
Ontwerpergonomie

prof.dr.ir. R. den Buurman
drs. Th Boersema
dr. H.H.C.M. Christiaans
prof.dr. J.M. Dirken
dr.ir. R.H.M. Goossens
ir. W.A.M. Hoefnagels
drs. H. Kanis
ir. C.C.M. Moes
dr.ir. J.F. Molenbroek
prof.dr.ir. C.J. Snijders
ir. A.P.O.S. Vermeeren

Vakgroep Produkt- en systeemergonomie
Faculteit van het Industrieel Ontwerpen
Technische Universiteit Delft
Vijfde druk, februari 1999

Voorwoord bij de eerste druk

Voor u ligt de eerste versie van het dictaat 'Ontwerpergonomie' (ide 230), dat beslist nog een aantal tekortkomingen heeft.

De samenstellers zijn zich dat terdege bewust en willen met uw hulp voor het volgend jaar met een verbeterde versie komen. Ook de ervaringen van het doceren van het vak en het opstellen en beoordelen van de huiswerkopdrachten en de tentamens, zullen daarbij gebruikt worden. Verder wordt commentaar van studenten, vakgenoten en andere geïnteresseerden zeer op prijs gesteld.

Wij verwachten evenwel dat het dictaat en de 'reader' ook nu reeds een goede steun bieden bij het bestuderen en oefenen van de stof. De studiehandleiding zal daarbij goede dienst bewijzen. Ook als naslagwerk voor gebruik bij ontwerpprojecten kunnen dictaat en reader, naar verwachting, een nuttige functie vervullen.

maart, 1995

Voorwoord bij de tweede druk

De ervaringen opgedaan bij het voor de eerste maal doceren van het vak 'Ontwerpergonomie (ide 230)' in het cursusjaar 1994/1995 en de uitkomsten van de evaluatie daarna hebben geleid tot enige herindeling en aanpassing van het diktaat. Er zijn nog meer ontwerpvoorbeelden opgenomen en daarboven een aantal toepassingsvoorbeelden van de behandelde statistiek. Verder is meer evenwicht gebracht in de omvang van de verschillende hoofdstukken en zijn consistentie en samenhang verbeterd. Uiteraard zijn tegelijkertijd zo veel mogelijk typ- en andere fouten gecorrigeerd. Ook is de bijbehorende 'reader' volledig herzien. Natuurlijk is er nog ruimte voor verdere verbetering. Commentaar van studenten, vakgenoten en andere geïnteresseerden blijft derhalve welkom. Wij zijn er evenwel van overtuigd dat diktaat en 'reader' nu reeds een prima steun bieden bij het bestuderen van de colleges en oefenen van de stof. Het volgen van de colleges en het uitvoeren van de huiswerkopdrachten blijft daarbij essentieel voor het behalen van een echt goed resultaat.

Als naslagwerk kunnen diktaat en 'reader' een nuttige functie vervullen bij het uitvoeren van ontwerpprojecten.

maart, 1996

Voorwoord bij de derde druk

Op grond van de opgedane ervaringen en de evaluatie van het cursusjaar 1995/1996 is het systeem van huiswerkopdrachten gewijzigd en de studiehandleiding herzien. Verder zijn de hoofdstukken 13 en 25 van het diktaat samengevoegd, en hebben er kleine aanpassingen plaatsgevonden. Met enige oplettendheid is de tweede druk naast de derde druk te gebruiken.

De verantwoordelijk docent,

Prof. dr. ir. R. den Buurman
Hoogleraar Informationele Ergonomie

Technische Universiteit Delft
Faculteit van het Industrieel Ontwerpen

februari, 1997

Inhoudsopgave

1	Inleiding tot de ontwerpergonomie <i>prof. dr. J.M. Dirken</i>	
1.1	Algemeen kader	1-1
1.2	Ontwikkeling van techniek	1-4
1.3	Ontwikkeling van wetenschap die relevant is voor de ontwerpergonomie	1-5
1.4	De fysiek ondersteunende produkten (produkten, onderdelen, systemen)	1-5
1.4.1	Ontwikkelingen in de fysiek ondersteunende produkten	1-6
1.4.2	Toeleverende disciplines van de fysiek ondersteunende produkten	1-8
1.5	Sensorisch ondersteunende produkten (produkten, onderdelen, systemen)	1-9
1.5.1	Ontwikkelingen in de sensorisch ondersteunende produkten	1-10
1.5.2	Toeleverende disciplines van de sensorisch ondersteunende produkten	1-11
1.6	Cognitief ondersteunende produkten (produkten, onderdelen, systemen)	1-11
1.6.1	Ontwikkelingen in de cognitief ondersteunende produkten	1-12
1.6.2	Toeleverende disciplines van de cognitief ondersteunende produkten	1-13
1.7	Omgevingsconditionerende produkten	1-14
1.8	Opzet van het dictaat	1-14

Deel I Fysieke ergonomie

2	Produktontwerpen en fysieke data <i>dr. ir. J.F.M. Molenbroek</i>	
2.1	Het fysiek ergonomisch ontwerpproces	2-1
2.2	Eenheden en parameters	2-8
2.3	Meetfouten	2-9
2.4	Parameters van het menselijk lichaam voor de fysieke ergonomie	2-11
2.5	Maten gemeten in meters (m)	2-12
2.6	Maten gemeten in vierkante meters (m ²)	2-13
2.7	Maten gemeten in kubieke meters (m ³)	2-14
2.8	Dichtheid en massa (-middelpunt)	2-17
2.9	Kracht, moment, druk en wrijving	2-26
2.10	Gewrichtsexcursies, houding, beweging, snelheid en versnelling	2-32
2.11	Indices	2-35
2.12	Somatotypologie	2-37
2.13	Besluit	2-39
3	Biomechanische begrippen <i>prof. dr. ir. C.J. Snijders</i>	
3.1	Biokinematica	3-1
3.2	Biostatica	3-3
3.3	Biodynamica	3-5
4	Biomechanica van het spier-skeletstelsel <i>prof. dr. ir. C.J. Snijders</i>	
4.1	Materiaaleigenschappen van biologisch materiaal	4-1
4.2	Gewrichten	4-4
4.3	Houding en beweging	4-6

5	Kleine verblijfsruimten <i>prof. dr. J.M. Dirken en dr. ir. R.H.M. Goossens</i>	
5.1	Inleiding	5-1
5.2	Nadere omschrijving van de produktsubcategorie	5-1
5.3	Bespreking van de voornaamste M-, P-, O-, en I-factoren	5-3
5.4	Ontwerpoverwegingen en -methoden	5-10
5.5	Enkele voorbeelden	5-18
6	Ontwerpen van ondersteuningsvlakken <i>prof. dr. ir. C.J. Snijders</i>	
6.1	Staan en lopen	6-1
6.2	Zitten	6-5
6.3	Liggen	6-9
7	Het hanteren van lasten <i>ir. C.C.M. Moes</i>	
7.1	Nadere omschrijving van de product-subcategorie.	7-1
7.1.1	Fysieke aspecten	7-1
7.1.2	Produktaspecten	7-2
7.1.3	Epidemiologie van klachten, die aan tillen zijn gerelateerd	7-3
7.2	Mens-, Product-, Omgevings- en Interactiefactoren	7-4
7.2.1	Mensfactoren	7-4
7.2.2	Produktfactoren	7-15
7.2.3	Omgevingsfactoren	7-18
7.2.4	Interactiefactoren	7-19
7.3	Ontwerpoverwegingen en -richtlijnen	7-20
8	Persoonlijke uitrusting <i>prof. dr. J.M. Dirken en dr. ir. R.H.M. Goossens</i>	
8.1	Nadere omschrijving van de produktsubcategorie	8-1
8.2	Bespreking van de voornaamste M-, P-, O- en I-factoren	8-2
8.2.1	M-factoren	8-3
8.2.2	P-factoren	8-3
8.2.3	O-factoren	8-5
8.2.4	I-factoren	8-5
8.3	Ontwerpoverwegingen en -methoden	8-5
8.4	Enkele voorbeelden	8-6
9	Ontwerpen van handwerktuigen; bedieningsmotoriek <i>ir. C.C.M. Moes</i>	
9	Ontwerpen van handwerktuigen; bedieningsmotoriek	9-1
9.1	Nadere omschrijving van de product-subcategorie.	9-4
9.1.1	Enkele relevante begrippen	9-4
9.1.2	Nadelige gevolgen van gebruik van gereedschappen	9-6
9.2	M, P, O en I factoren	9-8
9.2.1	Mensfactoren	9-8
9.2.2	Produktfactoren	9-15
9.2.3	Interactiefactoren	9-30
9.3	Enige beschouwingen over typerende gereedschapsgroepen	9-31

10	Bedieningscomponenten <i>prof. dr. J.M. Dirken en dr. ir. R.H.M. Goossens</i>	
10	Bedieningscomponenten	10-1
10.1	Inleiding	10-1
10.2	Nadere omschrijving van de produkt- subcategorie	10-1
10.3	Bespreking van de voornaamste M-,P-,O-, en I-factoren	10-3
10.3.1	M-factoren	10-4
10.3.2	P-factoren	10-4
10.4	I-factoren	10-9
10.4.1	Bediening van controls	10-9
10.4.2	Codering van controls	10-12
10.5	Speciale bedieningscomponenten	10-14
11	Ontwerpen voor specifieke doelgroepen <i>dr. ir. J.F.M. Molenbroek</i>	
11.1	Produkten	11-1
11.1.1	Produkten voor kinderen	11-1
11.1.2	Produkten voor vrouwen	11-3
11.1.3	Produkten voor ouderen	11-5
11.1.4	Produkten voor gehandicapten	11-5
11.2	Bespreking van de voornaamste MPOI -factoren	11-7
11.2.1	Kind	11-7
11.2.2	Vrouw	11-13
11.2.3	Ouderen en gehandicapten	11-21
11.3	Ontwerpmethoden en -overwegingen	11-27

Deel II Informatieergonomie

12	Opnemen en verwerken van informatie; perceptie <i>prof. dr. ir. R. den Buurman</i>	
12.1	Modellen van het proces van informatie verwerken	12-1
12.2	Het geheugen	12-4
12.2.1	Zintuiglijk kort geheugen	12-4
12.2.2	Werkgeheugen	12-4
12.2.3	Lange-termijngeheugen	12-6
12.3	Beslissen	12-6
12.4	Aandacht	12-7
12.4.1	Selectieve aandacht	12-8
12.4.2	Gerichte aandacht	12-8
12.4.3	Gedeelde aandacht	12-9
12.4.4	Vigilantie	12-10
12.5	Leeftijd en informatieverwerking	12-11
12.6	Mentale belasting	12-12
12.6.1	Voorstellingen van mentale belasting	12-13
12.6.2	Het meten van mentale belasting	12-13
12.7	Ergonomie in de informatierevolutie	12-15
12.7.1	Expert systemen	12-15
12.7.2	Natuurlijke taal interfaces	12-16
12.8	Discussie	12-16

13	Cognitieve aspecten van produktgebruik <i>dr. H.H.C.M. Christiaans</i>	
13	Cognitieve aspecten van produktgebruik	13-1
13.1	Het menselijk denken en produktgebruik	13-1
13.2	De mens als informatie-verwerkend systeem	13-3
13.3	De geheugenstructuur	13-4
13.3.1	Mentaal model	13-7
13.3.2	Fixatie	13-8
13.4	Het verwerven van kennis en vaardigheden	13-9
13.5	Cognitieve controle over acties	13-11
13.6	Individuele capaciteiten	13-14
13.7	Aanwijzing aan de ontwerper	13-14
13.8	De uitvoering van een taak	13-15
13.9	Ontwerp-principes	13-16
13.10	Mogelijkheden en onmogelijkheden van de gebruiker	13-17
14	Het ontwerpen van codering <i>prof. dr. J.M. Dirken</i>	
14.1	Transductie en betekenis van signalen.	14-1
14.2	Coderen	14-1
14.3	Natuurlijke en artificiële codering.	14-2
14.4	Symmetrieën	14-3
14.5	Technische hulpmiddelen en signalering.	14-4
14.5.1	De sensorisch-direct ondersteunende hulpmiddelen (nul-categorie)	14-4
14.5.2	Technische hulpmiddelen zonder speciale signaalgevers	14-4
14.5.3	Producten met speciale signaalgevers, displays.	14-4
14.5.4	Technische hulpmiddelen voor informatie-opslag.	14-5
14.5.5	Hulpmiddelen voor intermenselijke communicatie.	14-5
14.5.6	Pure informatiebewerkers ofwel data-processoren.	14-5
14.6	Code-dimensies	14-6
14.7	Systematisch ontwerpen van codering	14-9
15	Grafisch gepresenteerde informatie <i>drs. Th. Boersema</i>	
15	Grafisch gepresenteerde informatie	15-1
15.1	Grafische tekens	15-2
15.2	Bruikbaarheid van grafische informatie	15-4
15.3	Het lezen van tekst	15-4
15.4	Het begrip 'leesbaarheid' en leesbaarheidscriteria	15-6
15.5	Richtlijnen voor het ontwerpen van optimaal leesbare gedrukte tekst	15-8
15.6	Illustraties, tabellen en grafieken	15-15
15.7	Pictogrammen, symbolen en 'icons'	15-16
15.8	Leesbaarheid bij elektronische displays	15-21
16	Verlichting, daglicht, kunstlicht en keuze lichtbronnen en armaturen <i>prof. dr. ir. R. den Buurman</i>	
16	Verlichting, daglicht, kunstlicht en keuze lichtbronnen en armaturen	16-1
16.1	De luminanties in het gezichtsveld	16-3
16.2	Schittering, verblinding "glare"	16-6
16.3	Enkele lichtbronnen en hun eigenschappen; armaturen	16-8
16.4	Lichtkleur	16-10

16.5	Combinatie van daglicht en kunstlicht	16-12
17	Geluid, auditieve signalering, (kunstmatige) spraak, verstaanbaarheid, lawaai en akoestiek	
	<i>prof. dr. ir. R. den Buurman</i>	
	Inleiding	17-1
17.1	Auditieve signalering	17-5
17.1.1	Bewust als zodanig ontworpen auditieve signalen	17-6
17.1.2	De minder specifieke en minder bewuste informatie verkregen uit machinegeluid dat niet primair als informatiebron ontworpen is	17-6
17.2	Het ontwerpen van auditieve signalering	17-8
17.3	Spraak en verstaanbaarheid	17-11
17.4	Productie en herkenning van spraak door artefacten	17-19
17.5	Toonhoogte en intonatie	17-20
17.6	Technische ontwikkeling van spraakgeneratoren	17-21
17.7	Spraakherkenning door artefacten	17-21
17.8	Akoestiek	17-23
17.9	Soorten geluidsbronnen, enkele verschillen, lopende en staande golven	17-24
17.10	Geluidsabsorptie, - reflectie en - doorlating	17-25
17.11	Het meten van de absorptiecoëfficiënt	17-27
17.12	Geluidsisolatie	17-27
17.13	Lawaai	17-28
18	Bestuurderscabines in voertuigen	
	<i>prof. dr. ir. R. den Buurman</i>	
	Inleiding	18-1
18.1	Trein	18-4
18.1.1	Taken van de machinist	18-4
18.1.2	Mentale belasting	18-5
18.1.3	Cabine-inrichting	18-5
18.2	Auto	18-6
18.2.1	Taken bestuurder	18-6
18.2.2	Hulpmiddelen voor regel- en manoeuvretaken	18-7
18.2.3	Navigatiehulpmiddelen	18-8
18.2.4	Weergave informatie	18-10
18.2.5	Autodisplays	18-11
18.2.6	Technische uitvoering	18-13
18.3	Schip	18-13
18.3.1	Taken wachtsman	18-14
18.3.2	De brug	18-15
18.3.3	Brug-indeling	18-17
18.4	Vliegtuig	18-20
18.4.1	Cockpit-displays	18-21
18.4.2	Toekomstige ontwikkelingen	18-27
18.4.3	Ontwerpregels	18-28
19	Het ontwerpen van user interfaces	
	<i>ir. A.P.O.S. Vermeeren</i>	
19	Het ontwerpen van user interfaces	19-1
19.1	Inleiding	19-1
19.2	De kwaliteit van een user interface	19-2

19.2.1	Utility	19-2
19.2.2	Usability	19-2
19.3	Cognitief ergonomische aspecten van interactie	19-7
19.3.1	Problemen in de interactie	19-7
19.3.2	Exploratief leren	19-10
19.3.3	Aandacht	19-20
19.3.4	Mentale modellen en metaforen	19-21
19.4	Ergonomisch ontwerpen van user interfaces	19-26
19.4.1	User interface ontwerpelementen.	19-26
19.4.2	Betrekken van gebruikers bij het user interface ontwerpproces	19-28
19.5	Trends in interfaces en specifieke aandachtsgebieden.	19-34

20 Regelkamers en procescontrole

ir. A.P.O.S. Vermeeren

20	Regelkamers en procescontrole	20-1
20.1	Het ontwerpproces	20-3
20.2	De operator	20-5
20.2.1	Mentale modellen van het proces	20-6
20.2.2	Overloading en underloading	20-7
20.3	Inrichting van de regelkamer	20-9
20.3.1	Relatie tussen verschillende werkplekken	20-10
20.3.2	Het ontwerpen van de individuele werkplekken	20-11
20.4	Problemen in procescontrole	20-15
20.4.1	Het aflezen van informatie.	20-15
20.4.2	Het reiken naar controls.	20-15
20.4.3	Problemen m.b.t. het mentaal kunnen verwerken van informatie	20-16
20.4.4	Het activeren van controls.	20-16
20.4.5	Het interpreteren van coderingen.	20-17
20.4.6	Het localiseren van de afzonderlijke controls en displays.	20-17
20.4.7	Het reageren op alarmmeldingen.	20-17
20.5	Computers in regelkamers	20-18
20.5.1	Problemen bij de intrede van computers in regelkamers.	20-18
20.5.2	Mogelijkheden ter verbetering.	20-18

Deel III Gebruik en veiligheid

21 Gebruiksonderzoek: wat het is, en waarom dit onderzoek relevant is voor ontwerpers

drs. H. Kanis

21.1	Relevantie gebruiksonderzoek voor ontwerpers	21-1
21.2	Verdere opbouw van de hoofdstukken 22, 23 en 24	21-3

22 Producten: functioneren en gebruik

drs. H. Kanis

22.1	Functieervulling van producten	22-1
22.2	Gebruiksfunctionaliteit	22-4
22.2.1	Gebruiksfunctionaliteit in ontwerpen	22-5
22.2.2	Gebruiksfunctionaliteit in de praktijk	22-7
22.2.3	Gebruiksfunctionaliteit in de theorie	22-8
22.3	Gebruiksactiviteiten	22-10
22.3.1	Gebruikshandelingen	22-11

22.3.2	Waarneming en cognitie als gebruiksactiviteiten	22-12
22.4	Functievervulling van produkten in gebruik	22-13
22.4.1	Produktenmerken	22-13
22.4.2	Omgevingskenmerken	22-13
22.4.3	Produktenmerken-gebruiksactiviteiten-omgevingskenmerken	22-14
22.4.4	Met gebruiksactiviteiten gemoeide inspanning	22-14
22.5	Samenhangen, produkt - gebruiker - omgeving	22-14
22.5.1	Gebruiksactiviteiten en gebruikerskenmerken	22-14
22.5.2	Gebruiksactiviteiten en omgevingskenmerken	22-15
22.6	Use cues als verwijzingen naar gebruiksfunctie	22-15
22.7	Het functioneren van gebruiksprodukten in beeld	22-16

23 Bevindingen in gebruiksonderzoek

drs. H. Kanis

473

23.1	Gebruikshandelingen	23-1
23.1.1	Inter-individuele variatie	23-1
23.1.2	Intra-individuele variatie, tussen mensen en produkten	23-1
23.1.3	Patronen	23-3
23.2	Percepties en cognities	23-4
23.3	Met gebruiksactiviteiten gemoeide inspanning	23-6
23.4	Functievervulling (in)variant voor verschillende gebruikssituaties	23-6
23.5	Samenhang gebruikerskenmerken gebruikshandelingen	23-9
23.5.1	Sensorische kenmerken	23-9
23.5.2	Kennis en ervaring	23-9
23.5.3	Fysieke kenmerken	23-10
23.5.4	Tijdelijke condities	23-12
23.5.5	Samenhang omgevingskenmerken gebruiksactiviteiten	23-13
23.6	Gebruikssimulatie met ontwerpmodellen	23-13

24 Een gebruiksonderzoek doen

drs. H. Kanis

24.1	Onderzoeksdoel	24-1
24.2	Vooronderstellingen	24-2
24.3	Onderzoeksvragen	24-4
24.4	Van onderzoeksvragen naar onderzoeksopzet	24-5
24.4.1	Hypothese-toetsing en andere vormen van onderzoek	24-6
24.4.2	Descriptief onderzoek	24-7
24.4.3	Exploratief onderzoek	24-8
24.5	Uitwerking van de opzet voor een gebruiksonderzoek	24-11
24.5.1	Welke proefpersonen en hoe "representatief"?	24-11
24.5.2	Hoeveel proefpersonen	24-12
24.5.3	Instructie aan proefpersonen over uit te voeren taken	24-14
24.5.4	Proefpersonen ondervragen	24-15
24.5.5	Proefpersonen hardop laten denken	24-16
24.5.6	Volgorde-effecten bij meer taken	24-17
24.6	Criteria voor bevindingen uit onderzoek	24-17
24.6.1	Toevallige spreiding in uitkomsten van een herhaalde meting	24-18
24.6.2	Systematische afwijking tussen bevindingen in onderzoek en een gekozen criterium	24-20
24.6.3	Herhaalbaarheid en validiteit samengevat, onder meer wat betreft de ergonomische literatuur	24-24
24.7	Pilot(s), veldwerk	24-27

