingen 35
 doeltreffendheid 423
 doen 21
 domeinen 287
 dominante techniek 45
 doorbuigen 170
 doorgangen 187
 doorliggen 205
 draaiknop 102
 drempelverhoging 314
 drempelwaarde 341
 drie woordenboeken 261
 drijfveren 42
 Drukcentra op bovenbeen 204
 drukknop 103, 259
 drukverdeling 97
 — bij staan 204
 — bij zitten 204
 dual beam oscilloscope 366
 duikersziekte 203
 duim 190
 duurzame
 consumentengoederen 22
 duwstang 216
 dwarsgestreepte spieren 127
 dwarslaesie 182
 dynamica 61
 dynamische antropometrie 111, 119, 169
 Dynamische contractie 240
 dynamische spierarbeid 235, 240
 economie 22
 ectoderm 284
 ectomorf 144
 één-assig 170
 éénknopsbediening 265
 eenmalig gebruiken 45
 eerste orde systeem 276
 effect-curve 276
 effect-verloop 276
 effectiviteit 423
 efficiënt 32, 41, 79
 efficiëntie 26, 28, 423
 ego-type 88
 eigen lichaam 69
 eigenfrequentie 207
 eigenschappen 60
 eindproduct 33
 eisen 32
 elektronica 54
 elektronisch gegenereerde tekens 375
 elektronische indicatoren 375
 ellepijp 190
 embryologie 283
 endo-rotatie 173
 endomorf 144
 endothesen 118
 energie 63
 engineering plastics 44
 enkelstuks 44, 87
 entoderm 284
 entropie 64, 233
 enveloppen 150
 epilepsie 188
 erfelijke code 283
 ergonomen avant la lettre 104
 Ergonomics 98
 Ergonomics Abstracts 98
 Ergonomics in Design 98
 Ergonomics Information Analysis Centre 98
 Ergonomics Society 98
 ergonomisch geschoold technoloog 50
 ergonomisch team 50
 ergonomische
 — achtergronden 179
 — controlelijsten 99
 — data 96
 — functie-analyse 100, 411
 — gebruiksfunctionaliteit 417
 — ontwerpmethoden 96
 — specialisaties 49, 50
 — toepassingsgebieden 51
 — vraag 44
 ergonoom 50
 ervaring 21, 50
 esthetische behoefte 42
 esthetische waarneming 34
 ethiek 440
 etmaalsritme 140, 145, 405
 etniciteit 140, 146
 evalueren van
 gebruiksgoederen 461
 evenwichtsorgaan 303
 evolutie 64, 294
 exacte basis 35
 excentriciteit 334
 excentriciteitsmaat 84
 excentrische contractie 240
 excessieve prikkels 439
 excursietabellen 175
 exo-rotatie 173
 expositie 318
 extensie 172
 externe
 — invloeden 97
 — krachten 97
 — krachttuioefening op de segmenten 193
 exteroceptie 290
 extrapolatie 277
 faalbomen 449
 factoren bij
 product(on)veiligheid 441
 fail-safe 444
 false negatives 410
 false positives 410, 448
 fase van denken 52
 fasen van gebruiksproces 75, 263, 425
 feed forward
 (voorwaartskoppeling) 268, 272
 feedback 268, 272
 fietsergometer 242
 fijngevoeligheid 288
 filtering 285
 fixatie 283
 flexie 172
 flow capacity 232
 flow sheet 61
 fonemen 298, 308
 fool-proof 455
 foon 305
 foonschaal 305
 fotonenstroming 324
 fotopie 327

- fovea 325, 327
Frankforter vlak 130, 175
frequentie 295
—verdeling 83, 132
—domein 285
frontale vlak 131
functie 23
functie-analyse 97
functielocalisatie 294
functievervulling 21, 25
functionele kenmerken 271
functionele onderdelen 33
functionele veranderingen 233
fysica 28
fysiek 51, 112
— ondersteunende producten
36, 47, 53, 111, 121
— vermogen 244
— materieel 149
fysieke
— arbeidsvermogen 242
— belasting 234
— bescherming 42
— ergonomie 36, 55, 111
— inspanning 111, 119, 231,
234
— variantie 114
fysische aard 295
fysische wisselingen 285
- Gauss 83
ge-bruiksgoed 45
geboden 412
gebruik 100, 253
gebruik van gereedschappen en
vuur 40
gebruiken 45
gebruikersgroep 33, 471, 472
gebruikersonderzoek 392
gebruiks-
—aanwijzing 269
—fasen 75, 263, 425
—goed 45
—kwaliteit 420
—onderzoek 104, 392
—situatie 33
—situaties 34
—stijlen 391
—strategie 390
—waarde 45
—wijzen 103
gedrag 25
gedragspatronen 270
geestdodende 408
geestelijk discomfort 429
gehandicapt 472
- geheugen 36, 69
geheugenfuncties 289
gehoor 293
gehoorbeentjes 304
gehoorbeschadiging 318
geldigheid 60
geleidelijke structurele
veranderingen 234
gelijktijdig gebruik 32
geluidsarm ontwerpen 319
geluidsisolatiënormen 316
geluidsoverlast 317
geluidswaarneming 303
gemiddelde gebruiker 115
gemiddelde mens 82
General Systems Theory 63
genetic wiring 82
genetisch bepaalde leeftijd 234
geografisch verschil 42
geometrische
overeenstemmingsprincipes
273
gereflecteerde lichtenergie 324
gerontechnologisch
— onderzoek 474
— ontwerpen 473
geroteerd 170
geschiktheidspopulatie 95
Gestalt-wetten 348
gevaar 34
gevaarlijke situaties 438
Gewicht 222
gewichteloos 203
gewoonten 33
gewicht 170, 176
gewrichts
—excursies 169, 192
—vlakken 170
—vormen 171
gezichts-
—hoek 332
—scherpte 332, 333, 341
—vermogen 293
gezondheid 26, 27, 140, 147
gezondheidsleer 427
goed zitten 157
golflengte 336
grafisch ontwerpen 54
greep 195, 220
—breedte 197
—diameter 198
—mogelijkheid 197
—oriëntatie 197
—vorm 198
—wijdte 226
grips 189
grips and loads 111, 117
- groei 97
—kromme 141
—normen 132
—spurt 140
grootte 274
grootte-waarneming 339
- haarcellen 304
hallucinaties 282
hand- en
voetbedieningsmiddelen.
262
hand-bewegen 194
handboeken 97
handcontactvlak 195
handel 44
handelen 41, 52
handeling en effect 273
hand 189
handigheid 173
handleiding 103, 269
handmaten 192
handschoen-toeslag 198
handschoenen 189
handvatten 189, 215
handvatten met lasten 111, 117
handwerk 18
handwerktuigen 103, 111, 117,
218
handwortelbeentjes 190
hanteer-risico's 223
hanteren 28, 253
hardwired program 68
hardwired 71
harmonie 25
HBO 22
hefboomschakelaar 259
helderheden 297
helderheid 324
helderheidscontrast, 333, 343
helderheidswaarneming 332,
336
helmen 188
hergebruik 455
herkenbaarheid 100, 269
herkennen hoe 102
herkennen waarvoor 102
herkennen wat 102
herkenning 69
hernia 182
hersenhelft 72
hersenschors 294
herstelcurve 249
herstelfase 288
heuphoek 157
historic displays 366
historie van de techniek 18

- historisch beeld 35
- hoge druk op de huid 225
- hoge hakken 187
- hoger beroepsonderwijs 22
- hoger-percentiel type 90
- hogere orde systemen 276
- hogere behoefte 44
- homeostase 232, 291
- homo faber 40
- homo habilis 44
- homo ludens 40
- homo sapiens 40
- hoofdvak 30
- hoogte van het werkvlak 186
- hoogte van het zitvlak 157
- horen 52, 298
- houdingen 187
- houdingsverandering 169
- Hue 356
- huid 97, 126
- huidspecialisaties 285
- huidvocht 188
- huidzin 292
- hulpmiddelen 18, 23
- Human Factors 26, 98
- Human Factors and Ergonomics Society 98
- human factors applications 98
- humane en sociale voorwaarden 21
- humane voorwaarden 37
- hygiëne 216
- hypermetroop 330
- hypertrofie 236
- hypokinesie 237, 250

- iconen 351
- ideogrammen 351
- ijzertijd 44
- imitatie 272
- impliciete ergonomie 105
- impliciete ergonomische kwaliteit 104
- improvisatie-talent 41
- in- en output 53
- in- en verstelbaarheid 91
- indelen 69
- indeling 35
- index van permeabiliteit 188
- individualisatie 82, 83
- individualiteit 178
- individueel nutquotiënt 422
- Indo-Europeanen 146
- indrukbaarheid 209
- industrialisering 26
- Industrieel Ontwerpen 21
- industriële arbeid 27