24.8.2	Verbanden	24-32
24.8.3	Verklaren van spreiding	24-33
24.9	Van onderzoekresultaten naar eisen voor (her)ontwerpoplossingen	24-34
24.10	Algemene opmerkingen	24-37
25	Vervallen	
26	Theorie Produktveiligheid <i>ir. W.A.M. Hoefnagels en ir. M.F. Weegels</i>	
26.1	Begrippen	26-1
26.1.1	Veiligheid	26-1
26.1.2	Gevaar en risico	26-1
26.1.3	Ongeluk of ongeval	26-2
26.2	Benaderingen op het gebied van veiligheid	26-2
26.2.1	Monocausale benaderingen	26-2
26.2.2	Sequentiële benaderingen	26-3
26.2.3	Ongevallen als resultaat van energie-uitwisseling	26-3
26.2.4	Systeembenadering en aanverwanten	26-3
26.2.5	Gedragsbenaderingen	26-4
26.2.6	Technische benaderingen	26-6
26.3	Waarde voor de ontwerper	26-8
26.4	Conclusie	26-8
27	Onderzoeken van ongevallen: kwantitatief en kwalitatief <i>ir. W.A.M. Hoefnagels en ir. M.F. Weegels</i>	
27.1	Wat is een ongeval?	27-1
27.2	Registratie van privé-ongevallen	27-2
27.2.1	Dodelijke privé-ongevallen	27-2
27.2.2	Ongevallen met ziekenhuisopname	27-4
27.2.3	Ongevallen met poliklinische behandeling	27-5
27.2.4	Informatiebronnen	27-8
27.3	Reconstructie van ongevallen met consumentenprodukten	27-8
27.3.1	Diepte-onderzoek naar ongevallen met produkten	27-8
27.3.2	Verzamelen van ongevalsgegevens	27-9
27.3.3	Hoe ongevallen onderzoeken?	27-10
28	Produktveilig ontwerpen <i>ir. W.A.M. Hoefnagels</i>	
	Samenvatting	28-1
28.1	Methode produktveiligheid	28-1
28.2	Informatie verzamelen	28-2
28.2.1	Ongevallen met produkten	28-2
28.2.2	Bestaande oplossingen	28-2
28.3	Analyse	28-3
28.3.1	Analyse van ongevallen	28-3
28.4	Synthese	28-5
28.5	Simulatie en evaluatie	28-6

29 Produktveiligheidswetgeving en -normen

ir. W.A.M. Hoefnagels

29.1	Arbeidsomstandigheden	29-1
29.1.1	Verkeer	29-1
29.1.2	De privé-sector	29-2
29.2	Wetgeving en ontwerpen	29-2
29.3	Wetgeving produktveiligheid	29-3
29.3.1	Inleiding	29-3
29.3.2	De Warenwet	29-3
29.3.3	Eisen aan produkten	29-4
29.3.4	Informatie eisen	29-5
29.3.5	Urgentiemaatregelen	29-5
29.3.6	Het Elektriciteitsbesluit	29-6
29.3.7	Wet op gevaarlijke werktuigen	29-6
29.4	Wetgeving produktaansprakelijkheid	29-7
29.4.1	Inleiding	29-7
29.4.2	Nederlandse wetgeving produktaansprakelijkheid	29-7
29.4.3	Het Amerikaanse systeem	29-8
29.5	CE-markering	29-10
29.6	Normalisatie	29-11
29.6.1	Inleiding	29-11
29.6.2	Normen en produktveiligheid	29-11
29.6.3	Verwijzing naar normen vanuit wetten	29-12

Deel IV Statistiek in de ergonomie

30 Statistiek in de ergonomie

ir. C.C.M. Moes

30.1	Beschrijvende statistiek	30-1
30.1.1	Inleiding	30-1
30.1.2	Enkele grondbegrippen	30-1
30.1.3	Parameters die een populatie beschrijven	30-6
30.1.4	Frequentieverdelingen	30-8
30.2	Samenhang	30-16
30.2.1	Inleiding	30-16
30.2.2	Samenhang tussen twee variabelen	30-16
30.3	Steekproeven	30-21
30.3.1	Inleiding	30-21
30.3.2	Betrouwbaarheid en validiteit	30-22
30.3.3	Opzet ergonomie onderzoek	30-23
30.3.4	Variabelen	30-24
30.4	Toetsen	30-25
30.4.1	Inleiding	30-25
30.4.2	Fouten van de eerste en de tweede soort; onderscheidingsvermogen	30-28
30.4.3	Parametervrije methoden	30-29
30.4.4	Toetsen op asymmetrie en kurtosis (platheid)	30-30
30.4.5	Vergelijken van twee steekproefgemiddelden	30-33
30.4.6	Vergelijken van meer dan twee steekproefgemiddelden	30-35
30.4.7	Vergelijken van twee steekproefvarianties	30-36
30.4.8	Vergelijken van steekproefvariantie met populatievariantie	30-36

30.4.9	Toetsen voor correlatie	30-37
30.5	Schattingen en betrouwbaarheidsintervallen	30-39
30.5.1	Schatting van de variantie	30-40
30.5.2	Schatting van het gemiddelde als de variantie bekend is	30-40
30.5.3	Schatting van het gemiddelde als de variantie onbekend is	30-40
30.6	Enkele bijzondere statistische bewerkingen van antropometrische variabelen	30-41
30.6.1	Het mengen van populaties	30-41
30.6.2	Het optellen en aftrekken van maten	30-41
30.6.3	Geschiktheidspercentage bij combineren van maten	30-42
30.7	Tabel voor toetskeuze	30-44

Bijlagen

1	Anatomische termen
2	Antropometrie van Nederlandse bejaarden
3	DINED-tabel
4	GDVV
5	Bevolking in cijfers
6	Kindermaten
7	DELSTU-project
8	Oppervlaktematen
9	DUTCHMIL '85
10	Gewrichtsexcursies
11	Bronnentabel
12	Traagheidsmomenten
13	Productveiligheid
14	Statistische tabellen
15	Segmentlengten
16	Gewrichtsexcursies
17	Lengte en gewicht
18	Groeidiagrammen
19	Handboeken in de ergonomie

1 Inleiding tot de ontwerpergonomie

Samenvatting

Het vak 'Ontwerpergonomie' kan gezien worden als een voortzetting van 'Inleiding tot de Produkt- en Systeemergonomie' (ide 130). Ontwerpergonomie is echter specifiek gericht op het ontwerpen van gebruiksvoorwerpen en -systemen en op methoden van ergonomisch onderzoek in en rond die ontwerpprocessen. De begrippen, onderscheidingen en modellen van de stof uit ide 130 worden hier als bekend verondersteld.

Dit hoofdstuk schetst het gebied dat de ontwerpergonomie beslaat. Verschillende modellen en indelingen, die produkten en produktgebruik beschrijven, worden kort behandeld. Tevens wordt er een kort overzicht gegeven van de ontwikkeling van de techniek en van de diverse wetenschappen die voor de ontwerpergonomie van belang zijn.

1.1 Algemeen kader

Ontwerpergonomie richt zich op mensen, produkten en de interactie tussen beide. In deze paragraaf wordt een aantal mogelijke indelingen hiervan gegeven.

Het nut van indelingen is het ordenen van verschijnselen en het weergeven van een overzicht en van logische verbanden die waarschijnlijk lijken te zijn.

Ontwerpergonomische indelingen kunnen een hulpmiddel vormen bij het inschatten van functionele relaties, het genereren van ideeën, en/of het oplossen van ontwerpergonomische problemen. Een indeling is echter een modellering van de werkelijkheid, die zelden volledig door deze indeling kan worden beschreven.

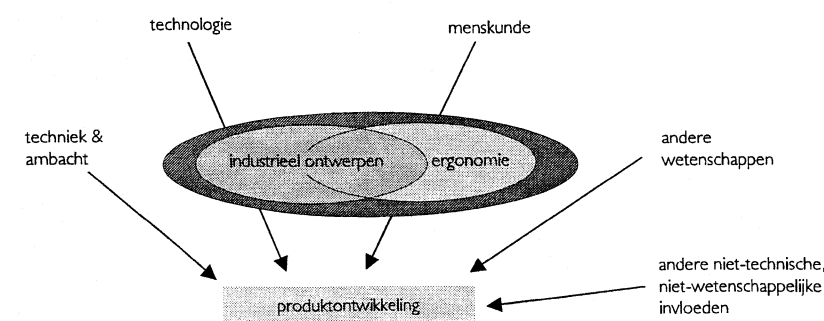
Bovendien zijn er vele indelingen denkbaar, net zo goed als er vele visies zijn. In dit dictaat zal een aantal verschillende indelingen naar voren komen.

Men moet zich bij elke indeling bewust zijn van de beperkingen ervan, en zich altijd afvragen of de indeling de ontwerper niet remt, in plaats van verder helpt.

Duurzame gebruiksgoederen

Ontwerpergonomie richt zich op het ontwerpen, gebruiken en evalueren van duurzame gebruiksgoederen. Hieronder vallen tevens produkt-, informatie-, communicatiesystemen en produkt-componenten. Met 'systeem' wordt hier bedoeld een samenstel van produkten die in samenhang worden gebruikt. Deze gebruiksgoederen zijn er primair als functievervullers voor gebruikers. Het zijn verlengstukken van een natuurlijk functioneren (zie ide 130, pag. 39).

Voor een succesvolle innovatie is menskundige kennis nodig, omdat de ontwerper bij



Figuur 1.1 Menskunde-technologie-produktontwikkeling

het ontwerpen de mogelijkheden en beperkingen van de te 'verlengen' of te 'verbijzonderen' menselijke functies moet kennen. Dit is vooral van belang bij nieuwe technische mogelijkheden, nieuwe gebruikssituaties en bij nieuwe gebruikersgroepen. Ook bij het evalueren van bestaande producten is menskundig inzicht behulpzaam bij het vinden van de met het gebruik samenhangende gebruikswaarden en gebruikerskenmerken.

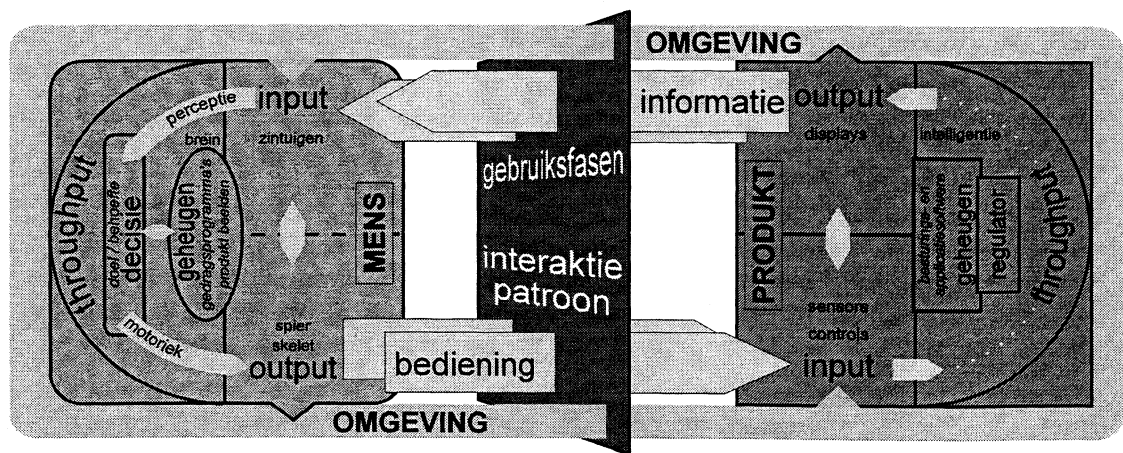
In figuur 1.1 zijn vijf stromingen te zien die van belang zijn voor produktinnovatie. Doel van de vermenging van deze stromen is innovatie tot nieuwere, betere en complexere producten, een toename van welvaart en welzijn, met als gevolg ook een grotere produktafhankelijkheid. Het model geeft slechts de belangrijkste invloeden tussen de verschijnselen weer. Het model zou anders zijn overzicht verliezen. De vraag is of men elk van de vijf invloeden, getekend in figuur 1.1, moet betrekken bij het ontwerp van producten en systemen. Moeten bijvoorbeeld ook culturele, maatschappelijke en ecologische factoren worden meegenomen? Zeker is dat de mens-product interactie in ieder geval bij het ontwerpen een belangrijk aandachtspunt vormt, en dit vooral, maar niet uitsluitend, volgens een natuurwetenschappelijke benadering.

Het Mens-Product Interactie-model

Een andere indeling wordt gegeven door het Mens-Product Interactie-model (figuur 1.2) dat uitgebreid behandeld is in ide 130, § 3.4.

Het Mens-Product Interactie-model is een denkhulp voor de indeling van mensfactoren en produkaspecten. Daarnaast kan het gebruikt worden voor het onderscheiden van gebruiksfasen en voor het bestuderen van de wisselende voorspelbaarheid van interactie en handelingsvrijheid bij produktgebruik.

Verder is het Mens-Product Interactie-model van nut bij het streven de vier ergonomische gebruikskwaliteiten nut, efficiëntie, comfort en veiligheid te realiseren.



Figuur 1.2 Het Mens-Product Interactie-model

Fysieke, sensorische en cognitieve (de humane) aspecten van de Mens-Product Interactie

De indeling in fysieke, sensorische en cognitieve aspecten komt voort uit het Mens-Product Interactie-model, waarin zowel de gebruikende mens als het gebruikte produkt onderverdeeld is in 'input', 'output' en (daartussen) 'throughput and storage'. Deze onderverdeling is ook van belang voor (ontwerp)inzicht in de mogelijke interacties tussen mens en produkt. Die interacties worden er wel door begrensd, maar slechts deels door voorspeld, omdat er meestal een groot aantal vrijheidsgraden bij

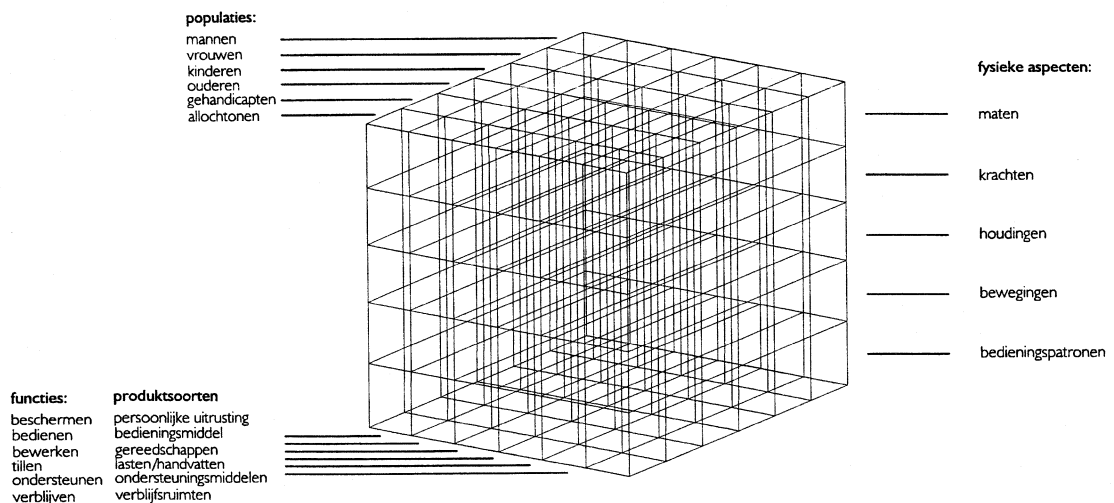
gebruik resteert.

Deze indeling aan de produktzijde kan vooral bij het ontwerpen van 'smart products' en produkten die veel communicatieve functies vervullen, gebruikt worden. Bij zeer eenvoudige 'materiële functievervullers' is de indeling minder zinvol, bijvoorbeeld bij een eetlepel zijn throughput en storage weinig tot niet kenmerkend.

De produktontwerper bedenkt een basis voor gebruikshandelingen en een voor de mentale processen hierbij. Van daaruit kan het Mens-Produkt Interactie-model gebruikt worden voor het krijgen van overzicht, als geheugensteun, voor het begin van het opsporen van mogelijk kritische interactie-variabelen en van de keuze van de gebruikersgroep. Dit kan leiden tot een adequate produktvisie en tot elementen in een programma van eisen en wensen, waarmee aan de capaciteiten, gewoonten en intenties van gebruikers tegemoet wordt gekomen.

Kubusmodel

Een volgende indeling is het kubus-model met als assen: gebruikerspopulaties, menskundige kenmerken (die mogelijk relevant zijn voor de Mens-Produkt Interactie) en produktfuncties. De assen zijn slechts nominale variabelen, met soms enige ordinaliteit. Het kubusmodel dient als een overzicht van mogelijke verbanden tussen de drie categorieën. Het tracht accenten te leggen in ontwerpergonomie en produktontwikkeling en kan een indruk over eventuele onvolledigheden in kennis of in produktassortimenten geven. Elk van de ergonomische aandachtsgebieden is te plaatsen in één of meer cellen (een cel is een blok waarin de drie assen verenigd zijn). Een lege cel zou kunnen wijzen op een mogelijkheid voor een nieuw produkt. In figuur 1.3 is de kubus ingevuld voor de categorie van fysiek ondersteunende produkten, die in § 1.4 behandeld wordt.



Figuur 1.3 Kubusmodel ingevuld voor de fysiek ondersteunende produkten.

Indeling in soort ondersteunende produkten: (vooral) fysiek, sensorisch en cognitief

Een laatste indeling die hier wordt gegeven is een indeling in het soort ondersteunende produkten: fysiek, sensorisch en cognitief. De indeling kan ook 'onderdelen van produkten' (lager niveau) of 'systemen' (hoger niveau) betreffen.

Produkten vallen soms onder twee of alle drie groepen. Een auto bijvoorbeeld is zowel fysiek ondersteunend (verplaatsing, zithouding), sensorisch ondersteunend (displays,

spiegels) als cognitief ondersteunend (route-informatiesystemen).

Sommige produkten kunnen weliswaar onderverdeeld worden in twee of drie soorten ondersteunende produkten, maar de 'ondersteuning' is voornamelijk terug te voeren tot één van de drie groepen. Een stofzuiger bijvoorbeeld, heeft zowel fysieke, sensorische als cognitieve aspecten waar de ontwerper rekening mee moet houden. In essentie is het echter een fysiek ondersteunend produkt (het is ooit ontworpen als fysiek verlengstuk van de mens) dat, eenmaal gematerialiseerd tot ontwerp, zowel sensorische problemen (bijvoorbeeld geluidshinder), als cognitieve (bijvoorbeeld de begrijpelijkheid van de bediening) met zich mee brengt.

De indeling is bedoeld als hulp bij het denken omtrent produkten in menselijke functies; produkten als vervangers (prothesen) en ondersteuners (orthesen).

1.2 Ontwikkeling van techniek

Het is een biologisch gegeven dat de mens een relatief zeer grote hersenmassa en een stel veelzijdig manipulerende handen heeft en daarbij behept is met grote nieuwsgierigheid en improvisatietalent. Neigingen die daaruit volgen zijn het vullen van het brein met ervaringen en het naar eigen hand zetten van de natuurlijke omgeving.

Er wordt uitgebreid gebruik gemaakt van de inventiviteit tot zoeken van materiaal met bepaalde eigenschappen, om die te vormen tot hulpstukken voor eigen biologische en psychologische functies (zoals genoemd in ide 130). Het resultaat is de ontwerpende mens, die zich een techno-cultuur schept, van beter beheersen van: voeding, verblijven, verplaatsen; een mens met betere gezondheid, met meer kennis en die opereert in complexer sociale organisaties. Sommigen maken van dat ontwerpen zelfs hun beroep.

Een belangrijk deel van die hulpstukken zijn de duurzame gebruiksgoederen, direct bij/aan het lichaam, voor intensieve interactie (symbiose).

Een ander deel vormen de werktuigen om voornoemde goederen te maken, een taak van de werktuigbouw en verder het deel voor infrastructuur zoals gebouwen, wegen, e.d., op het terrein van de civiele techniek en bouwkunde, e.d.

Opmerkelijk is de snelle ontwikkeling van techniek. We leven grotendeels in een artificiële wereld. De omgeving is dus snel aan het veranderen, maar onze natuurlijke toerusting is tienduizenden jaren min of meer gelijk gebleven: de biologische evolutie gaat uiterst traag in vergelijking met de culturele en technische evolutie.

Produktinnovatie betekent dus vernieuwing van hulpstukken en -systemen voor niet of nauwelijks veranderende fysieke, sensorische en cognitieve capaciteiten.

Wat bio- en psychologisch verandert, is de omvang van de wereldbevolking, langer levende individuen, verbeterende gezondheid en berhoogde opleiding. Dit is zowel aanleiding tot, als gevolg van produktinnovatie. Ook 'eenvoudige' produkten blijken noodzakelijk en kunnen steeds veranderd of verder ontwikkeld worden.

Als algemene ontwikkelingstrends in de gebruiksgoederen ziet men meer artificiële intelligentie en een toenemende variëteit van functie-ervulling en dat bij een afname van materiële massa, wegens miniaturisatie en dematerialisatie (elektronische signalen in plaats van hardware mechanismen). Deze grotere variatie in produkten heeft ook een grotere variatie in produktgebruik ten gevolg en tevens een toenemende variatie in gewoonten, voorkeuren, intenties en gedragingen van gebruikers. Het ontwerpen van duurzame gebruiksgoederen wordt er daarmee niet eenvoudiger op en de menskundige kennis voor een verantwoorde produktontwikkeling dient nodig en snel te worden uitgebreid en toegepast.

1.3 **Ontwikkeling van wetenschap die relevant is voor de ontwerpergonomie**

Wetenschap is het groeiende, menselijke bedrijf van het systematisch zoeken, vastleggen, communiceren en toepassingsgereed maken van kennis en inzicht betreffende de regelmaat in de verschijnselen. 'Systematisch' duidt op spelregels: theorie en model dienen een logisch uitvloeisel te zijn van proefondervindelijk onderzoek (empirie), maar theorie kan ook aanleiding zijn tot nieuwe gerichte empirie. De metingen dienen herhaalbaar en toetsbaar te zijn. Verder dient het begrippenapparaat consistent en spaarzaam te zijn.

De wetenschap heeft haar wortels in de klassieke oudheid (bijvoorbeeld Aristoteles) en in de arabisch-joodse middeleeuwen. In Europa bestaat de eerste universiteit vanaf 1090 (filosofie, theologie, rechten, geneeskunst). Maar wetenschap is pas duidelijk onderscheidbaar vanaf de Renaissance en als maatschappelijke branche pas één à anderhalve eeuw. Tegenwoordig bestaan er vele groepen en takken (disciplines). De groepen staan voor de volgende wetenschappen: geestes- en cultuurwetenschappen (alfa), natuurwetenschappen (bèta), sociale wetenschappen (gamma). Technische wetenschappen zijn vooral bèta, maar voor ontwerpen is weleens delta voorgesteld. Daarnaast onderscheidt men ook wel de meta-wetenschappen zoals filosofie, wiskunde en methodologie die een grondslag vormen voor vele andere wetenschappen.