- Industriële Productontwikkeling 22
- ineengehurkte houding 142
- informatica 28
- informatie 25, 63
- bewerken en onthouden 41
- bewerking 381
- bronnen 69
- capaciteit 257, 271, 349
- metabolisme 65
- niveau 75
- stromen 285
- theorie 398
- informatie ergonomie 55, 384
- infrarood 297
- infrastructuur 45
- ingenieur Industrieel Ontwerpen 22
- innemen van ruimte 186
- innovatie 461
- input 61, 64
- Input-Throughput model 284
- inspanning 26, 231, 233
- inspanningsfysiologie 27
- inspanningsproef 242
- inspanningstabellen 247
- inspiratiebron 25
- instelbaarheid 92
- instructie 103
- instrumentele waarneming 289
- intelligent product 74
- intelligente producten 382
- intensiteit 296, 336
- intensiteitsdomein 285
- intensiteitsresolutie 286
- intensiteitspectrum 305
- inter-individueel 86
- inter-individuele variantie 114
- interactie 32, 75
- met techniek 27
- tussen mens en technisch systeem 22
- aspecten 28
- functies 62
- loze producten 104
- patroon 75
- interdisciplinair 29
- interface 269
- intermediaal 190
- intern kader 35
- International Ergonomics Association 98
- interne
 - processen 62
 - spanning 240
 - structuur 35
 - systemen 48
- interoceptie 291
- intra-individueel 86
- intra-individuele variantie 114
- intuïtie 21
- invarianten 16, 59
- inzet van de ledenketting 257, 270
- iris 324
- ischaemie 225
- ISO 97
- ISO 2631 207
- isolatie 187
- isolerende werking 187

- jagen 42
- jet lag 407
- jnd 286
- jongere mensen 288
- jongeren 176
- just noticeable difference 286

- kader 35
- kanaalcapaciteit 398
- kansverdeling 83
- kantoor- of huishoudelijk werk 27
- kantoorautomatisering 29
- kantoorstoelen 212
- kapitaalgoed 45
- karacteristieken van het bedieningsmiddel 270
- kegeltjes 326
- KEMA-keur 440
- kenmerken 25, 31
- kenmerkspreiding 94
- kennis 42
- keramische culturen 44
- keuze-principes 36
- kiezen 33
- kinderen 132
- kinderstoelen 184
- kinematische keten 185
- kinesiologie 119, 171
- kinestessie 291
- kinetose 207
- kinsteun 155
- KIWA-keur 440
- klasse van producten 22
- kleding 42, 140, 145, 159
- kledingtoeslag 186
- kledingtoeslagen 145, 158
- kleine verblijfsruimten 111, 116, 149, 158
- kleur 353
- van het licht 297
- code 350

- codering 297, 356
- eigenschappen van lichtbronnen 342
- enblindheid 336
- contrast 333
- gevoeligheid 332, 334, 341
- helderheid 353, 356
- perceptie 358
- receptoren 334
- stelling 102
- stoffen 354
- systemen 355
- temperatuur 356
- tint 353, 356
- toon 356
- velden 335
- verzadiging 353, 356
- waarneming 334
- woorden 355
- zwakken 357
- klimaatbescherming 160
- klimaatfysiologie 160
- kniehoek 157
- kniestoelen 156
- kopertijd 44
- kort- en lang geheugen 52
- kort-cyclisch 408
- korte termijn 69
- korte-termijn geheugen 403
- kosten 233
- kracht-greep 194, 195
- kracht-opvang 228
- krachten in het lichaam 202
- krachten op het lichaam 202
- krachtige handgreep 194
- krachtuitoefening 41, 111
- kritische bewegingen 178
- kritische-flikker-fusie-frequentie 298
- kunstacademies 22
- kunsthistorie 22
- kwalitatieve kennis 25
- kwalitatieve richtlijnen 34
- kwantitatieve kennis 25
- kyfose 180
- kyfoserig 210

- L-vormige greep 195
- L.E.D. 366
- laboratoriumproeven 471
- lager percentiel type 89
- Landolt-ring 332
- lange-termijn ongeval 451
- lasten 189
- late steentijd 44
- latentietijd 298, 299, 326
- laterale rotatie 173
- lateraliteit 140, 145
- lawaai 314
- lawaai-effecten 314
- lawaaibestrijding 314
- lawaaibewustheid 317
- lay-out 273
- ledematen 36
- ledenketting 129
- leefmilieu 63
- leefsectoren 103
- leeftijd 140, 176
- leefwijze 140, 148
- leerbaarheid 269
- leercurve 390
- leermogelijkheden 295
- leerprocessen 97
- leerstijlen 391
- leesbaarheid 295
- leesbaarheid van tekens 370
- lens 326
- lensverstarring 329
- LEO 432
- leptosoom 143
- leren 28
- leren bedienen 268, 269, 389
- letsel 439, 444
- letsel-potentie 456
- letterhoogte 370
- levenscyclus 104
- levensduur 46
- levensverwachting 41
- lichaams
 - afmetingen 111
 - bouw 140, 142
 - ervaren schema 187
 - gewicht 132
 - houding 140, 142, 149, 243
 - lengte 132
 - ondersteuning 155, 208
 - ondersteuningsmiddelen 111, 116
 - variatie 139
- lichamelijke
 - inspanning 27
 - schade 439
- licht 323
- lichtsterkte van een oppervlak 324
- lichtstroom 323
- lijnbelasting 209
- literatuur 97
- literatuur-onderzoek 97
- loads 189
- locaal discomfort 431
- Locaal Ervaren Ongemak 432
- localisatie van geluidsbronnen 309
- locomotie 169, 170
- long-term memory 69
- looppas 179
- lopen 179
- lopende band 26
- lopende-band werk 283
- lordose 180, 181
- luchtvaartergonomie 29
- luchtverblauwing 339
- luchtziekte 207
- lumbaalsteun 184, 214
- lumbale kyfoserig 182
- lumbale wervels 181
- lumen 323
- luminantie 324
- lux 324

- maatgeving 161
- maatsystemen 160
- maatuitvoeringen 162
- maatvarianten 94
- maatverdeling 162
- maatvoering 187
- machine-lawaai 319
- machines 27
- macro-milieu 46
- mangat 150
- mani-puleren 194
- manipulatie 169, 170, 193
- manipuleren 194
- mannikin 137
- market-pull 463
- marketing-instrument 23
- markt-segment 87
- maskering 287, 311
- massa 44, 61, 187
- massa-middelpunten 131
- massaproductie 23, 26
- maten van de hand 191
- materiaal 23, 43
- materiaalkunde 22, 44
- materialiseren 33
- materie 63
- materie-energie metabolisme 231
- matrix van fysieke producttypen 121
- maximale
 - bewegingsuitslag 172
 - gewichtsexcursie 173
 - gewichtsexcursies 175
 - knijpkracht 226
 - kracht 236
 - statische spierkracht 235
- mediale rotatie 173
- meer-assig 170
- meervoudig gebruik 447