Figuur 1.1 laat zien dat de ontwikkeling van gebruiksgoederen gedragen wordt door onder meer het drietal: techniek en ambacht, technische wetenschappen, menskundige wetenschappen. Die laatste bestaan uit vele disciplines van α -, β - of γ -aard, bijvoorbeeld respectievelijk geschiedenis, biomechanica en sociologie. Industrieel Ontwerpen steunt eveneens op een breed scala; bijvoorbeeld culturele aspecten van vormgeving, materiaalfysica en marktkunde. Ontwerpergonomie als 'sub-discipline' van Industrieel Ontwerpen is menskundige technologie: een ontwerpgerichte studie van de mens-product interactie, vooral gebaseerd op natuurwetenschappelijke, menskundige disciplines.

De ontwerpergonomie is uiteraard ook nauw verweven met haar toepassingsgebied: de techniek. De, ondermeer menskundige, kennis dient bij produktontwikkeling 'vertaald' te worden in materiaal, vorm, werking en fabricage. Ontwerpergonomie mondt uit in richtlijnen voor hard- en software, in normen, in elementen voor programma's van eisen en in toetsing. Ontwerpergonomie is niet geïnteresseerd in 'produktloze' mensen, maar in de mens-product interactie, daarbij ook de technische, psychologische en sociale omgeving betreffend.

De ontwerpergonomie beoogt geen meesterschap in al de voornoemde wetenschappelijke disciplines, maar selecteert begrippen, theorieën en methoden en bouwt met eigen doelstellingen voort. Eigen onderzoek en groei zijn nodig naar een eigen corpus van kennis en methoden, ten bate van verantwoorde, humane, produktinnovatie.

In de volgende paragrafen zal in het kort de ontwikkeling van de ontwerpergonomie van de duurzame gebruiksgoederen worden behandeld volgens de indeling in fysiek-, sensorisch- en cognitief ondersteunende produkten. Tevens worden de 'toeleverende' disciplines vermeld, die de basis hebben gevormd van het vakgebied, waarvan in dit dictaat verschillende aspecten worden behandeld.

1.4 **De fysiek ondersteunende produkten (produkten, onderdelen, systemen)**

In de volgende matrix staan produkttypen (zie ok figuur 1.3) tegenover kennisgebieden van de fysieke ergonomie (tevens hoofdstukken in deel I van dit boek en van deel II van ide 130). Met zo'n matrix wordt het mogelijk nadrukken aan te geven.

Zo zijn vehicles combinaties van de produkttypen 'Cabins', 'Supports' en 'Controls'. Bovendien bezitten voertuigen ook vaak componenten die naast fysiek ondersteunend ook sensorisch en cognitief ondersteunend zijn. Dit vereist kennis van menig hoofdstuk uit dit dictaat.

Produktveiligheid vindt men bij veel van de produkttypen, maar is vooral van belang bij het produkttype 'Tools'.

Endothesen (of implantaten) vormen een bijzondere categorie als intern-fysieke produkten, naast de overige gebruiksvoorwerpen aan, op of bij het lichaam.

Produkttype	Kennisgebied	Statische antropometrie	Dynamische antropometrie	Passieve kracht-opvang	Actieve kracht-uitoefening	Vermoeiing, schaden	Leren bedienen
Cabins		✓					
Supports		✓	✓	✓			
Outfits		✓	✓				
Grips & loads			✓	✓	✓	✓	
Tools				✓	✓	✓	✓
Controls					✓		✓

Figuur 1.4 Overzicht van produkttypen van fysiek ondersteunende produkten versus kennisgebieden (tevens hoofdstukken in deel II van ide 130) uit de fysieke ergonomie

1.4.1 Ontwikkelingen in de fysiek ondersteunende produkten

Kijkende naar het rijtje van cabins tot controls, wordt duidelijk dat dit de groep van artefacten is met de langste historie: hutten, jachtwapens, stenen bijlen, messen en schrapers, kleding, draagnetten, e.d. Alleen de controls (bedieningsknoppen, e.d.) zijn recent verschenen. Wezenlijk hierbij is de ontwikkeling in de keuze van materialen en bewerkingstechnieken. Eerst plantaardig en dierlijk, daarna ook steen en keramiek, later metalen erbij en nu dan tevens 'kunststoffen'. Eerst drogen, looien, eenvoudig verspanen, daarna gieten en een langzame toename in verscheidenheid en complexiteit van verbinden, bouwen, coaten en beheersen van mechanische werking en van materiaal-eigenschappen.

Tegenwoordig gaat het om massa-productie en 'customizing' (software-gestuurde variatie in massa-productie op bestelling van individuele klanten).

Kleine verblijfsruimten werden kamers en gebouwen. Eenvoudige slaap- en verblijfsmiddelen werden gevarieerd meubilair, met specialisaties zoals operatietafels, racewagenstoelen etc. Kleding veranderde door mode en materialen, met specialisaties zoals asbestpakken voor de brandweer, duikerpakken en astronautenpakken.

OUR \$10.75 NEW 1902 MODEL DROP FRAME GIRLS' BICYCLE FOR GIRLS FROM 7 TO 12 YEARS OF AGE.

THIS SPECIAL \$10.75 BICYCLE is the highest grade bicycle made for girls. Made of the highest grade materials, by skilled mechanics, equipped with the highest grade equipment, including the celebrated single tube guaranteed Hercules tire, and offered at our special \$10.75 price, at a gain based on the actual cost of material and labor, with but one small percentage of profit added.

THIS IS THE EXACT SAME BICYCLE as our special \$10.75 boy's bicycle, with the exception of the girls style of drop current frame.

YOU WILL NOTE we furnish these wheels with 16-inch frame for girls from 7 to 9 years of age, 20-inch frame for girls from 10 to 12 years of age.

The price is the same. In ordering be sure to name the different size frames to accommodate the differences.

UNDERSTAND every bicycle is covered by a finding guarantee as to quality of material and workmanship. Every pair of tires is covered by our regular guarantee.

DESCRIPTION.
This bicycle is exactly the same as the boy's bicycle, with the exception of the drop current frame. The frame is 16 or 20 inches high, made from highest grade tubing, nicely concealed, nicely finished, made extra strong in every part. The wheels are of 20 inches in diameter, strictly high grade. We use high grade, fully finished, non-ferrous Victory tires. We use strictly high grade levers from the best, fully finished, heavily nickel plated ball bearing construction, with ball bearings.

TIRES—These are the celebrated Hercules single tube guaranteed tires, fully guaranteed, come complete with quick tire repairer.

HANDLE—We use a special high grade juvenile handle.

SEAT AND SADDLE—We furnish a strictly high grade seat, nickel plated, heavily nickel plated, highly finished, complete with rubber grips.

BEARINGS—We use strictly high grade bearings, drawn from the best, fully finished, accurately ground and adjusted, tempered to a straw color, highly finished and fully guaranteed.

CHAINS—We use a high grade 1/2-inch chain, the best chain used on any juvenile wheel.

PEDALS—We use high grade combination pedals, fully finished, heavily nickel plated and highly finished.

HANGERS—We use the very latest 1000 hanger.

SPEEDEXES—SpeeDEXes are the latest style for 1902, made from the very best steel, highly polished, heavily nickel plated and beautifully finished, mounted on best steel.

GEAR—Gears to 20 inches.

VALVE—You get in this wheel the very highest grade equipment, the same high grade equipment that goes on our highest grade boys' bicycles, including the very best Hercules tires, nickel plated handle bars, ball bearings, extra quality saddle and high quality rubber tires, fresh and clean.

FINISH—Finished in either black or maroon, as desired, hangings finished, all metal parts heavily nickel plated to conform.

NO. 19R74 Girl's 16-inch drop frame bicycle, with 20-inch wheels, for girls 7 to 9 years of age..... **\$10.75** | **NO. 19R75** Girl's 20-inch drop frame bicycle, with 20-inch wheels, for girls 10 to 12 years of age..... **\$10.75**

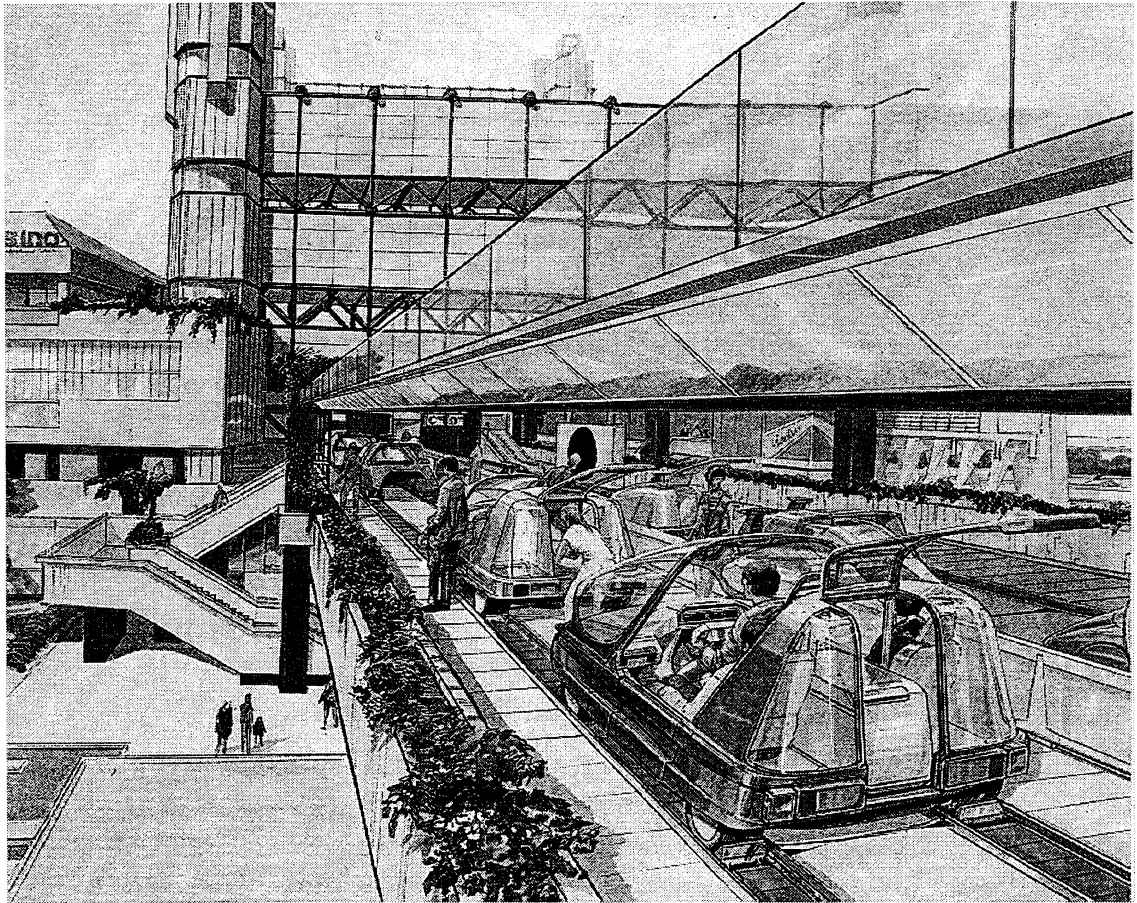
TEN DAYS' TRIAL OFFER. While you wait for your bicycle, we will send you the best of our books, and we will give you the best of our tips. If you have any reason for not desiring the bicycle, simply return the bicycle to us and we will immediately return your money, including transportation charges.

Figuur 1.5 Sears en Roebuck, 1902.

Grips and loads ondergingen enorme veranderingen door de ontwikkeling van middelen voor vervoeren, tillen, bewaren en verpakken. Vervoer van componenten en goederen vormen massa-stromen op de wereld van import en export en reizen is normaal.

De opmerkelijkste progressie is te vinden in de tools; eerst wat potten, naai- en jachtgerei en graafstokken. Werpt men nu een blik in een modale keuken, huiskamer, kantoor of werkplaats, dan is te zien in welke verscheidenheid en aantallen handfuncties worden vervangen, geholpen of verbijzonderd.

Er is weinig reden te veronderstellen dat de fysiek ondersteunende produkten aan het eind van hun ontwikkeling zijn. Er zijn weliswaar biologische constanten, maar ook steeds nieuwe wensen, situaties en modes. Ook nu wordt nog niet aan alle wensen voldaan. Gehandicapten en ouderen zijn relatief verwaarloosd, de derde-wereldbevolking ligt ruim achter in goederen en de eco-problematiek eist oplossingen met minder en ander materiaalgebruik en energievormen. Bij de fysiek ondersteunende produkten zien we bovendien het binnendringen van elektronische intelligentie (kookprogramma's in het fornuis, stoelen met geheugens voor standen, e.d.). Daarnaast is er de penetratie van krachtbronnen in handwerktuigen (batterij-schroevendraaier) en een verdere ontwikkeling van speech-control (commando's uitspreken tegen karretjes, deuren, e.d.). Het ziet ernaar uit dat het ontwerpen van pro-, or- en endothesen pas in het prille begin is. Men bekijkt eens de wereld van de gebruiksgoederen rond de vorige eeuwwisseling (bijvoorbeeld Sears & Roebuck catalogue 1902) en men extrapolere dat verschil naar bijvoorbeeld 2050 A.D. met dubbele snelheid. Bijna alles zal anders zijn en dat moet nog allemaal bedacht en gemaakt worden.



Figuur 1.6 Toekomstprent van de gebroeders Das.

1.4.2 Toeleverende disciplines van de fysiek ondersteunende produkten

In deze paragraaf worden de belangrijkste toeleverende disciplines van de fysiek ondersteunende produkten behandeld.

Anatomie

Anatomie is de ontleedkunde van het menselijk lichaam, en wel de beschrijving van de vorm en de ligging van weefsels en organen; deze vormt de basis (als statica, structuur-analyse) van biologie en geneeskunde. De kennis was fragmentarisch tot de Renaissance, Versalius 1543. Nu is er bijvoorbeeld de beroemde 'Gray's Anatomy' 1906-1995.

Fysiologie

Fysiologie is de leer van de werking van de organen, maar ook van de cellen en de organsystemen; het vormt de basis van de functieleer in de biologie en de geneeskunde. De kennis groeit duidelijk vanaf ongeveer de 17^e eeuw; bijvoorbeeld William Harvey (1578-1657) beschreef als eerste de bloedsomloop.

Antropometrie

Antropometrie is de leer der externe afmetingen en vormen van het menselijk lichaam.

Voorlopers zijn te vinden in de regels voor het afbeelden van de mens in de kunst van Oud-Egypte en klassiek Griekenland, of in de maatsystemen voor objecten op basis van het menselijke lichaam (voet, duim, el, vaam). Eind vorige eeuw kwam de fysische antropologie op ter vergelijking van de lichaamsvormen van de volkeren op aarde. Hierdoor bestaat er een goede systematiek van begrippen en meetmethoden die niet alleen gericht is op verschillen tussen, maar ook en meer op variaties binnen populaties (Martin, 1926). Deze kennis wordt gebruikt in de ergonomie sinds Dempster (1955).

Biomechanica

Biomechanica is toepassing van begrippen en methoden van de mechanica op anatomische en fysiologische verschijnselen zoals evenwicht, beweging en kracht. Voorlopers zijn: Gallilei's leerling Borelli 'De motu animalium' (1679), Bernouilli (1721) en de Duitse gebroeders W. en E. Weber (1836). Door de ontwikkeling van de fotografie worden in de tweede helft van de 19e eeuw de mogelijkheden van registreren en analyseren aanmerkelijk verbeterd: door Marey in Frankrijk en Muybridge in de USA. De kinesiologie (leer de menselijke bewegingen) is gegrondvest door de rus Bernstein (1926 en later). Tegenwoordig vormen bewegingswetenschappen een aparte universitaire opleiding.

In deel I van dit dictaat komt het ontwerpen van fysiek ondersteunende producten uitgebreid aan de orde.

1.5 Sensorisch ondersteunende producten (produkten, onderdelen, systemen)

functie	visuele hulp:	audio hulp:
prothesen (vervangend)	zonne-, leesbril, lens	gehoorapparaat
micro (klein)	loupe, micro-, oscilloscoop	luidheidmeter
peri (omheen)	spiegel, periscoop	intercom, babyfoon
tele (ver)	verrekijker, tv-circuit, fax	telefoon, radio
mnemo (geheugen)	foto, tekening, film	audio-tape, compact disc

Figuur 1.7 Voorbeelden van produkten die op directe wijze zintuiglijke mogelijkheden ondersteunen

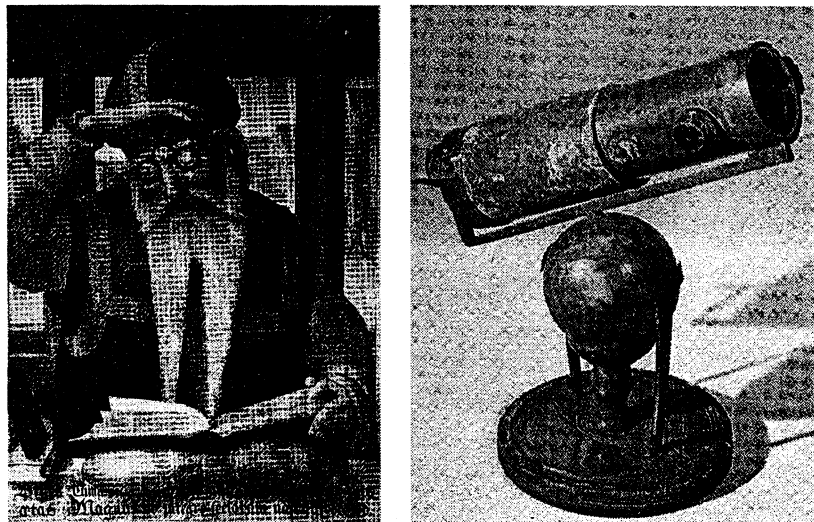
Deze categorie van produkten en produktfuncties is moeilijker in een matrix zoals figuur 1.4 te vangen. Dit komt ondermeer omdat het meestal produktonderdelen betreft. Bovendien werken ze vaak als signaaldragend element en dan ook nog over enkele sensorische modaliteiten tegelijk. Een zuiver sensorisch ondersteunend produkt is bijvoorbeeld een gehoorapparaat of een bril. Er bestaat eveneens overlap met cognitief-ondersteunende functies (bijvoorbeeld mnemisch of zelfs predictief). Vandaar dat deze sensorisch ondersteunende produkten tezamen met de in § 1.6 behandelde cognitief ondersteunende produkten, het aandachtsgebied van de informationele ergonomie vormen.

ontworpen signalering	visueel	auditief	tactiel
element	teken, letter, cijfer	geluidsstoot, kliktoon	putje, bobbel, voelklik
combinatie	woord, getal, pictogram	geluidsreeks	ribbels, textuur, vorm
samenstel	tekst, tabel	machine-geluid	weerstand, massa, baan
patroon	afbeelding, grafiek	machine-geluid	braille, weerstand, massa, baan
statische display	overzichtspaneel, wegwijzer	ambulance-hoorn	voelbord, voelmodel
dynamische display	klok, tv-scherm	kunstspraak	vertaler van gedrukte naar voeltekst

Figuur 1.8 Voorbeelden van producten en componenten die signalen geven aan de verschillende zintuigen

1.5.1 Ontwikkelingen in de sensorisch ondersteunende producten

De sensorisch ondersteunende producten vormen een jongere productencategorie dan de fysiek ondersteunende producten. Eén van de eerste voorbeelden van een sensorisch product is de bril (13e eeuw). Geen serieproduct, maar wel veel eerder ontwikkeld is het duizenden jaren oude Stonehenge, dat in zekere zin een sensorisch hulpmiddel is om de hoogste en de laagste zonnestand van de seizoenen waar te nemen. Enige andere voorbeelden zijn de verrekijker in de 16e eeuw en de microscoop in de 17e eeuw.



Figuur 1.9 Oude bril en vroege telescoop

Deze producten kwamen vaak voort uit een sensorisch gemis. Dit gemis kon zowel een gebrek zijn (leesbril voor een verslechterend oog) als een behoefte om de waarneming te vergroten met behulp van allerlei soorten scopen: tele-, micro-, peri-, oscillo, etc. Tegenwoordig zijn er zelfs brillen voor infra-rood visie en zijn er aanzetten voor een 'kunstoog', waarbij een matrix van fotocellen pulsen aan de oogzenuw doorzendt.

Een ander oud sensorisch hulpmiddel was de oortoeter voor hardhorenden. Een oud probleem dat vooral bij ouderen nog steeds speelt. Tegenwoordig is er een snelle ontwikkeling van gehoorapparaten en wordt er geëxperimenteerd met kunstgehoor.

Het vastleggen van beeld en geluid heeft een hoge vlucht genomen; de ontwikkeling van 'movies' naar 'feelies' is nog niet gemaakt; wel zijn er 3-D-film en braille-regels en enkele 'virtual reality'-systemen met ondermeer enige taktiele terugkoppeling. De hulpstukken voor de andere zintuigen dan voor gezicht en gehoor zijn nog nauwelijks in de ontwerpaandacht gekomen.

Wegens de overlap met de cognitieve produktencategorie zullen de tekens en symbolen (zie fig. 1.8) daar aan bod komen. Bij de sensorisch ondersteunende produkten vindt, nog sterker dan bij voorgaande categorie, een snelle penetratie plaats van micro-elektronica: sensoren, processoren, geheugens en actuatoren.

1.5.2 Toeleverende disciplines van de sensorisch ondersteunende produkten

De belangrijkste toeleverende disciplines voor het ontwerpen van sensorisch ondersteunende produkten, componenten en systemen zijn de zintuigfysiologie en de psychofysica.

Zintuigfysiologie

Zintuigfysiologie behelst de studie van de werking van de zintuigen voor de opvang, selectie, transport en verwerking van signalen uit buiten- en binnenwereld (extero- en interoceptie). Deze wetenschap is nauwelijks een eeuw oud en wordt vooral gedreven door oogheelkunde en optica en door oorheelkunde en akoestica. Veel kennis wordt verzameld via dierproeven en er is een nauwe relatie met de neurologie (zenuwleer).

Psychofysica

Psychofysica is de leer der zintuiglijke waarneming, op basis van natuurkundige en psychologische methoden. De nadruk ligt op het vaststellen van spectrale-, intensiteits- en temporele resoluties per zintuig en om daar meetschalen aan te verbinden. Bijvoorbeeld indien 20 dB bij 1000 Hz gelijk is aan 20 foon, hoeveel foon (aantal keren luider waargenomen) is dan 60 dB bij 200 Hz? Deze wetenschap is ruim een eeuw geleden begonnen in Duitsland: Wundt, Weber. Vooral laboratoriumproeven met mensen werden hiervoor gebruikt. Klassiekers zijn Woodworth and Schlosberg (1953), Stevens (1951). Tegenwoordig geldt het ook als een onderdeel van de psychologische functieleer.

De sensorische ergonomie ontleent hieraan vooral de experimentele onderzoeksmethoden, omdat deze discipline vooral op de interactie met de buitenwereld is gericht: zien of horen van complexe externe objecten (signaalbronnen).