- Meervoudige Mens, Product en Interactie combinaties 77
 mens 73
 mens-kritische aspecten 25
 mens-kritische aspecten 23
 mens-product interactie 59, 73
 Mens-Product Interactiemodel 59, 73
 menselijke functiegroepen 51
 menselijke verscheidenheid 82
 menskunde 22
 menskundige informatie 36
 mentale
 — belasting 234, 397
 — belastingsgraad 400
 — inspanning 234
 meso-milieu 46
 mesoderm 284
 mesomorf 144
 meta carpus 190
 metabolisme 65, 232
 metafoor 61
 methodologie van ontwerpen 466
 meubels 36
 micro-milieu 45
 middelen voor
 lichsamsondersteuning 180
 midden steentijd 44
 milieukundig ontwerpen 420
 Miller 63
 mini-onderzoek 103
 mission slogan 25
 mnemische 289
 mobiliteit 157
 mock-ups 393
 model 35
 modelbegrip 60
 modellen 128
 modelleren 60
 modeverschijnselen 48
 modulatie 289
 moeite 101
 momenten in de ledenketting 237
 mongoloïden 146
 mono-articulaire spieren 177
 monochromatisch 336
 monoculair 341
 morse-code 310
 motiliteit 157, 432
 motivatie-hiërarchie 42
 motor tot innovatie 21
 motorisch apparaat 47
 motorisch leren 111, 120
 motorische keten 213
 motorische programma's 270
 multi-causaliteit 448
 Munsell 356
 mutaties 64
 muzikaal behang 317
 myoop 330
 nabijheidspunt 326, 341
 natuurlijke eigenschappen 44
 Nederlandse kinderen 132
 Nederlandse Stichting Geluidshinder 315
 Nederlandse Vereniging voor Ergonomie 30, 98
 negroïden 146
 netvlies 327
 neuronen 294
 niet relevante signalen 287
 nieuwe discipline 16
 nieuwe functies 34
 nieuwe gebruikersgroepen 34
 Noise Rating curves 318
 normaalverdeling 83
 normale gebruikshandeling 437
 normalisatie 97
 normen voor
 lawaai blootstelling 318
 normering 342
 NR-norm 318
 nut 100, 420
 nut van gebruiksgoed 421
 nut-quotient 421
 nutparameters 422
 nuttig 32
 nuttiger 41
 O-vorm 196
 object-vormen 348
 observeren 103
 occipitale hersenschors 331
 octaafband 307
 ode tijd 276
 omgeving 62, 69, 76
 omgevings
 — ondersteunend product 112
 — condities 63
 — ergonomie 56
 — invloeden 62
 — selectie 64
 — structuur 35
 omvang 222, 274
 omzetting van materie en energie 65
 onbewuste grammatica 270
 onder- en bovengrenzen 91
 onderbelasting 426
 onderdelen 104
 onderrugsteun 184
 onderscheidbaarheid 295
 onderscheidingsvermogen 286, 337
 ondersteunde weefsels 156
 ondersteunen 41
 ondersteunende
 — producten 112
 — systemen 284
 ondersteuners 46
 ondersteuning 36
 ondersteunings-
 — duur 156
 — middelen 155
 onderzoeksinstituten 30
 oneigenlijk gebruik 446
 ongevals
 — analyse 449
 — betrokkenheid 439
 — statistiek 450, 455
 ongewenst geluid 317
 onthouden 40
 ontspanning 27
 ontwerpbeslissingen 35
 ontwerpdoelstellingen 32
 ontwerpen voor ouderen 474
 ontwerpen voor spreiding 87
 ontwerp
 — kwaliteiten 295
 — methodologie 466
 — onderzoek 97
 — overwegingen 36
 — parameters 156
 — proces 33, 466
 — relevant 104
 — richtlijnen 97
 — ruimte 464
 — typen 87
 — verantwoordelijkheid 33
 — volgorde 213
 ontwikkelingslanden 43
 onverwachte confrontatie 446
 onvolledige dekking door gebruiksgoederen 49
 onvolledige zekerheid 35
 onvoorspelbaarheid 36
 oogbewegingen 282
 oogrok 324
 oogveld 340
 oor 303
 open systemen 63
 openbare ruimten 50
 opleidingsinstellingen 30
 opleidingsprogramma's 30
 oplossend vermogen 332
 opmerken-onderscheiden-
 selecteren-classificeren-

- afwegen-actie 71
 opponeren 173
 optima 25
 optimale
 — bliklijn 153
 — greepwijdte 226
 — werkgebied 287, 295, 296, 298, 299
 opvallendheid 295
 opvang 284
 ordenen 40
 organisatie-kunde 22
 oriëntatie 150, 203
 oriëntatie van handgreep 197
 orthesen 46, 118
 oude-steentijd 44
 oudere mensen 288
 ouderen 137, 176, 184, 212
 outfits 111, 116, 159, 186
 output 61, 64
 ovale venster 304
 overbelasting van het oor 304
 overbelasting voor het gehoororgaan 314
 overheidsregulering 49
 overlap 31
 overleving 42
 overmatige belasting 287
 overzicht 60, 295
- P₅ – P₉₅ syndroom 94
 paced work 249
 paleo-lithicum 44
 para-systeem 68
 passief 176
 passieve krachtopvang 111, 119
 patroon 331
 patroonherkenning 347, 348
 pedipulatie' 194
 penetratie-mechanismen 49
 percentiel 84
 perceptie 285
 perceptie van risico 442
 perifere zone 287
 permeabel 63
 persoonlijke uitrusting 111, 116, 159
 perspectief 339
 pezen 234
 phalangi 190
 pictogram 263, 270, 351, 365
 pijngrens 299, 307
 plaatsing van interface-componenten 273
 poli-articulaire spieren 177
 polsslag 242
 polsstand 224
 pompen van ontwikkelingsstromen 462
 populatie 84
 —dekking 94
 —gegevens 97
 —keuze 101
 portable world 159
 positie 171
 Power Spectrum Density 207
 precisie-greep 194, 195
 predictieve display 401
 predicting displays 366
 predictive path 277
 predictor systemen 277
 presbyacusis 307
 presbyopie 329, 341
 prestatie-niveau 406
 preventieve ergonomie 27
 prikkeldrempel 406
 prikkelverandering 282
 prikkels 281
 primaire behoeften 45
 primaire doel 101
 primaire kleuren 354
 probleem-oplossen 25
 probleemanalyse 467
 probleemoriëntatie 467
 processen 60
 processor 285
 product 74
 — in het brein 387
 —antropologie 45
 —antropologie 103
 —beeld 388, 437
 —beoordeling 470
 —bezit 34
 —ergonomie 26, 29
 —ergonomisch onderzoek 97
 —functionaliteit 418
 —gebruik 36
 —idee 101
 —informatie 349
 —innovatie 446
 —innovaties 389
 —kwaliteiten 100
 —levenscyclus 455
 —onderdelen 32
 —onderdelen 101
 —representaties 387
 —soort 34
 —systemen 32, 101
 —typen 121
 —varianten type 94
 —veiligheid 436
 —visie 33, 468
 —vormen 34
- professionele
 — apparaten 22
 — sfeer 50
 profiel 101
 programma van eisen 33, 100, 468
 programmeer-chip 105
 Prokrustes-type 88
 proneren 173
 proporties 140
 proportionering 140
 proprioceptie 290
 prothesen 46, 118
 prototype 33
 proximaal 190
 psychologische
 — aard 295
 — afstand 45
 — en maatschappelijke eisen 44
 — functioneleer 28
 punctum proximum 326
 puntbelasting 209
 puntmatrix 375
 pupil 324, 326
 pyknicus 143
- quality of life 422
 Quetelet index 143
- radius 190
 ranges of movement 173
 rassen 146
 re-design 105
 reactietijden 295
 rechttop staan 180
 reductie van de vibratie-energie 227
 redundant 264
 redundant coderen 351
 redundantie 399
 reflectiefactor 324
 reflecties 341
 reflexen 70
 reflexmatige
 —handelingen 275
 — reactie 292
 regel- en toezichtkamers 39
 regelgeving 440
 regelkamers 32
 regelmaat 17, 40
 regels over oorzaken en gevolgen 40
 register ergonoom 30
 reikwijdte-enveloppe 151, 152
 reisziekte 207
 rekenkundig gemiddelde 83