1.6 Cognitief ondersteunende produkten (produkten, onderdelen, systemen)

Cognitief-ondersteunende systemen, produkten en componenten zijn te omschrijven als technische artefacten, die vooral de menselijke breinfuncties ondersteunen en vervangen. Die produkten zijn in de vormen van hardware, software of netware. Ze worden ontworpen voor het onthouden, overzien, vooruitzien, besluiten, plannen, sturen etc. Een overzichtsmatrix zoals fig. 1.4 is hier zelfs nog minder goed mogelijk dan voor de sensorisch ondersteunende produkten (fig. 1.7 en 1.8). Historisch gezien is het de jongste groep van materiële functievervullers. De ontwikkeling in micro-elektronica, meet- en regeltechniek, informatica en communicatietechnologie (beide voorgaande als 'telematika' geïntegreerd) hebben hier een belangrijke rol in gespeeld. Industrieel Ontwerpen en ergonomie waren aanvankelijk gericht op klassieke mechanische produkten en daarom eerst slechts op het materiele contactvlak: de hardware van de interface, nu ook op de software- en systeemaspecten (op meer dus dan alleen gebruikers-in- en output van een black box). De interesse gaat onder andere

uit naar mentale modellen die gebruikers in het hoofd hebben over functies en betekenissen van data-processing systemen en naar de interactie, vooral via het interface. Het gaat om redelijk simpele fysieke input met gevarieerde sensorische output (displays) en ertussen, vaak complexe, cognitieve processen bij gebruikers, al dan niet na een langdurig leerproces.

Enkele voorbeelden van mentale functies, vervuld door deze categorie van producten zijn:

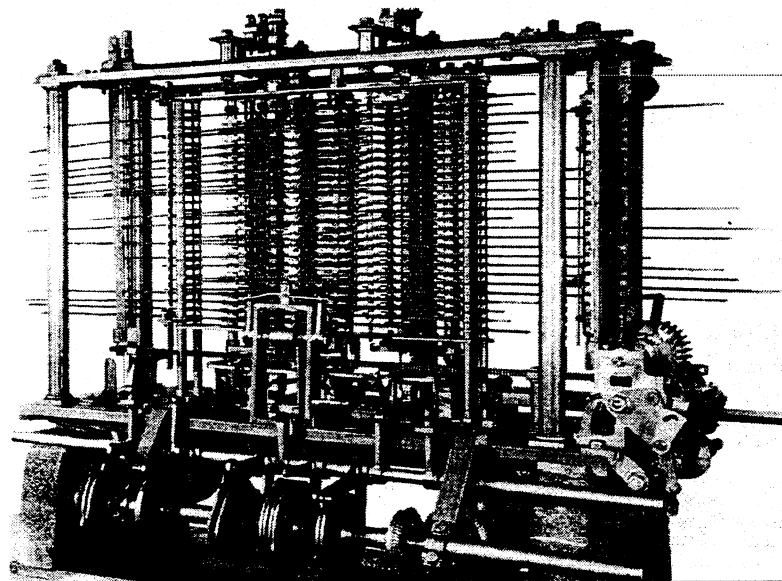
- mnemisch (geheugen hulp): data-banken, met selectie- en ordeningsystemen, elektronische catalogus, CD-i;
- output (vastleggen mentale output): tekstverwerker, tekensystemen;
- communicatie (tussen mensen, of producten, of databanken): telefoon, videofoon, interactieve video, teleconferencing, oproepsysteem (piepers), EDI (electronic data interchange);
- planning (bepalen koers van acties): menu-keuze, elektronische agenda, invoer van set-points en van criteria in productieproces;
- predictief (voorspellen wat gebeurt onder bepaalde omstandigheden): trendcalculatie, 'quickenings' en 'aiding displays', instellen van waarschuwing en van wekken/oproepen;
- sturen (procesontwikkeling programmeren naar einddoel en tussenliggende doelen): industriële procesregeling, optimalisatiesystemen voor voertuiggedrag;
- decision-support (selectief overzicht en analyse voor besluiten): operationele analyses voor optimalisatie, expert-systems;
- simulatie (in model brengen van complexe werkelijkheid): virtual reality, dynamisch modelleren ter voorspelling.

Deze opsomming is zeker niet volledig. Er is een grote variëteit van toepassingen. Van horloge tot Internet, van pocketcalculator tot giga-computer, etc. Produkt-intelligentie wisselt en evenzo de mentale inzet van de gebruiker van zo'n 'extern brein'. Voor leken- en thuisgebruikers 'ter leringhe ende vermaeck' tot aan professionele systemen voor productie, distributie, communicatie en informatie. De nadruk ligt vooral op de auditieve en visuele zintuigen voor de machine-output. Veel interactie tussen de technische systemen vindt echter plaats zonder contact met gebruikers; deze zijn desalniettemin wel betrokken bij het bedenken, maken, installeren, programmeren, onderhouden, repareren, wijzigen en afbreken.

1.6.1 Ontwikkelingen in de cognitief ondersteunende producten

Cognitief ondersteunende producten zijn de meest recente categorie en, oppervlakkig gezien, pas in de tweede helft van deze eeuw begonnen. Babbage ontwierp de eerste mechanische computers echter al in 1822.

De hulpmiddelen voor het menselijk geheugen zijn echter oeroud: merktekens, afbeeldingen in zand, grotschilderingen, steentijdsculpturen. Later is het schrift ontstaan, inclusief getallen; eerst tekeningen, erna gestileerde afbeeldingen (pictogrammen) en turfstreepjes, vervolgens de alfa-numerieke tekens en vele ideogrammen. Tegenwoordig is er een wereld vol drukwerk, elektronisch schrift en ikonen (standaardfiguur met afgesproken betekenis). De geheugenhulpen dienen



Figuur 1.10 De Analytical Engine van Babbage (Uit: Looijen, 1995).

eveneens voor vele andere mentale functies, zoals geïllustreerd met de produktvoorbeelden hiervoor (begin 1.6).

De moderne maatschappij hangt aaneen via technische dataverwerkende- en communicatie-systemen, stand-alone of in netwerken, 'general-purpose' en 'dedicated' (voor specifieke doelen en situaties). De vaste stof fysica, de electronica, de meet- en regeltechniek e.d. stuwen de innovaties in de informatie- en communicatie technologie snel voorwaarts. Wat kortgeleden professionele apparatuur was, staat nu in de huiskamer (bijvoorbeeld de telefoonbeantwoorder) of op de openbare weg (bijvoorbeeld de geldautomaat). Het ontwerpen van vooral consumentenprodukten is in deze categorie nog maar net op gang gekomen. De interactie met deze breintuigen eist een snelle en grondige ontwikkeling van ook de cognitieve ergonomie, om grootschalig nieuw analfabetisme, ofwel "computer-illiteracy" te voorkomen. Verder is het niet onwaarschijnlijk dat de multi-media en telecom ook andere wijzen van denken en communiceren bewerkstelligen en ook dat wijst op ergonomisch innoveren. Science-fiction, met niet geheel irreële basis, fantaseert over dictatuur door computers, over een dagelijkse werkelijkheid die grotendeels 'virtual' is, of over individuele computers die als 'engelbewaarder' alle menselijk gedrag begeleiden. Waarheid worden van die ficties is door ergonomisch ontwerpen te voorkómen.

1.6.2 Toeleverende disciplines van de cognitief ondersteunende produkten

Cognitieve ergonomie is de jongste tak van de ergonomie en veel van de ondersteunende disciplines zijn daarom van recente datum. In zekere zin zijn er ook voorlopers te vinden in de Logica (al oud-Grieks) en Epistemologie (filosofie omtrent de variëteiten, gronden en geldigheid van kennis).

Cognitieve psychologie

Cognitieve psychologie is onderdeel van de psychologie (de leer van het menselijk gedrag; van voelen, kennen en willen). Cognitieve psychologie richt zich op: onthouden, overzien, vooruitzien, besluiten, plannen, sturen, creativiteit, concentratie en leergedrag. In 1885 schreef H. Ebbinghaus 'Über das Gedächtnis'.

Er is veel bekend over deze materie, maar gezien de grote inter-individuele varantie

toch weer weinig. De menskundige kennis ijlt na en is weinig ontwerpgericht, wat zoals gezegd riskant is bij snelle produktinnovatie.

Informatie-theorie

Informatie-theorie is de leer van betekenishebbende, artificiële signalen en de technieken van hun codering via fysische dragers (markers), van hun selectie, ordening, transport en opslag. Specifieker zijn het bewerkingsalgoritmen en programmatuur middels hardware en software. Er is een sterke invloed van de wiskunde en de (micro-)elektronica. Dit vakgebied is pas enkele tientallen jaren oud. Het beïnvloedt ook de opvattingen over de informatie-verwerkende processen door het menselijk brein (de hersenen opgevat als computer). Het levert inzicht in de werking van 'intelligent machines' (artificiële intelligentie) en is van belang voor het ontwerpen van (smart) gebruiksgoederen met micro-elektronische sensoren, processoren, geheugens of actuatoren (bijvoorbeeld geminiaturiseerd tot 'chips').

1.7 Omgevingsconditionerende produkten

Een nog niet besproken categorie is die van de 'omgevingsconditionerende produkten'. Deze zijn moeilijk in het Mens-Produkt Interactie-model te vangen maar zijn wel degelijk van invloed op de mens-produkt-interactie. Voorbeelden hiervan zijn toestellen voor verlichting, verwarming, ventilatie. Deze 'produkten' hebben een grote invloed op het comfort thuis, op het werk, tijdens transport en verblijf in openbare ruimten en dienen dus zeker meegenomen te worden bij het ontwerpen. Eisen en normen op dit gebied zijn te vinden in het Handboek Ergonomie (Voskamp, 1995).

1.8 Opzet van het dictaat

In de volgende hoofdstukken zal niet een verdere uitdieping van theorieën uit de fysieke, sensorische en cognitieve ergonomie het hoofddeel zijn, noch zullen in die volgorde onderwerpen aan bod komen. Eerder is het de opzet om die drie gebieden te mengen, meer aandacht te geven aan meetmethoden en aan het ontwerpen van bepaalde categorieën produkten, waarbij de ontwerpergonomische invalshoek rendeert. Daarbij zal ook bijzondere aandacht worden besteed aan produktveiligheid, gebruiksonderzoek en aan verlichting als omgevingsconditionerend produkt. Voor de in het voorgaande genoemde produkttypen zullen vele ontwerpergonomisch worden geanalyseerd, maar waar nodig zal daartoe eerst het apparaat van methoden en begrippen worden behandeld. Eveneens zal uiteengezet worden welke overwegingen en consequenties er zijn bij het ontwerpen voor speciale gebruikersgroepen. Het dictaat is ingedeeld in drie delen: 'Fysieke ergonomie', 'Informationele ergonomie' en 'Gebruik en Veiligheid'. De informationele ergonomie behandelt zowel de sensorische als de cognitieve aspecten van de mens-produkt interactie.

In de fysieke- en de informationele ergonomie zal vaak, vanuit de capaciteiten en beperkingen van gebruikers, gekomen worden tot een ontwerpmethodiek, daarbij ondersteund door jarenlange kennis van de mens-produkt interactie. Gebruik en veiligheid worden behandeld wegens de vaak grote onvoorspelbaarheid van het produktgebruik. Getracht wordt om invariantie in produktgebruik te vinden en te onderzoeken welke produktkenmerken conditionerend zijn in het gebruik.

Leerdoelen:

- inzicht te hebben in de aard, de oogmerken en het ontwerpnut van de ontwerpergonomie;
- overzicht te hebben van de belangrijkste algemene modellen en indelingen van de ontwerpergonomie.

Begrippen

ontwerpergonomie
mens-produkt interactie
nut van begripsmatige indeling
produkt, systeem, component
relaties technologie, menskunde en produktontwikkeling
modellen: MPI: mens, produkt, interactie (en omgeving)
Kubus: produktfuncties, gebruikerspopulaties, fysieke aspecten
fysiek-, sensorisch-, cognitief ondersteunende produkten
biologische, culturele, technische en wetenschappelijke evoluties
matrix van fysiek ondersteunende produkten en kennisgebieden
ordening van sensorisch ondersteunende produkten en van ontworpen signalering
voorbeelden van diverse functies van 'externe brein-typen'
omgevingsconditionerende produkten
ontwikkelingstrends in de innovatie van gebruiksvoorwerpen

Literatuur

- Dirken, J.M., M.C. Alders, B.J. Daams, J.C. Danhof en O.D. Rietkerk, 1994.
Inleiding tot de produkt-en systeemergonomie. TU Delft, Facultet van het
Industrieel Ontwerpen, tweede druk, oktober 1994.
- Looijen, M., nr 1, maart 1995.
De computer en zijn geschiedenis. In: SURF Magazine, nr. 1, maart 1995.
- Stevens, S.S., 1951.
Handbook of experimental psychology. Wiley, New York-Chapman & Hall,
London.
- Woodworth, R.S. and H. Schlosberg, 1955.
Experimental psychology. Henry Holt, New York.
- Voskamp, P. (red.), 1995.
Handboek ergonomie: de stand van de ergonomie in de Arbowet. Samsom
BedrijfsInformatie, Alphen aan den Rijn.

2 Produktontwerpen en fysieke data

In ide130 en in Hoofdstuk 1 van dit diktaat is duidelijk gemaakt wat het MPI-model bijdraagt aan de studie van de mens-produkt-interactie ten aanzien van onder meer de fysiek ondersteunende produkten. Hiermee worden bedoeld de kleine verblijfsruimten, de lichaamsondersteuningsmiddelen, de persoonlijke uitrustingen, de handvatten en lasten, de handwerktuigen en de bedieningsonderdelen.

Om fysieke data zinvol te kunnen gebruiken, is het handig onderscheid te maken in fysiek ergonomische (produkt)modellen. Omdat we in de fysieke ergonomie zowel met antropometrische en biomechanische data als met produkt data te maken hebben, onderscheiden we A-modellen, B-modellen en P-modellen.

De lezer kan in het proefschrift 'Op Maat Gemaakt' (Molenbroek, 1994) meer achtergrondinformatie over dit diktaat- hoofdstuk vinden.

Onder een "antropometrisch model" (A-model) wordt hier in navolging van Lombaers et al.(1985) verstaan een onvolledige, maar gerichte en systematische weergave of nabootsing van antropometrische aspecten van een populatie.

Onder een "biomechanisch model" (B-model) wordt hier verstaan een onvolledige, maar gerichte en systematische weergave of nabootsing van biomechanische aspecten van een populatie.

Onder een "produktmodel" (P-model) wordt hier verstaan een onvolledige, maar steeds betere weergave van een produkt, zoals dit in de opeenvolgende stadia van het produktontwikkelingsproces (= ontwerpproces) wordt gebruikt, met de nadruk op de Mens-Produkt-Interactie (MPI).

Zo kan men ook nog spreken van een AP-model (een antropometrisch produkt-model) en een BP-model (een biomechanisch produkt-model) als een samenstelling van een A- en een P-model of een B- en een P-model.

Op belangrijke plaatsen in het ontwerpproces is het gebruik van een A-model of een B-model zinvol:

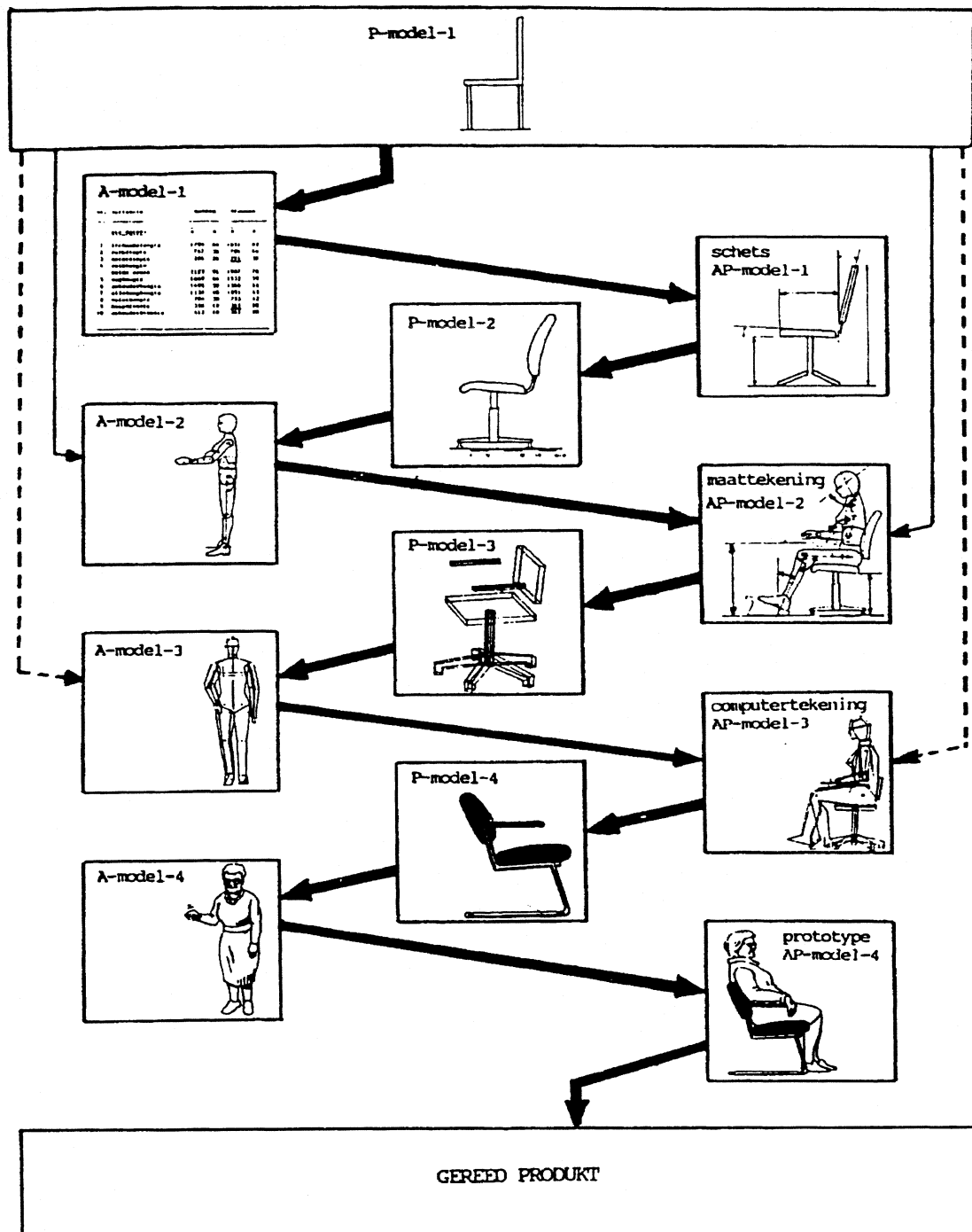
- bij het genereren van ideeën over nieuwe of verbeterde functievervullers;
- bij het testen van een produkt-concept;
- bij het voorbereiden van het programma van eisen;
- bij het detailleren van maat en vorm van contactvlakken;
- bij het detailleren van een mechanische weerstand voor produkt-gebruik;
- bij het testen van het prototype of definitieve produkt.

In het ontstaansproces vindt er een toenemende specificatie van vorm, materiaal, werking en gebruikswijze plaats. Welke tijdens het produktgebruik nog verder kunnen evalueren.

Het doel van een antropometrisch of biomechanisch produkt-model is het geven van de gelegenheid aan de ontwerper, of aan de beoordelaar van het produkt, om een P-model te evalueren op de menselijke aspecten, zoals maten, krachten, houdingen en bedieningspatronen binnen het kader van belangrijke aspecten van een bepaalde mens-produkt interactie.

2.1 Het fysiek ergonomisch ontwerpproces

Het fysiek ergonomisch ontwerpproces is een proces, waarin het meer algemene ontwerpproces wordt beperkt tot die van de fysieke ergonomie, wat neerkomt op het kiezen, maken en gebruiken van de A-, B-, P-, AP- en BP-modellen (figuur 2.1).



Figuur 2.1 Het antropometrisch ontwerpproces schematisch weergegeven.

De fysieke modellen, zoals manikins, computermodellen en proefpersonen (zie Molenbroek (1994) voor een inventarisatie) zijn uiteraard meer functioneel dan een tabel. Immers een "niet-statische rechtop"-houding is met een tabel moeilijk te beoordelen, maar met de andere antropometrische modellen is dit vaak wel mogelijk, omdat hierin bijvoorbeeld de hoeken van of afstanden tussen de scharnierpunten van het skeletstelsel zijn verwerkt.

In het prilste stadium van het ontwerpproces is er in de gedachte van de ontwerper/ beoordelaar al een vaag, intuïtief, maar liefst professioneel, beeld van het produkt, de gebruiker en de interactie. Dit zou men het AP-model-0 kunnen noemen. Analoog met de Mens-Produkt-Interactie (MPI) bij het werkelijk gebruik van een reeds gefabriceerd produkt, treedt er nu in het hoofd van de ontwerper een proces op dat bestaat uit "trial en error" en terugkoppeling. Het verschil is echter dat de gebruiker zijn te verwachten handeling wellicht aanpast na een eerste confrontatie met het produkt; de ontwerper echter past de Mens-Produkt-Interactie aan, tot het AP model. Vaak zal dit het produktmodel zijn in het betreffende stadium, soms zal dit het A-model zijn of beide. Dit zou men het AP- model-1 kunnen noemen.

De aanpassingen van het P-model-1 die leiden tot P-model-2, zijn enerzijds het gevolg van een verbijzondering van het AP-model-1 en anderzijds het herzien van de intuïtieve gedachte over de aard van de Mens-Produkt-Interactie, gekenmerkt door aspecten zoals discomfort, accuratesse, snelheid, veiligheid en vermoeidheid. Door de hoeveelheid van onderling niet onafhankelijke factoren, die een rol spelen, zijn er veelal moeilijk eenduidige algoritmen te formuleren voor het verband tussen een set relevante maten in het A-model (AM) en de overeenkomstige set maten in het P-model (PM). Evenzo is voor de biomechanische aspecten een Vrij-lichaams-diagram (VLD), te beschouwen als een BP-model.

Voorbeeld 1:

Men wil weten welke mensmaten horen bij een set produktmaten van een rolstoel. Twee sets met relevante maten resulteren:

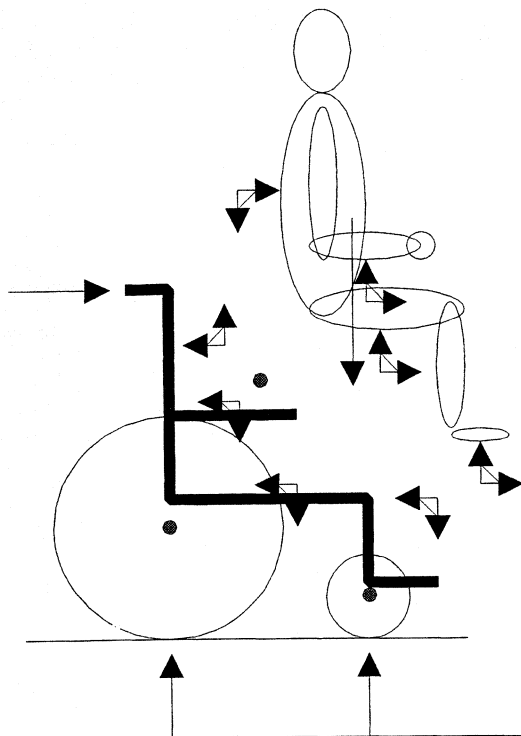
A- model	P-model
zitting diepte (lengte)	bil-knieholte diepte (lengte)
zitting breedte	heup breedte
zitting hoogte	popliteale hoogte
rugleuning hoogte	acromion hoogte
armsteun hoogte	elleboog-zitvlak hoogte

Voorbeeld 2:

Men wil weten welke krachten optreden bij de rolstoel-situatie uit voorbeeld 1 en beseft dat een kracht anders dan een lichaamsmaat een vector is en dus bepaald wordt door grootte en richting.

B-model	P-model
lichaamsgewicht	normaalkracht-zitting
houding	wrijvingskracht-zitting
	normaalkracht-voetenplank
	normaalkracht-rugleuning
	normaalkracht-armleuning

De marges tussen produkt en mens-kenmerk zijn experimenteel bepaald of te bepalen. Zo zal bijvoorbeeld de zittingbreedte voor spastische kinderen met een elektrische rolstoel nauwer moeten aansluiten aan de heupbreedte, maar voor een handaangedreven rolstoel zal een zekere speling juist comfortabel zijn (Henze en Staarink, 1989; Steenbekkers en Molenbroek, 1990; Sieuwertsen en Molenbroek, 1990).



Figuur 2.2 BP-model

Een verschil tussen het A-model en het P-model kan worden gevormd door enkele toeslagfactoren, die bestaan uit proefondervindelijke, al dan niet genormeerde of geschatte, waarden:

- KT voor kleding en uitrusting,
- HT houdingsvariatie, bedoeld voor de omrekening van statisch gemeten waarden naar functionele maten,
- OT overige zaken, zoals vermoeidheid etc..

Voor elke, voor de interactie relevante, produktmaat (PM) en mensmaat (AM) geldt dan in het algemeen:

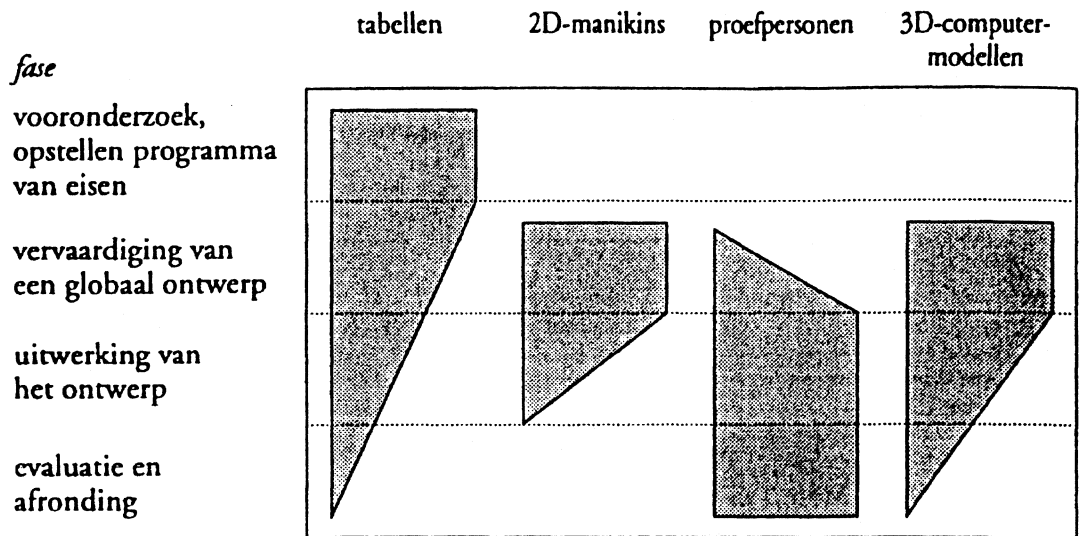
$$PM = f(AM + KT + HT + OT)$$

Voorbeeld: voor een werkvlak bij staand werk, waarbij precies te werk gegaan moet worden, geldt:

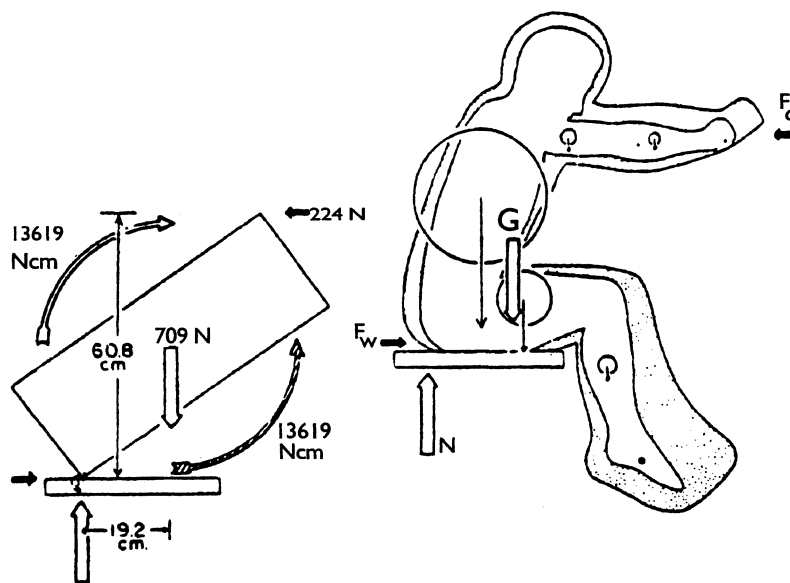
- AM = de ellebooghoogte staand
- KT = de hakhoogte
- HT = 10-20 cm boven de elleboog wegens korte kijklijn
- OT = 3 cm inzakken na lang staan.

Voor elke fase van het ontwerpproces is niet elk AP-model even bruikbaar. Welk antropometrisch model voor welke fase van het ontwerp geschikt is, staat in figuur 2.3.

Voor een BP-model geldt dat het van groot belang is eerst na te gaan of een 2D of een 3D-analyse gemaakt moet worden, gezien de richtingen van de optredende krachten.



Figuur 2.3 Fasering in de A-modellen (naar Lombaers et al. 1985)

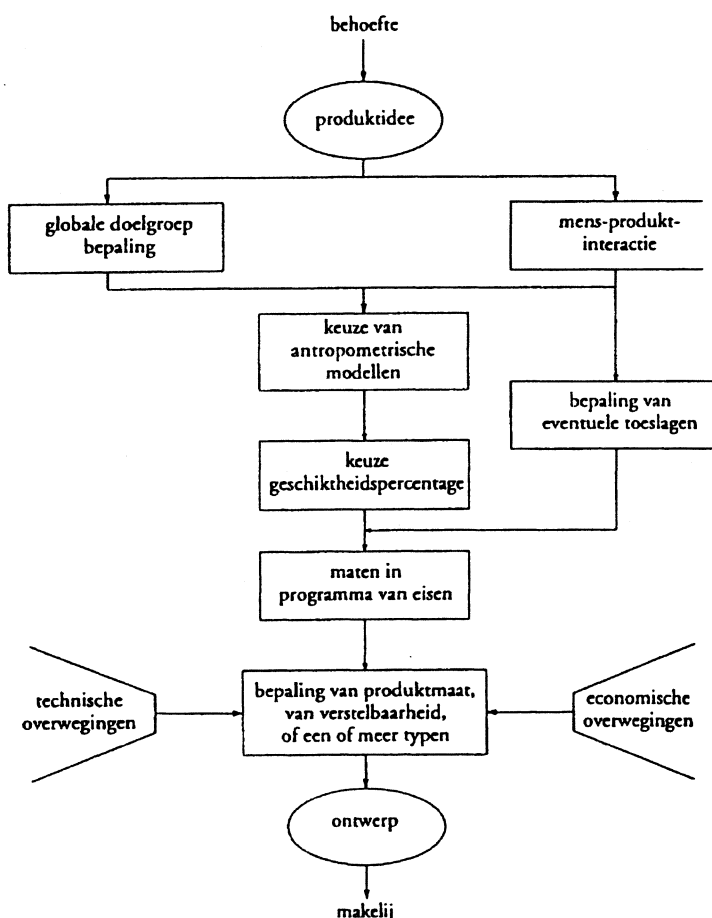


Figuur 2.4 Het zittende lichaam in duwpositie en vereenvoudigde voorstelling door een in evenwicht gehouden blok (Dempster, 1955). F_d = duwkracht, F_w = wrijvingskracht, G = lichaamsgewicht. Bij statisch evenwicht geldt:

$$\begin{aligned} \sum H = 0 &\rightarrow F_d = F_w = 224 \text{ N} \\ \sum V = 0 &\rightarrow G = N = 709 \text{ N} \\ \sum M = 0 &\rightarrow F_d \times 60,8 = G \times 19,2 \end{aligned}$$

Vervolgens is het zinvol iets preciezer te kijken naar de gebeurtenissen, die voorafgaan aan het vaststellen van een produktmaat; dus als het ware het "inzoomen" op één toetsing in het AP-model. De volgende stappen worden dan daarbij genomen, waarbij figuur 2.5 wordt gebruikt als samenvatting van mogelijke relevante factoren voor het industrieel ontwerpen uit de literatuur (Molenbroek, 1994).

4. Het beschrijven van de eventuele toeslagfactoren (HT + KT + OT), waarvan de waarden onder meer afhangen van de te verrichten functie. Het proces om systematisch te komen tot een antropometrische waarde, die nodig is en bepalend is voor een ontwerp- c.q. produktmaat, wordt schematisch in figuur 2. 6 weergegeven.



Figuur 2.6 Het proces van een antropometrische richtlijn (Molenbroek,1994).

Een overzicht van belangrijke bronnen (antropometrische tabellen) is te vinden in de bijlage. Daarin zijn tevens opgenomen: KIMA;DINED; GDVV;DUTCHMIL.

Overwegingen bij gebruik van A- of B-Modellen:

1. Wat biedt de ergonomische literatuur:
 - A: Tijdschriften zoals: Applied Ergonomics, Ergonomics, Human Factors, of Biomechanics
 - B: Handboeken zoals vermeld in Bijlage 19
 - C: Internet-WEB-sites:

ERGOWEB (algemene ergonomie)	http:tucker.mech.utah.edu
HFES Human Factors and Ergonomics Society	http://www.hfes.vt.edu
Biomechanics Worldwide	http://dragon.acadiau.ca/~pbaudin/biomch.htm
2. Indien de literatuur niets biedt, kan het 'gezochte' geschat worden met formules, zoals in de DINED-tabel?

3. Indien geen schatting mogelijk is, ligt kleinschalig meten voor de hand met eenvoudige apparatuur en slechts enkele proefpersonen, maar voldoende inzicht biedend voor het ontwerpen van een voorwerp met nadruk op nut, efficiëntie, veiligheid en comfort.

Paragraaf 2.2 geeft een overzicht van meetmethoden en eenheden en parameters.

Voorbeelden van miskeleunen in maat of kracht.

De toegang voor rolstoelgebruikers is vaak onmogelijk bij een vliegtuig, bij een toilet in een vliegtuig of trein, maar ook van de Kijkshop in Delft door een roltrap anno 1994.

Het verwisselen van een auto-wiel is voor veel vrouwen onmogelijk; de bijbehorende wielmoersleutel is alleen adequaat voor sterke jonge mannen.

Het openen van een pot appelmoes kan veelal alleen door sterke jonge mannen met grote handen.

Het gebruik van een allesopener als hulpmiddel hierbij biedt eveneens alleen soelaas voor een groep mensen met grote handen.

De knoop van een spijkerbroek kan vaak door een kind van 6 jaar niet geopend worden.

2.2 Eenheden en parameters

Veel voorkomende oorzaken van spraakverwarring over resultaten van onderzoek zijn te wijten aan gebruik van verschillende eenheden. Wat te denken van enkele recente voorbeelden:

eenheid	uitspraak	SI-eenheid	omrekening naar SI
lbf/inch ² (angelsaksisch)	pounds per square inch	druk	0,453kg/2,54 cm ² = 0,7 N/cm ²
kp (duits)	kilopond	kracht	10 N
kgf (oud nedelands)	kilogramkracht	kracht	10 N

Figuur 2.7 Voorbeelden van oude eenheden

In de Nederlandse ijkwet uit 1937 staat wat wel en niet gebruikt mag worden in het economische verkeer en wordt verwezen naar het daarbij behorende Eenhedenbesluit. Dit Eenhedenbesluit kan worden geactualiseerd naar aanleiding van een EU-richtlijn. Sinds 1960 wordt het Internationale Stelsel van Eenheden aangeduid als: SI. Dit betekent dat geen andere dan SI-eenheden mogen worden toegepast in het economisch verkeer (behoudens enkele door de Minister goedgekeurde uitzonderingen); bij het verhandelen van goederen en diensten, bij offertes, facturen, handleidingen, polissen, folders e.d. In de praktijk betekent het echter dat de Minister nogal wat uitzonderingen heeft goedgekeurd. Dit mag volgens de Ijkwet, bijvoorbeeld in geval eenheden worden gebruikt naast de overeenkomstige aanduiding van de erkende eenheden, voorzover de aanduiding in erkende eenheden overheerst. Genormaliseerd gebruik (volgens NEN 999 of ISO 31) van grootheden-namen en -symbolen zijn niet wettelijk verplicht, maar wordt wel sterk aanbevolen.

De volgende eenheden zijn erkend volgens het SI-stelsel en worden de grondeenheden genoemd:

Grootheid		SI-eenheid	
naam	symbool	naam	symbool
lengte	l,s	meter	m
massa	m	kilogram	kg
tijd	t	seconde	s
elektrische stroom	I	ampère	A
thermodynamische temperatuur	T	kelvin, graad Celsius	K, °C
hoeveelheid stof	n	mol	mol
lichtsterkte	I _v	candela	cd

Figuur 2.8 Grondeenheden SI-stelsel

De afgeleide SI-eenheden. Deze eenheden zijn afgeleid van de grondeenheden in de vorm van machtsproducten.

Grootheid		SI-eenheid		
naam	symbool	naam	symbool	afleiding
vlakke hoek	α, β	radiaal	rad	$m \cdot m^{-1}$
ruimte hoek	Ω, ω	sterradiaal	sr	$m^2 \cdot m^{-2}$
kracht	F	newton	N	$kg \cdot m \cdot s^{-2}$
druk, spanning	p	pascal	Pa	$N \cdot m^{-2} = kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$
energie, arbeid	E, W	joule	J	$N \cdot m = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
vermogen	P	watt	W	$J \cdot s^{-1} = kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$
verlichtingssterkte	E	lux	lx	$lm \cdot m^{-2} = cd \cdot sr \cdot m^{-2}$
lichtstroom	Φ	lumen	lm	cd.sr
moment van een kracht	M	newton meter	N.m	

Figuur 2.9 De afgeleide SI-eenheden

2.3 Meetfouten

Een goede reden om vooraf en tijdens een veldonderzoek herhaalmetingen te doen, is het daardoor te verkrijgen inzicht in de foutenbronnen.

Onderscheid kan worden gemaakt in:

- één waarnemer meet de steekproef verscheidene keren, waardoor men de variatie intra-waarnemer kan beschouwen en analyseren;
- verschillende waarnemers meten dezelfde steekproef, waardoor men de variatie inter-waarnemer kan beschouwen en analyseren.

Er zijn diverse methodes om een maat voor de reproduceerbaarheid vast te stellen.

a. Men kan ondermeer de correlatiecoëfficiënt tussen de eerste en de tweede meting nemen. Deze dient dan als vuistregel groter te zijn dan 0,9. Voor de voetangels en klemmen bij deze methode zie paragraaf 24.6.1.

b. Tanner en Weiner (1949) hebben in een andere methode de 'S-meas' gedefinieerd. Dit is de standaarddeviatie van de verschillen tussen de paarsgewijze waarnemingen gedeeld door $\sqrt{2}$. Hoe kleiner 'S-meas', des te groter de betrouwbaarheid van de waarnemer. Voor steekproeven groter dan 30 geldt dat in 95% van de gevallen de echte meetwaarde ligt tussen $+ \text{ of } - 1,96 * 'S\text{-meas}'$.

Ook geldt dat de gepaarde 'S-meas' intra-waarnemer ongeveer dezelfde dient te zijn als de gepaarde 'S-meas' inter-waarnemer.

Bij het bejaardenonderzoek van het Institute for Consumer Ergonomics (ICE, 1981 en ICE, 1983) bleek dat de gemiddelde 'S-meas' in dit geval 11,6 mm was met een standaard deviatie van 4,9 mm. De minimale waarde was 4,3 mm voor de 'elleboog-pols' afstand ($\bar{x} = 253$ mm) en de maximale was 21,9 mm voor de 'ellebogen breedte' ($\bar{x} = 469$ mm). Dit laatste betekent echter dat de werkelijke meetwaarde 43 mm hoger of lager kan liggen, wat verklaarbaar is uit de houdingsafhankelijkheid.

Bij het eigen bejaardenonderzoek in 1982 is een vorm van methode a toegepast. De spreiding in de zo ontstane meetwaarden kan men goed beschrijven, met behulp van het begrip "toevallige fout", die door Sittig en Freudenthal (1951) als een normaal verdeelde variabele werd beschouwd met een gemiddelde 0 en een variantie f^2 , waardoor het mogelijk is de gemeten variantie s^2 te corrigeren. De gecorrigeerde variantie is dan $s_1^2 = s^2 - f^2$.

Enkele variabelen van het bejaardenonderzoek staan aangegeven in figuur 2.10

	f	s	s_1	$s_1 - s$
lengte	1,96	89,21	89,18	0,03
reikhoogte st	15,42	124,66	123,70	0,96
heupbreedte zt	7,18	39,18	38,52	0,66
rugleuning-C7	6,98	27,98	27,10	0,88
vuisthoogte st	4,87	49,55	49,31	0,24

Figuur 2.10 Overzicht van waargenomen en gecorrigeerde standaarddeviaties bij enkele variabelen die herhaald gemeten (in mm) zijn in het bejaardenonderzoek (Molenbroek et al., 1983)

- f de standaarddeviatie van de toevallige fout,
- s de standaarddeviatie van de waarnemingen,
- s_1 de gecorrigeerde standaarddeviatie,
- $s_1 - s$ de correctie die men zou moeten toepassen.

f in de tweede kolom is tot stand gekomen door de gemiddelde waarde te nemen van 3 standaarddeviaties die elk het resultaat waren van 4 tot 6 herhaalde metingen aan 3 personen door dezelfde waarnemer.

s in de 4e kolom komt overeen met de waargenomen s in het bejaarden onderzoek.

Dit betekent dat de standaarddeviaties met de waarden in de laatste kolom gecorrigeerd dienen te worden. Bij de reikhoogte heeft dat voor de P1 tot gevolg dat deze dan $(2,33 * 0,96) = 2,5$ mm lager zou uitvallen.

Enkele voorbeelden van toevallige fouten zijn:

- het verschil tussen de continue verdeelde variabele en de discrete meetwaarden;
- het niet letten op de ademhaling bij het meten van de taile-omvang;
- het verschil doordat een proefpersoon niet constant in afmeting is, zelfs op korte termijn.

In de literatuur wordt methode b ondermeer besproken door Cameron (1984); door Kemper en Pieters (1974) en ICE (1981). Kemper et al. vonden verschillen, uitgedrukt in

\bar{x} en s variërend van 0,004 (0,603) cm bij de biacromiale diameter tot 3,114 (0,929) cm bij de dijbeenomtrek. De steekproef bestond uit 50 jongens van 12 en 13 jaar, die door een instituut in Amsterdam en door een instituut in Zeist gemeten waren met dezelfde meetvoorschriften door ervaren onderzoekers. De correlatiecoëfficiënt tussen de eerste en de tweede meting (coefficient of objectivity) varieerde van 0,872 bij de biacromiale diameter tot 0,995 bij het lichaamsgewicht. Vergelijk hierbij ook de paragraaf 24.6.1 van collega Kanis over reproduceerbaarheid. Kemper verklaart de lage correlatie bij de schouderbreedte, doordat de stand van de schoudergordel zo moeilijk is te standaardiseren en daardoor leidt tot intra-individuele variabiliteit. De segmentmaten, gebaseerd op de acromion-positie (bijvoorbeeld elleboog-zitvlakhoogte, ellebogen breedte, e.d.) zijn vaak minder reproduceerbaar, doordat die positie resulteert uit een willekeurige houding van de schouder en dus niet een vast botpunt in het x-y-z-lichaamsschema oplevert, zoals bijvoorbeeld wel het trochanterion (zie Bijlage 1 voor de plaats).

2.4 Parameters van het menselijk lichaam voor de fysieke ergonomie

In de biomechanica wordt het lichaam vaak opgebouwd gedacht uit onvervormbare segmenten met een volume, een massa en vaak een constante dichtheid. Gewrichten met hun complexe, dubbelgekromde oppervlakken en hun 3D-bewegingsbanen worden vereenvoudigd tot scharnierpunten. De rechte verbinding tussen deze scharnierpunten worden 'schakels' of 'leden' genoemd. Een schakel heeft dus als enige eigenschap een afmeting. Een segment is een uitbreiding van een schakel met als eigenschappen een volume en een massa. Hierdoor is het mogelijk het menselijke lichaam of een deel daarvan vereenvoudigd weer te geven in een biomechanisch model, waarmee voorspellingen gedaan kunnen worden. Het is altijd aan te bevelen om na te gaan, welke de aannamen zijn bij het model dat de ontwerper van plan is toe te passen. Fysische en fysieke eigenschappen (parameters) van dat menselijke lichaam of van de segmenten zijn essentieel bij deze modellen. Hoe eenvoudiger het model, des te sneller is er mee te werken, maar des te meer aannamen zijn er gedaan. Het beste model is de werkelijkheid, maar die heeft veelal te veel parameters om mee te kunnen rekenen.