- relatieve inspanning 231
- repetitief werk 283
- repetitive strain injury 178
- resolutie 103, 286
- resoluties 288, 295
- retina 325, 326
- retrieval 69
- reuk 293
- richting 273
- richting van beweging 171
- richting van vernelling 206
- richtlijnen 35, 179
- richtlijnen voor het ontwerpen van tekens 352
- risico 27, 440
- risico = kans \times gevolg 440
- RNA/DNA-sturing 284
- ronde venster 304
- rotatie 172
- ruimtelijke oriëntatie 204
- ruis 287
- rustpauzen 249

- sagittale vlak 130
- samen-leven 45
- samenhang 60
- samenhangend geheel 61
- samenvoegen 69
- saturatie 353
- saturation 356
- schaal van Christensen 247
- schaalmodel 137
- schaalverdeling 369
- scharnieren 170
- scheensteen 156
- scheepsbesturing 29
- scheidend vermogen 332
- schematisering 32
- schittering 343
- schoolmeubilair 184
- schoonheid 42
- schoonheidsideaal 124
- schredelengte 179
- schuif 102
- schuifkrachten 156
- schuifspanningen 157, 209
- schuin werkvlak 213
- sclera 324
- scotopie 327
- Seat Reference Point 152
- secularisatie 132, 140, 147
- segment 131
- segmentpop 155
- selectie 288, 294
- sensoren 74
- sensorisch 51, 112
- sensorisch ondersteunende producten 36, 47, 52, 289
- sensorische en cognitieve ergonomie 55
- sensorische ergonomie 36, 53, 281
- sensory deprivation 282
- serie-fabricage 44
- series 44
- sexe 140, 141
- SHOLE-model 68
- short-cuts 390
- short-term memory 69
- signaalgevers 36, 52, 74, 281, 289
- signaalonderscheidingsvermogen 287
- signalering 364
- signs 375
- simultaan contrast 297, 353
- skeletspieren 127
- skeletspieren 234
- slaapschuld 407
- slakkenhuis 303, 304
- slijtage 287
- smaak 293
- smart-products 382
- snelheid 274
- snelle, structurele veranderingen 234
- sociaal en economisch belang 17
- sociaal-decoratieve functie 160
- sociale invaliditeit 308
- sociale status 44
- soft keys 265
- somesthesie 290, 432
- somesthesie 240
- soon 305
- spaaakbeen 190
- specialisatie 29, 294
- specialistische ergonomieën 50
- spectrale resolutie 286
- speech
 - control 256, 309
 - display 256
 - output-devices 310
- speelbeen 179
- spier-skeletstelsel 47
- spieren 97, 127
- spierweefsel 126
- spierwerking 234
- spijsvertering 232
- spraak 308
- spraakelementen 298
- spraakverstaanbaarheid 308
- spreiding 121
- spreiding van waarden 86
- spreidingsmaat 83
- sta-ruimte 150
- sta-steun 186
- staafjes 326
- staan 186
- staand 186
- standaard 270
 - zithouding 131
- standaardafwijking 83
- standaardiseren 270
- standaardtekens 352
- standaardvlakken 130
- standbeen 179
- standen 103
- standindicatie 270, 271
- stangenstructuur 170
- staplengte 179
- statische
 - antropometrie 111, 118
 - contractie 240
 - elementen 61
 - spierarbeid 235, 240
- statistiek 28
- statistische technieken 36
- steek 150
- steel 220
- steradiaal 323
- stereoscopie 337
- steunweefsel 126
- Stichting Registratie Ergonomes 30
- stimuli 281
- stoelergonomie 209
- storage oscilloscope 366
- Storage-Output model 284
- stramheid 209
- strekken 170
- stromingen 23
- structurele elementen 61
- studie 27
- stuurplek van systemen 32
- styling 23
- subjectieve methode 432
- subsoon 299
- subsystemen 61
- subtractieve menging 354
- supersoon 299
- supineren 173
- support 111, 116, 154, 208
- supra-systeem 68
- symbiose 25, 45
- symmetrie-as 84
- synoviale gewrichten 126, 171
- systeem 60, 61
 - stress 431
 - grens 62, 424
 - leer 28

- systematisch 23
 — aanpak 23
- taalvermogen 41
 tachistoscopisch 367
 tactiele displays 54
 tailor-made 87
 tailoring 87, 160
 te verrichten arbeid 196
 te zware handwerktuigen 223
 techniek 18
 technisch
 — handelen 20
 — systeem 67
 — culturele historie 20
 technische
 — artefacten 28
 — detaillering 25
 — doorbraken 21
 — innovaties 21
 — instrumenten 20
 — producten 20
 — productfunctionaliteit 419
 technoculturele
 — evolutie 382
 — fasen 43
 technocultuur 20, 41, 462
 technologie 20
 technologisch verkennen 464
 technology-push 463
 teken 36, 351
 tekortkomende
 gebruikersgroepen 472
 teksten 36
 telefoonbeantwoordapparaten
 39
 telemanipulatie 453
 telematica 28
 temperatuurregulatie 161
 tennisarm 224
 terugkoppeling 271
 — van de bediening 270
 textuur 198, 216
 textuurgradiënten 338
 theorie
 — van A. Maslow 42
 — van hiërarchie van
 behoefte 42
 — van levende systemen 63
 — vorming 60
 throughputs 64
 thuisituatie 105
 tijd 61
 tijd-invloeden 285
 tijdkenmerken 296
 Tijdschrift voor Ergonomie 98
 tijdschriften 97
- tijdsduur 222
 tijdsmomenten 103
 til-traject 239
 tillasten 239
 tillen 195, 239
 tiptoets 259
 toegankelijkheid 150
 toegepaste
 — menskunde 21
 — natuurwetenschap 21
 toekomstig
 — gebeuren 41
 toekomstige gebruikers 25
 toepasbaarheid 31
 toepassingssituatie 101, 103
 toetsing 25, 33, 101
 tools 111, 117, 217
 toon-discriminatievermogen
 299
 toonaudiogram 305
 topologisch 60
 tracking 339, 365
 training 50, 177
 transductie 285
 transformaties 61
 transmissievertraging 276
 transversale vlak 131
 traploos 257
 trekker-vinger 225
 trichromatisch 335
 trilling 207
 trommelvlies 304
 tuber ischiadicum 158
 tuimelschakelaar 259
 tussenwervelschijven 180
 tweede huid 42, 186, 453
 Tweede Wereldoorlog 25
 tweede, kunstmatige huid 159
- U-vormige greep 196
 uitsluiten van gebruik 94
 ulna 190
 ultraviolet 297
 unica 87
 universitaire graad 30
- vaardigheid 101
 validiteit 60
 value, 356
 variabele kenmerk 83
 variantie 86
 variatie 86, 103
 variatie-coëfficiënt 86
 vasthouden 222
 vegetatieve systeem 232, 284
 veilig 32, 79
 veilig ontwerpen 455
- veiliger 41
 veiligheid 26, 42, 100
 vensterkarakteristieken 286
 vensters 281
 — naar de buitenwereld 281
 — specificaties 296
 verbruiksgoed 45
 veranderen 69
 verantwoordelijkheid 101
 — van ontwerpers 441
 verbale
 bedieningscomponenten
 265
 verblijfsduur 149
 verbruiksgoed 45
 verenigbaarheid 273
 verlengstuk 36
 verlengstuktheorie 47, 273
 verlichting 342
 — individuele werkplekken
 342
 — werktak 342
 verlichtingssterkte 324
 verminderende meeropbrengst
 89
 vermoeidheid 295
 veroudering 97, 233, , 287, 300
 verouderingsverschijnselen
 341
 verschijningsvorm 23
 versnelling 205
 versnellingsenergie 208
 versnellingsstolerantie 206
 verstaanbaarheid 308
 verstelbaarheid 91
 vertraging 274
 vervaardigingskunde 44
 vervaardigingswijze 33
 vervangers 46
 vervoer 27
 vervoeren 42, 101
 verwachtingen 102
 verwachtingspatroon 272
 verwachtingsregel 273
 verwerking 285
 verzadiging 295
 verziendheid 330
 verzitten 157
 vestibulair 292
 — systeem 304
 vier-pilaren model 32
 vigilantie-taken 408
 visualisatie 60
 visueel
 — organiseren 347
 — manipulatieve comfortzone
 153