Hierna volgt een opsomming van de belangrijkste parameters van het menselijk lichaam die van belang zijn voor de fysieke ergonomie en ingedeeld naar de (hoofd) eenheid ervan. In de daaropvolgende paragrafen wordt uitgelegd hoe deze parameters kunnen worden gemeten.

m

Lengtematen (lichaamslengte, ellebooghoogte staand, knieholte hoogte etc.) hebben een variatiecoëfficiënt (VC) van 3-5% ; dit wil zeggen dat de standaarddeviatie als fractie van het gemiddelde 3-5% is.

Breedtematen (heupbreedte zittend, schouderbreedte, hoofdbreedte) hebben een VC van 6-8%.

Dieptematen (borstdiepte, dijbeendikte, buikdiepte etc) hebben een VC van 8-10%.

Diameters worden soms gedefinieerd bij aanname van een cilindrisch lichaamssegment.

Omtrekken (hoofdometrek, borstometrek, dijbeenometrek, etc.) hebben een VC van 6-8% De eenheid, waarin dit type maat wordt gemeten is de meter (m) of afgeleide eenheden daarvan, zoals (cm) en (mm). Voor veel ontwerpdoeleinden is het uitdrukken in cm met eventueel 1 decimaal voldoende, om een schijnnaauwkeurigheid te vermijden.

Een veelvoorkomend misverstand in dit kader is een computermanikin, die een afmeting in 8 of meer decimalen aangeeft, terwijl de daarin verwerkte data niet nauwkeuriger dan op ± 5 mm konden worden gemeten.

m²

Huidoppervlak, produkt-mens kontaktoppervlak.

In verband met straling, warmteuitwisseling, vochtigheid en bescherming is het voor ontwerpers nuttig te weten hoe groot het oppervlakte is van lichaamssegmenten.

m³

Volume, bouw als volume verdeling. Men zou de lichaamsbouw kunnen bestuderen vanuit de gedachte dat het gehele lichaam opgebouwd is uit volumes van segmenten. In de literatuur over computermanikins vindt men dit terug. Soms worden hierbij afgeknotte piramides genomen (zoals bij ADAPS) of omwentelingsellipsoiden (zoals bij COMBIMAN). Bij een soortelijke massa van 1 kg/liter is het volume dan gelijk aan het lichaamsgewicht (massa). Ontwerprelevantie: beschermingsmiddelen.

kg

Massa, massamiddelpunt, massa-traagheidsmoment en dichtheid. De lichaamsmassa en de verdeling daarvan is van groot belang voor het ontwerpen van talrijke ondersteuningsmiddelen, maar ook waar krachtdoorleiding bestudeerd wordt.

N

kracht, moment, druk en wrijving.

Voor het bepalen van materialen en dimensies van produktonderdelen, dient men te weten hoe de krachtdoorleiding bij de mens-produkt-interactie plaatsvindt. Dit kan zich uiten in krachten loodrecht of evenwijdig aan het produktoppervlak.

Rad, sr, m, m.s⁻¹, m.s⁻², ω , α

Gewrichtshoeken of excursies, houding, beweging, snelheid, versnelling.

De kwantificering van de posities van de lichaamssegmenten ten opzichte van elkaar en ten opzichte van een vast coördinatenstelsel ook in de tijd gezien, vereist het gebruik van eenheden voor hoeken en lengten, snelheden en versnellingen.

Enkele indices

Ter bestudering en beoordeling van de lichaamsbouw kan men verhoudingsgetallen gebruiken, zoals de Quetelet-index en taille/heup ratio, die normaal verdeeld zijn. Andere indices zoals quotienten van percentielwaarden, bijvoorbeeld P95m/P5v zijn alleen normaal verdeeld bij lengtematen.

2.5 Maten gemeten in meters (m)

Als een ontwerper lengte- breedte-diepte-of omtrekmaten nodig heeft, zijn de volgende stappen te overwegen:

- Zoek voor de doelgroep de meest recente antropometrische bron (zie bijlage);
- Levert dit niets op, dan is een schatting te overwegen met formules, die in de DINED-tabel staan;
- Levert dit niets op dan dient een kleinschalig onderzoek plaats te vinden. Enkele methoden hiervoor zullen nu besproken worden.

2.5.1 Zelf-rapportage van proefpersonen in de antropometrie.

Zelf-rapportage van proefpersonen wil zeggen dat aan mensen gevraagd wordt om hun lichaamsmaten zelf op te meten met eenvoudige middelen (meestal een meetlint) en volgens een door de onderzoeker gemaakt protocol. Dit gebeurt op grote schaal door het CBS, die jaarlijks op deze wijze de lichaamslengte en het lichaamsgewicht vaststelt. De reden voor een schriftelijke meting is simpel: de kosten zijn per proefpersoon veel lager. Met een goed (eerst gestest) protocol (ondermeer per variabele voorzien van instructie en illustratie), kan dit redelijke resultaten geven vooral voor de gemiddelde waarden. Men dient echter bedacht te zijn op de volgende nadelen met name voor de spreiding:

- Lage respons (in een onderzoek onder de Klub van Lange Mensen in 1994, waar 10.000 leden een formulier met DINED-maten, illustraties en instructies kregen toegezonden, werden er 600 geretourneerd). De vertekening door de non-respons en door de zelf-rapportage dient onderzocht te worden met een tweede steekproef, die dan 'echt' gemeten wordt.
- Er bestaat ook een kans op vertekening doordat mensen hun wenselijke (gemiddelde) maten invullen. Het blijkt dat dit effect groter wordt naarmate de betreffende afmeting meer van het gemiddelde afwijkt (Wichelow en Cox, 1987). Meetfouten zijn moeilijker uit te sluiten.

2.5.2 Meten met behulp van een antropometer en meetlint

In het kort staat dit ondermeer beschreven in een Nederlandse Praktijk Richtlijn (NPR 2737, 1991). Andere bronnen zijn Roebuck et al (1975) of Roebuck (1995) en het Anthropometric Source Book (ARP, 1978) of Molenbroek (1994).

In het algemeen is een steekproef van 30 mensen voldoende, mits er niet naderhand opgesplitst moet worden, in bijvoorbeeld mannen en vrouwen of leeftijdsgroepen. Een cel van een steekproef dient minimaal 10 mensen te bevatten.

Voor het meten van bijvoorbeeld 'vuisthoogte staand' en 'handpalmhoogte staand' is dit voldoende. Uit de resultaten kan een regressie vergelijking gehaald worden om de ene uit de andere te voorspellen, mits naar de betrouwbaarheidsintervallen wordt gekeken.

Voor het meten dient eerst een protocol gemaakt te worden met meetdefinities, illustraties en teksten van wat er tegen de proefpersonen gezegd gaat worden.

2.6 Maten gemeten in vierkante meters (m²)

Het meten van oppervlakten is een tijdrovende bezigheid, vaak worden allerlei truc's bedacht waardoor men op een slimme manier toch snel het gewenste kan meten. Hier volgen enkele 'meet'-methoden:

- Natte voeten op de tegelvloer geven al simpel aan wat het contact-vlak is met de vloer.
- Voor het oppervlak van het gehele lichaam wordt de proefpersoon meestal zorgvuldig met een dun laagje materiaal bedekt, dit wordt weer van het lichaam verwijderd en opgemeten.

In de literatuur 3 zijn methodes te vinden (Knussmann, 1988):

A: met strookjes millimeterpapier als een raster dat over een lichaamsdeel wordt gelegd, waarna de millimeters geteld worden;

B: men verdeelt het lichaamsdeel in eenvoudige geometrische vormen, die met papier bedekt worden. Soms worden eerst gipsafdrukken gemaakt, zodat men de metingen eenvoudig kan controleren.

C: men weegt het materiaal dat men op het lichaamsdeel heeft afgetekend.

- Echografie wordt gebruikt bij het meten van de doorsnede van de thorax van een foetus in de baarmoeder. Door middel van een pen kan men op het beeldscherm de omtrek van de thorax natekenen, waarbij elke coördinaat opgeslagen wordt en het oppervlakte dus bekend is.
- Het mens-product-interactie oppervlak is simpel te meten met een carbon-vel, door het tekenen van de omtrek (bij hand en voet is dit nog heel actueel, i.v.m. het ontwerpen van (hand) schoenen).

data

Gegevens over menselijke oppervlakte-maten zijn in/met de volgende bronnen te vinden/bepalen:

De tabel van Sendroy en Cechini uit 1956, zie Bijlage 8, geeft volgens Damon(1966) een goede weergave; hij heeft dit gevalideerd met 107 proefpersonen. Het gemiddelde verschil was slechts 2% (350 cm²). De range van de gemeten oppervlakten bij foetussen tot en met bij zware mensen, was van 500 cm² tot 3,08 m².

De formule van DuBois uit de jaren 20 is simpel, maar wordt in de literatuur veel bekritiseerd: $A = 71,84 * G^{0,425} * L^{0,725}$ met G in kg en L in cm en A=oppervlak/cm². De meer recente formule van Haycock uit 1978 (Knusmann,1988) is gebaseerd op een nauwkeurig onderzoek van 18 proefpersonen van vroeggeborenen tot volwassenen en - luidt $A = 0,024265 * G^{0,5378} * L^{0,3964}$ met A in m², G in kg en L in cm.

segment	relatief oppervlak
hoofd en nek	11
romp	31
armen	20
benen	38

Figuur 2.10 Globale percentages voor het huidoppervlak van de segmenten.

2.7 Maten gemeten in kubieke meters (m³)

Volume is één van de weinige parameters, die zowel bij het gehele lichaam als bij segmenten van levende proefpersonen kunnen worden gemeten. De toegepaste methoden zijn:

- a: meting aan lichaamsoppervlak (m² * hoogte),
- b: onderdompeling,
- c: optisch.

ad a

Dempster (1955) mat bijvoorbeeld met een pantograaf de omtrek van het dijbeen op twee plaatsen met een onderlinge afstand h. Vervolgens verkreeg hij oppervlakte A₁ en A₂ met behulp van een planimeter. Formule (1) geeft dan een grove benadering van de inhoud van dit segment.

$$V = h/3 (A_1 + A_2 + \sqrt{(A_1 + A_2)}) \quad (1)$$

Contini (1972) ging uit van ellipsvormige doorsneden. Dan wordt de formule (1) als volgt (2):

$$V = 0,778/2 (O_1 + O_2)^2 * h. \tag{2}$$

Hierbij zijn O_1 en O_2 respectievelijk de omtrekken met h als onderlinge afstand.

ad b

Bij onderdompeling worden volumina bepaald aan de hand van de hoeveelheid verplaatste vloeistof. Meestal worden de voelbare botpunten van Martin gebruikt als merktekens van de scheidingsvlakken tussen twee aangrenzende segmenten. Metingen volgens deze methode zijn ondermeer gedaan door Dempster(1955), Drillis en Contini (1966) en Bernstein (1967). figuur 2.11 en 2.12 geven enkele resultaten in absolute en relatieve zin.

Segment	bereik (liters)	x	SD	CV
hand	0.328 - 0.428	0.384	0.035	9.5
onderarm	1.055 - 1.296	1.175	0.084	6.5
bovenarm	2.094 - 3.047	2.412	0.334	7.8
gehele arm	3.512 - 4.583	3.971	0.376	6.8
voet	0.670 - 1.105	0.895	0.175	19.6
onderbeen	2.263 - 3.272	2.818	0.399	14.2
dijbeen	4.750 - 8.456	6.378	1.464	22.9
gehele been	8.338 - 12.788	10.091	1.758	17.4

Figuur 2.11 Segmentvolumes in liters (Drillis en Contini, 1966)

Segment	bereik (%)	x (N=12)	SD	CV	x endotypes (N=3)	x ectotypes (N=2)
hand	0.47 - 0.62	0.566	0.052	9.60	0.517	0.623
onderarm	1.47 - 1.78	1.702	0.112	6.96	1.536	1.776
bovenarm	2.98 - 3.53	3.495	0.192	5.87	3.426	3.120
gehele arm	4.93 - 5.79	5.730	0.299	5.54	5.481	5.519
voet	1.04 - 1.35	1.297	0.155	12.53	1.184	1.410
onderbeen	3.59 - 4.30	4.083	0.276	7.02	4.100	3.825
dijbeen	6.92 - 10.77	9.241	1.486	16.79	8.949	6.925
gehele been	13.17-16.86	14.620	1.599	11.40	14.233	12,160

Figuur 2.12 Segmentvolumes als percentage van lichaamsvolume

Een bijzondere vorm van onderdompeling voor het gehele lichaam is die van de plethysmografie. Hierbij stapt de proefpersoon met ingehouden adem in een luchtcylinder, waarbij het drukverschil een maat voor het volume is.

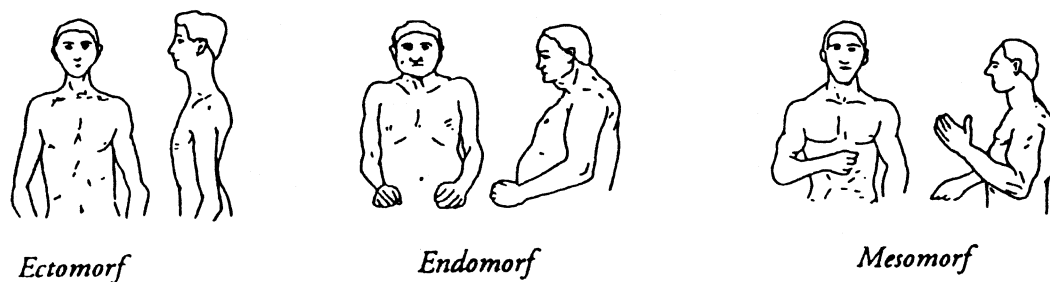
ad c

Optische methoden om lichaamsoppervlakken en volumes te bepalen zijn Moiré-topografie en stereofotogrammetrie. Deze vragen weinig inspanning van de proefpersoon doordat ze contactloos zijn.

Moiré-topografie: hierbij worden met een nauwkeurig tralieraster lijnen op de proefpersoon geprojecteerd; de camera die nu door de tralie heen het lichaam waarneemt, registreert hoogtelijnen wegens het Moiré-effect. Hiervan zijn zowel mono- als stereo foto's te maken. Door de hoogtelijnen te digitaliseren verkrijgt men via de bovengenoemde formules de gewenste volumes.

Stereofotogrammetrie: bij stereofotogrammetrie worden opnamen gemaakt met twee naast elkaar opgestelde fotocamera's. Met de verkregen opnamen kunnen punt voor punt hoogtelijnen worden gekonstateerd. Deze techniek heeft de laatste decennia een grote versnelling gekregen met jaarlijkse conferenties, waarbij de onderzoekers Herron en Coblentz als de oprichters kunnen worden beschouwd. Een van de voorbeelden momenteel is de opstelling van Jones in Loughborough, die met 12 camera's, de op een voetstuk langzaam roterende proefpersoon, 3D registreren. Met de zo verkregen data kan ondermeer een kopie van de proefpersoon uit schuim gefreesd worden. In eerste instantie is deze opstelling bedoeld als hulpmiddel voor de kledingindustrie, die deze ook gefinancierd heeft.

De volume-benadering kan natuurlijk ook worden gebruikt om de lichaamsvorm te bestuderen. Bij de bekende somatotypologie van Sheldon (figuur 2.13) kan men dan vaststellen dat de relatieve volumeverdeling aanmerkelijk verschilt.



Figuur 2.13 Somatypen van Sheldon.

Bij endomorfe mensen (denk bijvoorbeeld aan appel-of peer-vormige typen) is het volume van hoofd, romp en ledematen elk groter dan bij mesomorfe of ectomorfe mensen. Bij mesomorfe mensen (denk bijvoorbeeld aan een bodybuilder) ligt de nadruk op een groter volume bij de boven-romp-segment en het proximale deel van de ledematen. Bij ectomorfe mensen (met weinig vet en spieren) is het volume over alle segmenten geringer dan gemiddeld.

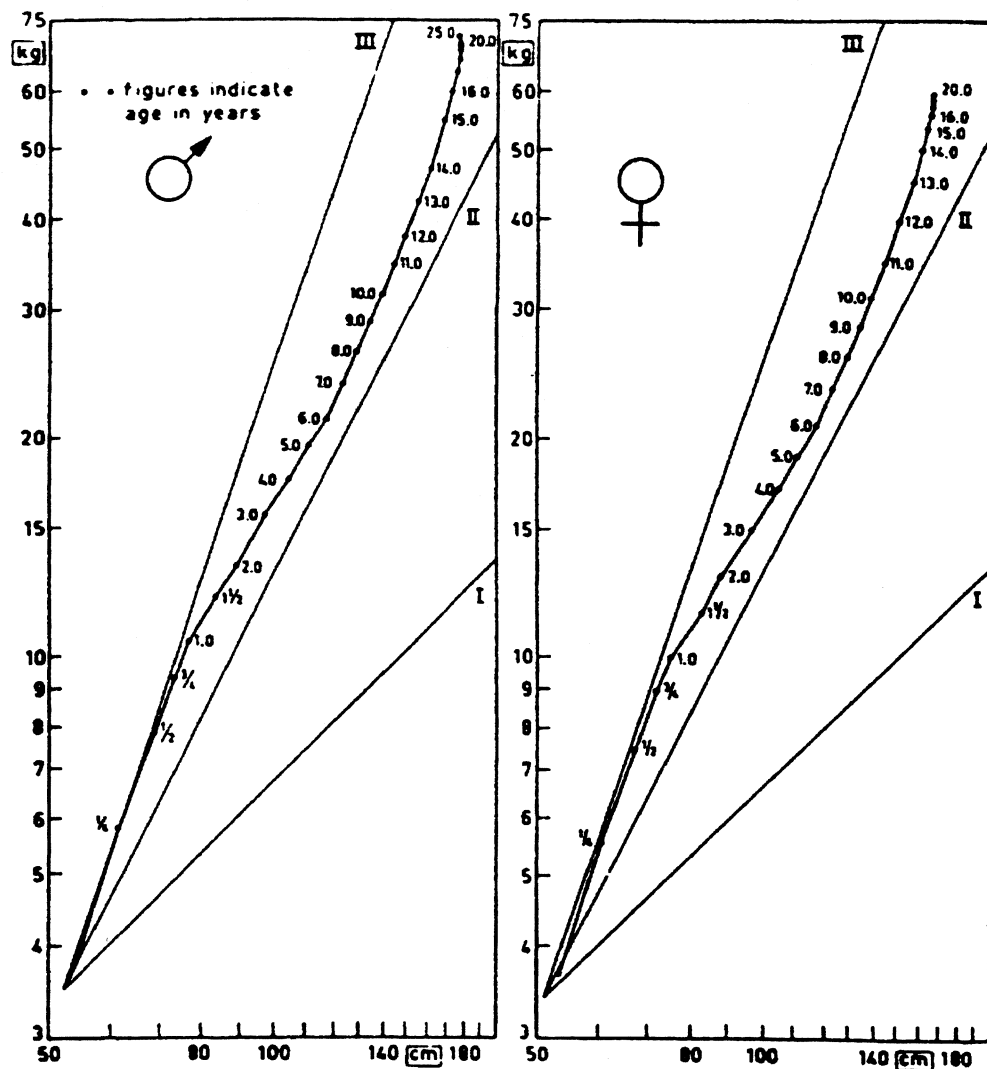
Ook de ontwikkeling van de lichaamsbouw van kind naar volwassene is heel goed in volumina te beschrijven. Globaal gaat de bolle baby over naar de worstvormige adolescent. In figuur 2.14 komt dit verschijnsel als functie van de leeftijd tot uiting.

Als men de curve doortrekt naar hogere leeftijden, ziet men dat er een bocht naar links en naar beneden optreedt, doordat ouderen kleiner en lichter zijn dan een 25 jarige. Vergelijk het onderwerp Schaalwetten in ide 130 op blz 116.

2.8 Dichtheid en massa (-middelpunt)

2.8.1 Dichtheid

De dichtheid wordt meestal uitgedrukt in kg/liter en varieert bij mensen van 1,03 tot 1,14 kg/liter. De hoogste waarde treft men aan in de distale segmenten, zoals handen, vingers en tenen, die vooral uit bot bestaan. De laagste dichtheid vindt men bij de meer proximale lichaamsdelen, zoals de romp.



Figuur 2.14 Van Wieringen 1972

weefsel soort	dichtheid in kg/liter
huid	1.10
spier	1.06
vet	0.96
bot	1.4 - 1.9

Figuur 2.15 Dichtheden van het menselijk lichaam

Segment	dichtheid
bovenarm	1.081
onderarm	1.122
hand	1.144
dijbeen	1.069
onderbeen	1.095
voet	1.100
hoofd en nek	1.111
romp	1.030

Figuur 2.16 Gemiddelde segmentdichtheid (in kg/liter) (Drillis en Contini, 1966)

De dichtheid wordt in belangrijke mate bepaald door de hoeveelheid vet (zie ook indices), die te schatten is met huidplooiingen. De huidplooi bij de triceps wordt in de literatuur veelal als goede indicator gegeven voor het vetpercentage van het gehele lichaam (zie overzicht in proefschrift Molenbroek, 1994).

Bijvoorbeeld indien HPT = huidplooi triceps en HPS = huidplooi subscapula, dan geldt volgens Pascale (1956):

$$d = 1,0923 - 0,00202 * HPT$$

$$d = 1,0896 - 0,00179 \text{ (met } d \text{ in kg/liter.)}$$

Ook zou gelden volgens Baskirew (1954) dat de dichtheid een functie is van de hoeveelheid verschillende weefsels:

$$d = 1,07554 - 0,00191 \cdot D_1 + 0,00055 M_1 - 0,0019 B_1$$

D_1 = % vet;

M_1 = % spierweefsel;

B_1 = % botweefsel.

Dupertuis et al. (1950) vonden voor de Amerikaanse mannen dat:

$$d = 1,094 - 0,119 x.$$

x = 1e Sheldon component (=endomorfie = maat voor de rondheid van het lichaam).

De snelste weg om d te vinden is de benadering volgens de formule van Contini (1972):

$$d = 0,6905 + 0,0297 * H * W^{-1/3}$$

L = lichaamslengte in inches (= 2,54 cm)

W = lichaamsgewicht in pound (= 0,453 kg)

d in kg/liter.

Op lange termijn neemt de dichtheid toe met de leeftijd en de lichaamslengte. Op korte termijn kan 2% variatie optreden door opname van voedsel en afscheiding van afvalproducten. Door de ademhaling verandert het volume van de romp voortdurend 3-4 l bij volwassenen. Hierdoor kan de dichtheid ongeveer 5 % variëren (Boyd, 1933).