- visuele
 — cortex 331
 — displays 54
 — keten 213
 — perceptie van beweging 340
 — signaalgevers 363
 — verschijningsvorm 270
 visus 332
 voedsel 42
 voelen 52, 300
 voetensteun 212
 volgorden 103
 volgsturing 365
 volhoudduur 244
 volhoudtijd 235
 voorhoofdsteun 155
 voorkennis 101
 voorspelbaarheid 17, 36, 103
 voortbewegen 41
 voorwaartskoppeling 272
 vorm 23, 274
 vorm met een veranderende
 radius 171
 vormcongruentie 274
 vormgeving 22, 23, 101, 270
 vormgevings-
 productfunctionaliteit 419
 vormperceptie 358
 vrij in de hand 103
 vrijblijvend 33
 vrije vingerruimte 199
 vrijheid 103
 vrijheidsgraden 103, 177
 vuur-gebruik 42
 vuursteen 44
- waarnemen 21, 28, 40, 41, 285
 waarneming-handeling lus 69
 waarnemingen 102
 waarnemings-
 —drempel 364
 —gevoeligheid 315
 —kwaliteiten 330
 wachttijd 276
 wandelen 179
 warmte-uitwisseling 187
 warmte-wisseling 210
 weefselbeschadiging 215
 weefselelasticiteit 157
 weefsels 97
 weg-ontwerpen 427
 werkdeel 220
 werkelijkheid 60
 werkhandschoenen 189
 werking 23
 — van het oog 323
 werkpauze 248
- werkplaatstechniek 27
 werkplek- of arbeidsergonomie
 29
 werkplekergonomie 76
 werkplekken 39
 werkstoel 212, 214
 werktempo 248
 werktuigbouwkunde 22, 27
 werkvlak 213
 wervelkolom 180
 wet 26
 wetenschappen 38
 wetenschapsdynamica 17
 wetmatigheden 26
 wetmatigheid 17
 wetmatigheid en
 voorspelbaarheid 37
 wijde handgreep 226
 wijzen van krachtuitoefening
 103
 wijzerplaten 36
 wijzers 372
 willekeurige
 — bewegingen 140, 146
 — spieren 127, 234
 wilscontrole 232
 witte-vinger syndroom 227,
 431
 woordenboek
 — van begrippen en theorieën
 16
 — van kenmerken 101
- \bar{x} -type 89
 X+-richting 130
- Y+-richting 130
- Z+-richting 130
 z-waarden 84
 z-waarden tabel 85, 479
 zeeziekte 207
 zelfontplooiing 42
 zenuwpulsen 285
 zenuwweefsel 126
 zero-gravity environment 203
 zien 52, 297
 zintuigelijke hulpstukken 289
 zintuigen 36, 255, 283
 zintuigfuncties 53
 zintuigleer 28
 zintuigscherppte 41
 zitbeenknobbels 158, 204
 zitcultuur 184
 zithoudingen 185
 zitmachines 212
 zitreferentielijn 184, 214
- zitreferentiepunt 152, 214
 zitreuzen 142
 zitten 183
 zitting 214
 zitvlees 158
 zitweefsels 158
 zuurgraad 291
 zuurstof
 —opname 231
 —schuld 241
 —spanning 291
 —verbruik 242
 zwaartekracht 203