Meetmethoden

Bovenstaande gegevens zijn afkomstig van kadavermetingen, omdat massabepalingen, pas na segmentatie mogelijk is. De meetmethode is dan vrij simpel het bepalen van het

quotiënt van de gemeten massa en het gemeten volume van het betreffende segment. Problemen doen zich voor bij het bepalen van een goede representatieve steekproef van kadavers en bij het bepalen van de scheidingsvlakken van de segmenten. Dempster behoorde in het verleden tot de weinigen, die erin slaagde deze preparatie van de segmenten secuur en bij redelijke aantallen uit te voeren (Dempster, 1955). Zie ook bij Massa en Volume.

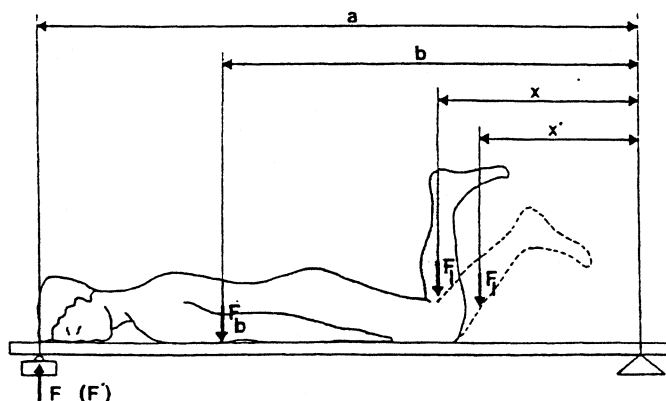
2.8.2 Massa in kg

Massa's kunnen van segmenten niet apart gemeten worden bij levende proefpersonen. Dus ook hier is men aangewezen op kadaver metingen. Het aantal proefpersonen bij dit type onderzoek is gering (gemiddeld 5). In Roebuck (1975) staat een overzicht van enkele auteurs (zie figuur 2.17).

bron	gemiddelde
hoofd	7.8
romp	47.2
gehele arm	5.4
bovenarm	2.9
onderarm en hand	2.5
onderarm	1.8
hand	0.8
gehele been	17.1
dijbeen	10.8
onderbeen en voet	6.3
onderbeen	4.6
voet	1.7
totaal	100.0

Figuur 2.17 Segmentgewichten (gemiddelde waarden) als percentages van lichaamsgewicht van verschillende onderzoekers (Roebuck et al., 1975)

Met behulp van de Borelli-balans en met een gegeven massamiddelpunt kan men ook de massa van een segment bepalen (zie figuur 2.18)



Figuur 2.18 Bepaling van de massa van onderbeen en voet met een Borelli-balans

Als de proefpersoon (in de figuur) de stand van het onderbeen verandert geldt:

$$\Delta F = F - F' = (F_1 * (x - x'))/a \text{ ofwel } m_1 = a * \Delta F / ((x - x') * g)$$

ΔF = gemeten krachtsverandering

a = afstand krachtopnemer - scharnierpunt

g = versnelling van de zwaartekracht

$x - x'$ = horizontale verplaatsing van het massamiddelpunt

F_1 = gravitatiekracht werkend op het segment

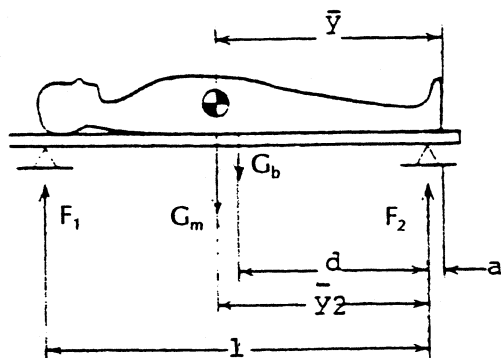
m_1 = segmentmassa

Uit deze studies bleek dat distale ledematen bij mannen relatief zwaarder zijn dan vrouwen. Mannelijke dijbenen zijn relatief lichter dan vrouwelijke dijbenen; voor onderbenen geldt dit in mindere mate, terwijl voor de voeten het omgekeerde geldt. Een moderne methode is ondermeer door Jensen getoond. Hij maakt een 3-D computermodel, waar hij een dichtheidsfunctie aan toe kende. Hiertoe kon hij segmentparameters bepalen.

Een iets eenvoudiger methode wordt soms toegepast met behulp van 3D-dummies, die bij botsproeven met auto's wordt gebruikt. Eerst wordt een lichaamsdeel van een bepaalde lengte en gewicht nagemaakt van klei, zodat dit uiterlijk een gelijkenis vertoont. Daarna wordt de dichtheid aangepast door het boren van gaten, totdat dit overeenkomt met literatuurgegevens. Vervolgens kan men metingen verrichten naar de ontbrekende segment parameters.

2.8.3 Massamiddelpunt (mmp)

Het bepalen van mmp's van segmenten levert ongeveer dezelfde moeilijkheden op als de bepaling van de segmentmassa's. De toepassing van beide parameters vindt ook meestal in combinatie plaats. Het meest eenvoudige is het bepalen van het mmp van het gehele lichaam. Vroeger gebruikte men hiervoor een balanceertafel (in navolging van Borelli, 1679), maar nu is een krachtplatform (met piëzo-elementen) in staat om een kleine positieverandering als functie van de tijd te registreren. Een voorbeeld van toepassing van dit laatste is een neurologische test, waarbij het aantal seconden en het type beweging bij staan op één been wordt gemeten; bijvoorbeeld, voor en na een medische behandeling en met open en gesloten ogen ter bestudering van de lichaams-houding.



Figuur 2.19 Lichaams-massamiddelpunts-bepaling met twee weegschalen (Roebuck et al., 1975).

Het klassieke werk van Braune en Fischer (1889) ontstond door de vraag over de plaats van het mmp van infanteristen in samenhang met hun uitrusting.

F_1 = gemeten kracht in meetcel 1

F_2 = gemeten kracht in meetcel 2

G_m = lichaamsgewicht

G_b = gewicht plateau

$$\Sigma M = 0$$

$$G_1 * l - G_m * y_2 - G_b * d = 0$$

$$G_m = F_1 + F_2 - G_b$$

$$y_1 = y_2 + a.$$

Belangrijk is het om te weten dat elke houding een andere mmp veroorzaakt. Met behulp van de slingermethode hebben Santschi et al. (1963) van diverse standaardhoudingen het mmp bepaald. Dit deden ze zo zorgvuldig dat ze daarom tot op heden nog veel geciteerd worden.

Door hun lange slinger bleef de benodigde hoekverdraaiing beperkt tot 1 graad vanuit het midden. Hierdoor zijn de verplaatsingen van het mmp door inwendige verschuivingen van organen gering gebleven. De slingertijden waren groot in vergelijking met de snelheid van ademen, zodat ook die invloed verwaarloosbaar was. De resultaten van Santschi et al. staan in figuur 2.20 en 2.21.

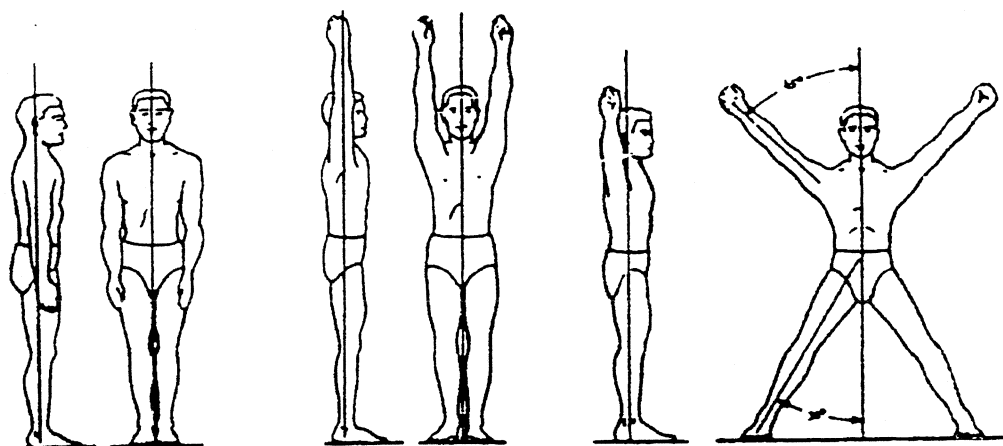
De resultaten zijn gebaseerd op data van 66 personen met een gemiddeld gewicht van 66 kg met een SD van 9 kg; de gemiddelde lengte was 176,3 cm met een SD van 7,4 cm.

De positie van de massamiddelpunten ten opzichte van het lichaam werden als volgt gedefinieerd:

1. Een frontaal vlak, rakend aan de rugcontour; dit levert L(X) in figuur 2.21.
2. Een sagittaal vlak door een van de spina iliaca anterior superior (dit is de duidelijk voelbare knobbel aan de voorzijde van beide ossa illia; in Bijlage 1 het punt Iliospinale anterior); dit levert L(Y) in figuur 2.21 en is tevens gelijk aan de helft van de bispinale breedte.
3. Een transversaal vlak rakend aan het hoofd; dit levert L(Z) in figuur 2.21.

Massamiddelpunten van segmenten zijn ofwel afkomstig van kadavermetingen of wel van benaderingen. Een van de benaderingsmethoden bestaat uit het gebruikmaken van de formules van Clauser et al. (1969), die 99 antropometrische metingen verrichtte vóór segmentatie van een kadaver. Hierdoor verkreeg hij regressievergelijkingen over de plaats van de mmp van segmenten in relatie tot uitwendige antropometrische maten. Ook Trotter en Gleser (1952) deden metingen voorafgaand aan segmentatie en wel bij Amerikaanse soldaten voor (toen ze nog levend waren) en na (toen velen van hun als kadaver terugkwamen van) het bezoek aan het front van de Korea-oorlog in het begin van de jaren '50. Hun resultaten zijn gebruikt door Dempster bij het opstellen van een functioneel ledenstelsel (Dempster, 1955), waarop de meeste huidige computermensmodellen nog gebaseerd zijn.

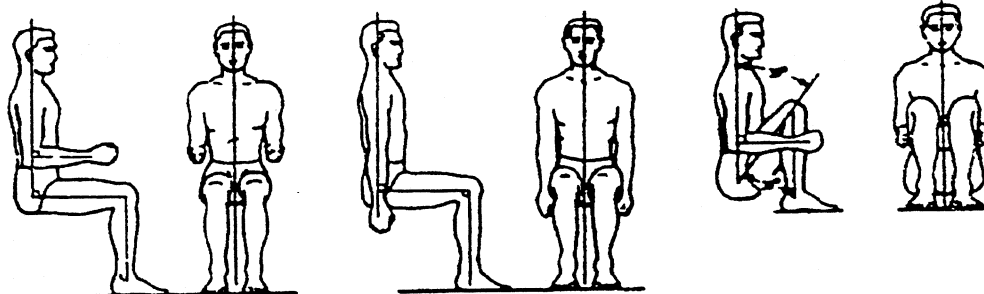
De resultaten van Clauser staan in figuur 2.22 (Roebuck et al., 1975).



1. Staand

2. Staand met armen
boven het hoofd

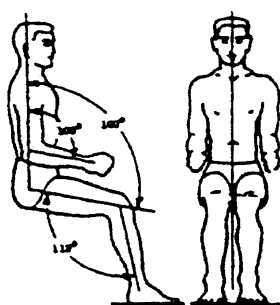
3. Spreidstand



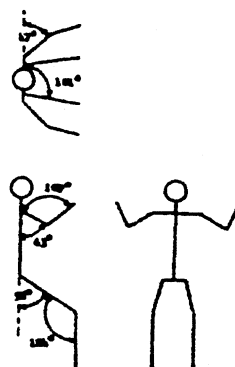
4. Zittend

5. Zittend, onderarmen
naar beneden

6. Zittend, dijbenen
opgetrokken



7. Mercury-houding



8. Relaxhouding
(bij gewichtsloosheid)

Figuur 2.20 Standaardhoudingen (Santschi et al., 1963)

Houding	positie van massamiddelpunt (cm)		
		gemiddelde	S.D
1. staand	L (X)	8,9	0,51
	L (Y)	12,2	0,99
	L (Z)	78,8	3,68
2. staand met armen boven het hoofd	L (X)	8,9	0,56
	L (Y)	12,2	0,99
	L (Z)	72,2	3,38
3. spreidstand	L (X)	8,4	0,48
	L (Y)	12,2	0,99
	L (Z)	72,4	4,82
4. zittend	L (X)	20,1	0,91
	L (Y)	12,2	0,99
	L (Z)	67,3	2,89
5. zittend, onderarmen naar beneden	L (X)	19,6	0,86
	L (Y)	12,2	0,99
	L (Z)	68,1	2,95
6. zittend, dijbenen opgetrokken	L (X)	18,3	0,94
	L (Y)	12,2	0,99
	L (Z)	58,7	1,98
7. mercury-houding	L (X)	20,1	0,86
	L (Y)	12,2	0,99
	L (Z)	68,8	2,89
8. relaxhouding (bij gewichteloosheid)	L (X)	18,5	0,84
	L (Y)	12,2	0,99
	L (Z)	69,9	3,66

Figuur 2.21 Massamiddelpuntsposities in acht standaardhoudingen (Santschi et al., 1963).

Segment	gemiddeld
gehele lichaam	41,3
hoofd	42,0
romp	41,4
gehele arm	43,0
bovenarm	46,7
onderarm en hand	55,9
onderarm	41,5
hand	36,1
gehele been	40,9
dijbeen	43,4
onderbeen en voet	49,3
onderbeen	41,8
voet	44,2

Figuur 2.22 Posities van segment-massamiddelpunten (gemiddelde waarden van 5 onderzoekers over totaal 27 kadavers); de afstand tot het proximale eindpunt van een segment uitgedrukt als percentage van de segmentlengte (Roebuck et al., 1975). Vergelijk de benadering volgens Williams (1962) in figuur 3.9.

2.8.4 Traagheidsmomenten (I in kg.m²)

Met de slingermethode van Santschi et al. (1963) was het ook (zie eerder bij massamiddelpunten) mogelijk het massa-traagheidsmoment (I) (vanuit de mechanica moet bekend zijn dat dit in principe gelijk is aan 'massa maal afstand in het kwadraat' met eenheid kg.m²) te bepalen. Deze bleken in hoge mate ($r = 0,77-0,98$) samen te hangen met het lichaamsgewicht en de lichaamslengte. Dit betekent dat de data en regressievergelijking (figuur 2.23) van Santschi et al. alleen gebruikt kunnen worden voor doelgroepen, die qua lengte en gewicht niet veel afwijken.

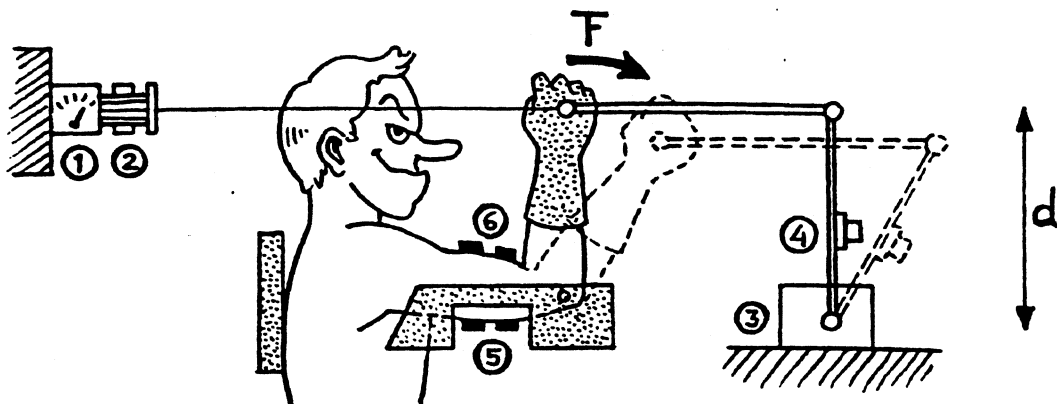
Een andere methode voor het bepalen van de I is de 'quick-release methode', die (figuur 2.24) vooral geschikt is voor onderarm en onderbeen. Hierbij gaat men ervan uit dat wanneer een kracht F op een afstand d aangrijpt van het rotatie-centrum, het segment een hoekversnelling (ϕ) ondergaat volgens:

$$F \cdot d = I \cdot \phi$$

Indien het moment en de hoekversnelling gemeten worden, is I eenvoudig te bepalen. Bijlage 12 geeft ondermeer de resultaten van het speurwerk van Dempster aan 8 kadavers. Tot dan waren er slechts twee kadavers goed opgemeten. Tussen 1955 en heden zijn er nauwelijks nieuwe data aan toegevoegd. Dit geeft een echte dimensie aan het werk van Dempster (1955).

houding	traagheidsmomenten (gram x cm ² x 10 ⁶)						
	\bar{X}	SD	R	SEE	Regressieverg.		
staand	X	130.0	21.8	.98	4.73	-262.0	+1.68S +1.28W
	Y	116.0	20.6	.96	5.96	-240.0	+1.53S +1.15W
	Z	12.8	2.5	.93	0.95	-0.683	-0.044S +0.279W
staand (armen boven hoofd)	X	172.0	29.5	.98	6.36	-371.0	+2.39S +1.63W
	Y	155.0	28.6	.96	7.79	-376.0	+2.38S +1.47W
	Z	12.6	2.1	.86	0.98	1.6	-0.038S +0.234W
spreidstand	X	171.0	30.6	.98	5.54	-399.0	+2.51S +1.69W
	Y	129.0	24.1	.96	7.06	-305.0	+1.91S +1.29W
	Z	41.4	8.9	.93	3.19	-114.0	+0.677S +0.484W
zittend	X	69.1	10.6	.92	4.53	-104.0	+0.637S +0.804W
	Y	75.4	13.1	.92	5.10	-153.0	+1.01S +0.669W
	Z	37.9	6.6	.97	1.64	-59.6	+0.34S +0.502W
zittend (onder- armen naar beneden)	X	70.5	11.0	.91	4.50	-89.0	+0.574S +0.771W
	Y	77.0	13.6	.92	5.28	-144.0	+0.913S +0.802W
	Z	38.2	6.7	.97	1.54	-60.8	+0.341S +0.514W
zittend (dijbenen opgetrokken)	X	44.2	6.8	.89	3.16	-38.2	+0.242S +0.529W
	Y	43.0	6.6	.77	4.14	-25.1	+0.193S +0.449W
	Z	29.7	5.8	.92	2.26	-34.4	+0.146S +0.509W
mercury-houding	X	74.4	10.6	.93	4.24	-107.0	+0.699S +0.768W
	Y	85.1	15.8	.94	5.61	-198.0	+1.27S +0.794W
	Z	38.7	6.3	.96	1.85	-50.9	+0.297S +0.492W
relax-houding (gewichteloos)	X	104.0	15.0	.96	4.20	-120.0	+0.788S +1.13W
	Y	99.8	15.0	.94	5.13	-157.0	+1.08S +0.879W
	Z	40.6	6.1	.96	1.74	-53.4	+0.346S +0.440W

Figuur 2.23 Traagheidsmomenten in acht standaardhoudingen, gemiddelden en standaardafwijkingen (x en SD) rond de X-, Y-, Z-as door het massamiddelpunt (zie figuur 2.20). R is de multiple correlatie coëfficiënt met lichaamslengte (S in cm) en lichaamsgewicht (W is kg); de betreffende regressievergelijkingen zijn eveneens gegeven met SEE als standaard fout van de schatting (Santchi et al., 1963).



Figuur 2.24 Quik-release meetopstelling: (1) display van krachtopnemer, (2) elektromagneet, (3) hoek- en (4) hoekversnellingsmeter, (5) oppervlakte-elektroden voor triceps en (6) biceps (Bouisset en Pertuzon, 1968)

2.9 Kracht, moment, druk en wrijving

2.9.1 Kracht

Bij het gebruik van de meeste fysiek ondersteunende producten is enige krachtoefening noodzakelijk. Heel vaak is hierbij geen optimalisatie toegepast van de MPI. De oorzaak hiervan zou kunnen zijn:

- men weet te weinig hoe men aan data over krachten komt ;
- indien bepaalde krachten niet in de literatuur bekend zijn, men weet niet hoe men die kan schatten of meten;.
- men past de bestaande gegevens verkeerd toe.

In deze paragraaf gaan we in op de bronnen en de meetmethoden.

Bronnen

1.

Proefschrift Daams (1994): hierin staat overzichtelijk op standaardwijze weergegeven, wat zijzelf en wat talrijke onderzoekers hebben gemeten, die aan een aantal criteria hebben voldaan (ondermeer moest steekproef, meetopstelling en opdracht aan proefpersonen gerapporteerd zijn).

2

Anthropometric Source Book: in volume I staan bruikbare gegevens over trek- en duwkrachten in zittende houding voor volwassen mannen en vrouwen. De meetwaarden zijn uitgedrukt in percentielwaarden en de meetapparatuur is beschreven.

3.

Tillen: zie hoofdstuk 'handvatten en lasten' of NIOSH-programma in Laboratorium Sektie Fysieke Ergonomie.

Burandt (1978) geeft ook een simpele tabel, waarbij gemiddelde waarden voor 30 jarige jonge mannen omgeschaald kunnen worden naar andere leeftijdsgroep en/of geslacht.

4

Humanscales (Diffrient et al., 1974-1978): handig in gebruik voor een eerste indicatie, maar men bedenke dat deze gegevens steeds getoets moeten worden met een andere bron of met een eigen meting met unster of weegschaal.

Bijvoorbeeld staat in de toelichting van de Humanscales dat de maximale tilkracht 1300 kg is; dit gegeven komt uit het Guinness Book of Records indien men de waarden van de Olympische kampioenen in trekken, duwen en stoten bij gewichtsheffen optelt.

5

Ergobase: dit is een computerprogramma in het laboratorium van de Sektie Fysieke Ergonomie en in computerzaal aan de Leeghwaterstraat, waar zowel maten als krachten van vooral Amerikaanse oorsprong opgezocht kunnen worden.

Samenhang

Factoren, waarmee krachtoefening samenhangt staan in figuur 2.25 nader omschreven: geslacht, leeftijd, lichaamsbouw, lateraliteit, vermoeidheid, training, motivatie en omgevingsfactoren.

Proefpersonen blijken tot een aanzienlijk hoger maximum te kunnen komen, als ze geïnstrueerd worden de kracht geleidelijk op te bouwen, in een zelf te bepalen tempo. Kroemer en Howard (1968) vonden experimenteel bij éénhandig zijwaarts duwen, dat de piekwaarden 65 % hoger waren dan de minimale maximum waarden.

1. Meetinstrumenten	<ul style="list-style-type: none"> - specificatie (functie; type; fabrikant; ijking) - bevestiging aan de proefpersoon - wijze van output (digitaal/analoo; eenheden)
2. Positie v/d krachtvector	<ul style="list-style-type: none"> - coördinaat van het aangrijpingspunt - richting van de krachtsuitoefening (beide bij dynamische krachtoefening als functie van de tijd; in dat geval bovendien:) - beweging van alle betrokken massa's
3. Proefpersoon	<ul style="list-style-type: none"> - welke populatie - antropometrische gegevens
4. Lichaamshouding v/d proefpersoon	<ul style="list-style-type: none"> - positie ten opzichte van meetinstrument (zie 1) - betrokken lichaamssegmenten en spieren - lichaamshouding tijdens krachtoefening - lichaamsondersteuning (reactiekrachten)
5. Wijze van krachtsuitoefening	<ul style="list-style-type: none"> - weergave van aan de proefpersonen verstrekte instructies; indien geen instructies gegeven zijn in ieder geval: - gevraagde wijze van krachtsuitoefening (wijze van opbouw; wat te doen als het gevraagde bereikt is; hoe lang vol te houden). - tijdsinterval tussen opeenvolgende tests - hoeveel herhalingen - oefening/training
6. Motiverende factoren	<ul style="list-style-type: none"> - selectie van proefpersonen - vrijwillige of verplichte deelname - wijze van betaling - kennis over het doel van het experiment - kennis over de experimentele procedure - feedback van geleverde prestaties - toezicht tijdens het experiment - stimulerende factoren (aanmoedigingen; beloningen; competitie; toeschouwers) - beperkende factoren (gevaar; angst voor letsel; tegenwerkende omgevingscondities; vermoeidheid; gebrek aan belangstelling; toeschouwers).

Figuur 2.25 Checklist voor het rapporteren van krachtenmetingen (Kroemer en Howard, 1986)

Enkele verkeerde ontwerpen voor krachtsuitoefening

Bij het verpakken van jam gaat de fabrikant uit van het Jambesluit uit de Warenwet. Hierin staat dat het midden van het deksel 1 mm lager moet zijn dan de rand, als indicatie voor het 'vacuum - verpakt ' zijn. Helaas staat er niet in dat het geopend moet worden door de P_3 of de $P_{5\text{vrouw}}$ tot de houdbaarheidsdatum is verstreken. Berns (1981) vond dat voor het openen van zo'n jampot ongeveer 4 Nm nodig is, terwijl de P_5 waarde ongeveer 1 Nm is. Dat er een grote spreiding is in de meetwaarden, blijkt wel uit het feit dat een sportieve senior in ons laboratorium 12 Nm haalde met onze mechanische jampot, die als elektronische krachtopnemer is gebouwd.

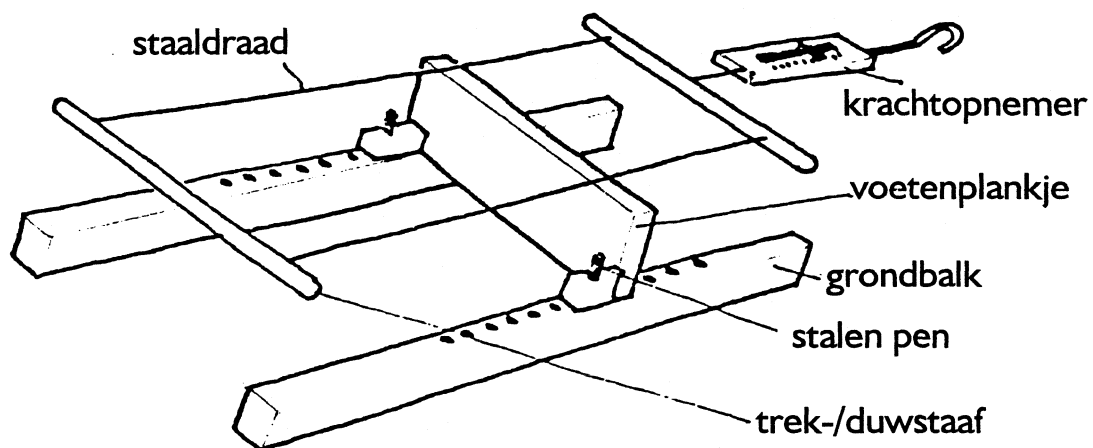
Bij elke auto wordt een wielmoersleutel geleverd, waarmee iedere chauffeur in principe een wiel moet kunnen verwisselen. De zwaksten onder ons blijken dat echt niet te kunnen en dat is ook geen wonder met een steellengte van 20 cm i.p.v. 100 cm.

Meetmethoden

De eenvoudigste instrumenten om krachten te meten binnen het bereik van de ontwerper zijn de unster en een weegschaal. Beide typen zijn pas bruikbaar als ze eerst

gekalibreerd zijn. Dit wil zeggen dat minstens twee punten op de schaal vergeleken moeten zijn met een standaard. Officieel doet het Nederlands Meetinstituut in Delft dit als enige volgens de Wet op het ijkwezen. Voor kleine onderzoeken binnen het ontwerpproces kan dit ook op eenvoudige wijze. Het eerste punt om te kalibreren is het nulpunt (dit wordt ook wel arrêteren genoemd). Het tweede punt dient bij voorkeur in de buurt van het te verwachten meetbereik te liggen. Dit controleren kan het eenvoudigste met in de handel te verkrijgen 'geijkte gewichten (te zien aan de loodjes)' gedaan worden. Dan blijkt dat een personenweegschaal bij 100 kg soms wel 5 kg fout aangeeft. Soms dient dan als korrektemethode een 'kalibratie-grafiek' gemaakt te worden, waarin de samenhang staat tussen de gemeten en de kalibratie-waarden. Voor het meten van de duwkracht van een persoon in een bepaalde houding kan men simpel in het raakvlak tussen hand en muur de weegschaal plaatsen. Door tegelijkertijd een foto of dia te maken, kan men de hoeken achteraf opmeten en is het eenvoudig om een Vrij-Lichaams-Diagram te maken.

Is één weegschaal niet voldoende vanwege het meetbereik (meestal 150 kg), dan kan men meerdere weegschalen parallel of serieschakelen. Dit principe geldt ook voor de unster, waarmee gewoonlijk maximaal 10 of 50 kg getrokken kan worden. Figuur 2.26 illustreert hoe 3 IO-studenten trek en duwkrachten van 100 kinderen hebben gemeten voor hun ontwerp van een vliegende hollander.

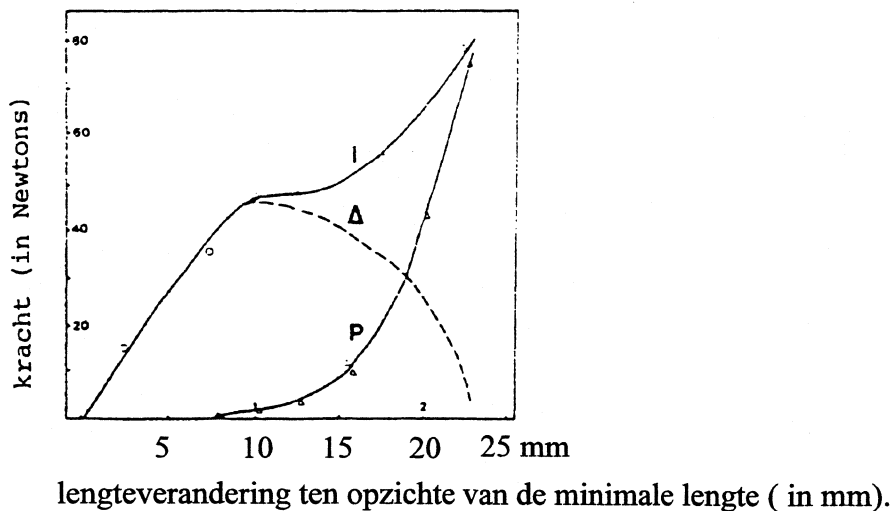


Figuur 2.26 Meetopstelling van 3 IO-studenten voor een onderzoekstage naar krachten van kinderen (Frank, Han en Spangenberg, 1985).

Voor kleine (vinger)krachten kan men ook een simpele opstelling bouwen m.b.v. een balans met gewichten.

Isometrisch, Isotonisch, Statisch of Dynamisch

Veel spieronderzoek is gedaan in laboratoria onder isometrisch omstandigheden; dit wil zeggen bij gelijkblijvende spierlengte. Dit is dus een onderzoek naar één spier en weinig van belang voor ontwerpers, omdat dit in de praktijk weinig voorkomt. Isotonisch wil zeggen bij gelijkblijvende spierspanning, maar deze term wordt vaak verkeerd gebruikt. Zelfs wanneer een lichaamssegment tegen een constante weerstand in beweegt verandert de spierspanning door de veranderde spierlengte (figuur 2.27) en door het veranderene mechanisch voordeel voor de uitgeoefende spierkracht.



Figuur 2.27 Kracht-lengte-diagram van een spier (aangepast uit Ralston et al., 1947)

Voor ontwerpers is het verschil tussen statisch en dynamisch echter wel van belang:

1. Bij statische krachtsuitoefening verandert de lengte van de kontraherende spier niet.
Er is krachterevenwicht.
2. Bij dynamische krachtsuitoefening verandert de lengte van de kontraherende spier wel.
 - bij concentrische contractie wordt de spierlengte kleiner (rugspieren bij tillen);
 - bij excentrische contractie wordt de spierlengte langer bij de krachtsuitoefening (rugspieren bij bukken).

Een aardig voorbeeld van praktisch onderzoek naar krachtsuitoefening op speeltoestellen is gedaan door twee studenten IO samen met TNO-Bouw in verband met het voorbereiden van een norm (van de Kerk en Voorbij, 1995). De steekproef bestond uit ruim 200 kinderen van 4-12 jaar. Bij het schrapzetten van de voeten tegen een stang vanuit een zitpositie met een steun in de rug, bleken ondermeer krachten tot 2000 N voor te komen.

2.9.2 Druk, trek en torsie

In laboratoria wordt voor het meten van krachtoefening veelal gebruik gemaakt van rekstrookmeettechniek, van piëzo-elementen of van capacitieve meetelementen. Dit zijn kostbare methoden; bijvoorbeeld dient men voor een glazen vloerplaat met 4 piezo-druk opnemers met ladingsversterkers, voedingen, schrijvers en displays al gauw meer dan f 50.000 te begroten.

Met deze Kistler-meetplaat wordt veel gangbeeld-analyse gedaan: traagheidskrachten tijdens het bewegen kunnen wel via videoanalyse worden verkregen, maar data over de grondreactiekrachten via zo'n platform zijn noodzakelijk om de bewegingsvergelijkingen in een bepaalde te onderzoeken doorsnede van het menselijk lichaam te kunnen uitrekenen. Uit dit type onderzoek is bijvoorbeeld gehaald dat de verticale botkrachten in het kniegewricht ongeveer 3G zijn (G = lichaamsgewicht), bij normaal lopen; bij traplopen tot 5G en bij springen vanaf een kast in de gymzaal tot 15 G. Zo'n meetplatform levert de grootte, de richting van de grondreactiekracht en de plaats van aangrijpen. Een nadeel van de piëzo-elementen is dat de meetwaarden na enige tijd weglekken; vandaar dat ze meteen moeten worden weggeschreven.

De rekstrookmeettechniek wordt vaker gebruikt bij het meten van krachten bij duwen, trekken en torsie van hand, vinger of voet. Hierbij wordt een dunwandige cilinder beplakt met rekstrookjes volgens de brug van Wheatstone. Bij belasting wordt elke kleine verplaatsing in de lengte omgezet in een spanningsverandering, die af te lezen is op een display. Deze techniek is richtingsgevoelig en stelt daarom hoge eisen aan de bevestiging van de handvatten of pedalen.

Doch ook door middel van een goed protocol, van wat de proefpersoon opgedragen wordt ("alleen duwen en niet buigen"), kunnen veel meeton nauwkeurigheden kunnen worden voorkomen.

Capacitieve metingen kunnen goed gebruikt worden om drukken en druk verdelingen te registreren. Eén van de zones van het menselijk lichaam, die vaak onderwerp van onderzoek t.a.v. drukverdelingen is geweest, is het zitvlak. Een eenvoudige methode bestaat uit het gebruik maken van manchet-bloeddrukmeters. Ook de Oxford-pressure-monitor (OPM) werkt op dezelfde wijze. Op het raakvlak mens-product (in dit geval zitvlak-stoel) worden enkele zakjes met lucht onder een bekende druk geplaatst. Het drukverschil wordt dan door de meeneemwijzers van de bloeddrukmeters weergegeven, of bij de OPM via een afgedrukt lijstje van meetwaarden. Een nadeel van deze methoden is dat het zitcomfort en daarmee de Mens-product-interactie door de meting wordt beïnvloed. Bovendien heeft de OPM slechts 12 zakjes met lucht als meetplaats. In ons laboratorium (sektie Fysieke Ergonomie) wordt reeds enkele jaren gewerkt aan het ontwikkelen van een meetmat, waarbij per vierkante centimeter de verticale kracht gemeten wordt als functie van de tijd (Moes, 1995). De meetwaarden van de drukverdeling van een persoon, zittend op een fietszadel, kunnen tegelijkertijd op een monitor worden afgebeeld als een steeds wisselend berglandschap. De schuifspanning wordt onderzocht aan de Medische Faculteit in Rotterdam, in het laboratorium van de afdeling Biomedische Natuurkunde en Technologie van Prof. Snijders.

Beide methoden zijn op dit moment nog experimenteel.

2.9.3 Wrijving

Er is nuttige wrijving (bij schrijven, lopen, schaatsen en remmen of rollen), maar ook schadelijke wrijving (slijtage van tandwielen en banden of een schaafwond na een valpartij). Het is goed te beseffen dat er bij wrijving steeds in principe sprake is van 3 media: twee materialen en een tussenmedium.

Het intermediair kan lucht zijn (tandartsboor), maar ook olie (hydraulisch lager) of kleding (persoon die op een stoel zit).

De eigenschappen van elk van de drie en hun interactie bepalen de aard van de wrijving. In het ideale geval geldt:

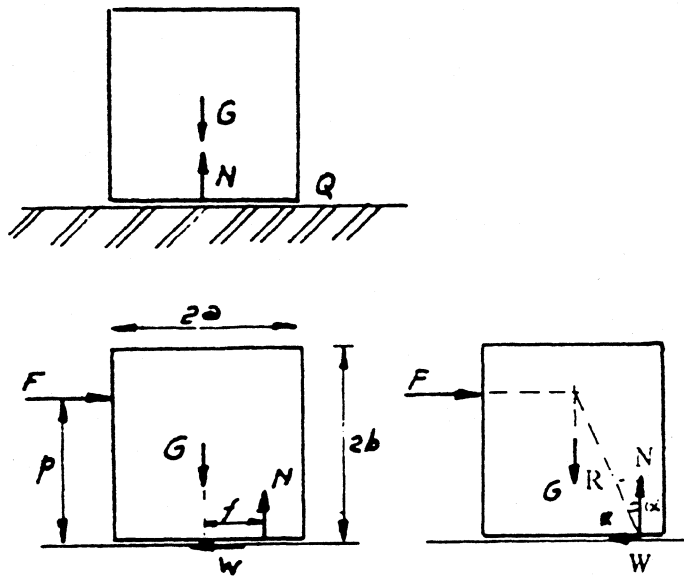
$$W = f \cdot N$$

W = wrijvingskracht in N,

f = wrijvingscoëfficiënt, die afhangt van de ruwheid van het oppervlak

N = normaalkracht in N loodrecht op het oppervlak.

Nu volgt een korte samenvatting van een algemeen wrijvingsprobleem uit de mechanica, toegepast op een blok (dit zou evengoed een mens kunnen zijn in statische toestand) met zijde 2a ; een kracht F werkt horizontaal op de linkerkant van het blok op afstand p vanaf de vloer. Het blok gaat glijden over de horizontale vloer of kantelen om ribbe b (rechtsonder).



Figuur 2.28 Blok met krachten.

vloer		leer	neopreen	crepe
zacht rubber		.92	1.13	.89
glad rubber		.44	.70	.65
nat + glad beton		.97	.62	.59
geverniss hardhout droog		.53	.35	.75
idem	nat	.67	.35	.30
vinyl/lynoleum		.65	.73	.81
idem	nat	.60	.41	.52
asfalt		.57	.49	.88
idem	nat	.66	.43	.49
hard rubber		.53	.80	.80
idem	nat	.77	.44	.55
gepolijst staal		.24	.24	.54
idem	nat	.28	.34	.34

Figuur 2.29 Wrijvingscoëfficiënten tussen schoenen en vloeren van diverse materialen

Als F toeneemt, gaat het blok glijden of kantelen om ribbe b .
 Bij het glijden is W maximaal W_0 en de versnelling is $\ddot{x} = (F - W_0)/m$
 met $\text{tg } \alpha_0 = W_0/N$ is $W_0/G = \mu_0$

Als het blok kantelt voordat W zijn maximale waarde W_0 bereikt, is de werklijn van N bij ribbe b gekomen; dan geldt:

$$I_b \cdot \phi = F \cdot p - G \cdot a \quad (\text{hierbij is } N \neq G \text{ en } W \neq F)$$

Wat er gebeurt hangt af van de verhouding F/G :

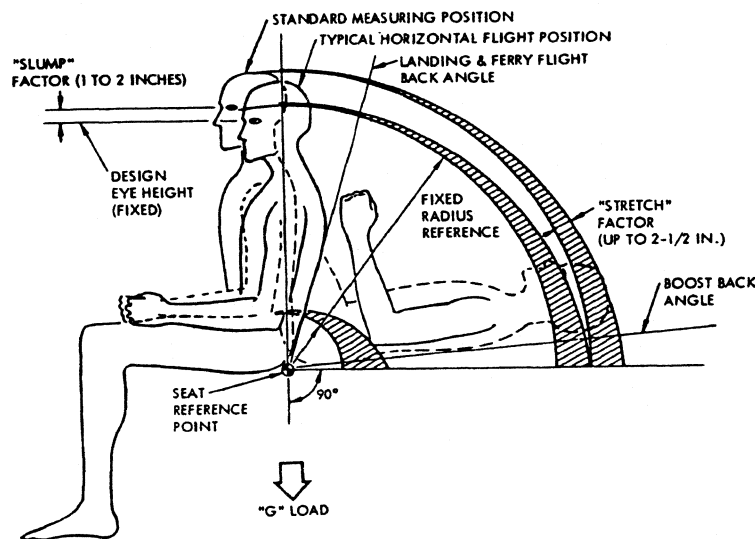
bij: $F/G < \mu_0$ - blok rust of gaat kantelen

bij: $F/G < a/p$ - blok remt of glijdt

Glijden treedt eerder op dan kantelen als $\mu < a/p$

Kantelen treedt eerder op dan glijden als $\mu > a/p$

Voorbeeld van een complexe MPI-situatie, waarbij wrijving tussen diverse contactvlakken een grote rol speelt is de situatie als iemand zittend op een stoel van achteren naar voren buigt ook wel 'shirt-push' of 'Hemdauszieh-effekt' genoemd (zie figuur 2.30).



Figuur 2.30 Antropometric dimension changes as a function of back angle in earth gravity (Roebuck et al, 1975).

De romp kantelt hierbij om de lijn door heupgewrichten als draai-as, terwijl de kleding een langere weg aflegt via draaiing om de as door de zitknobbels cq via afronding van de billen over de zitting.

2.10 Gewrichtsexcursies, houding, beweging, snelheid en versnelling

2.10.1 Gewrichtsexcursies

De term gewrichtsexcursies is buiten IO niet zo bekend; dan spreekt men meestal van gewrichtsuitslagen, bewegingsmogelijkheden of 'body joint motions'. Bovendien bedoeld men meestal de maximale gewrichtsexcursie (R.O.M.: range of movement), indien men gaat meten. Bij het toepassen van de data heeft men liever de comfortabele hoeken. Data over comfortabele hoeken zijn echter schaars of afwezig. Als antropometrische grootte dient de gewrichtsexcursie behandeld te worden als een lengtemaat, die vaak normaal verdeeld is, en die men kan parametriseren door een gemiddelde waarde en een standaarddeviatie. In vergelijking met een lengtemaat, doen zich echter meer moeilijkheden voor:

- de maximale gewrichtsexcursie hangt af van kleding, van training en beroep of hobby;

- de gewrichtsexcursies zijn in tegenstelling tot veel lengtematen, bij vrouwen vaak groter dan bij mannen;
- de maximale gewrichtsexcursie is kleiner op basis van eigen spierwerking dan door externe krachten geforceerd;
- comfortabele gewrichtsexcursie zijn moeilijk te definiëren en hangen ondermeer af van de houding en van de zwaartekracht op het betreffende segment; bij het practicum ergonomie op IO bleek dat de instructie 'welke hoek kun je wel 5 minuten volhouden' te leiden tot een 70% van de maximale hoek;
- de gewrichten hebben niet één rotatie centrum, maar vaak liggen de verzameling van momentane rotatiecentra op een wiskundig te beschrijven baan (evolventen of schroefassen); hiermee wordt ook de afstand tussen twee rotatiecentra (= veelal lengte segment) theoretisch een functie van de hoekverdraaiing van de segmenten;
- bewegingen in twee of meer bijeen liggende gewrichten plegen elkaar te beïnvloeden, zodat de maximale buiging over die verschillende gewrichten minder is dan de som van die in de afzonderlijke gewrichten.

In de literatuur zijn diverse pogingen gedaan gewrichtsexcursie te standaardiseren (zie ondermeer in Roebuck et al., 1975). De methode die wij hier hanteren, wordt wel de SFTR-methode genoemd. Een IO-student heeft in een literatuuronderzoek een overzicht gemaakt van wat er per gewricht bekend was, en heeft dit volgens die SFTR-methode genoteerd (Vellinga, 1984).

S = beweging in het sagittale vlak (zie voor anatomische terminologie Bijlage);

F = beweging in het frontale vlak;

T = beweging in het transversale vlak;

R = rotatiebeweging.

De excursie wordt genoteerd als bijvoorbeeld: + 180 F -30; dit betekent 180 graden in het frontale vlak naar buiten en 30 graden naar binnen. In dit geval slaat dit op de abductie/adductie van de bovenarm in de schouder. Men gaat hierbij steeds uit van de anatomisch houding (zie bijlage) als uitgangshouding; dit betekent rechtop staan, met loshangende armen en met de handpalmen naar voren.

meetmethoden

Het meest gebruikte instrument is de goniometer of een geautomatiseerde versie daarvan. Het positioneren van de goniometer langs de middellijn van een segment of op het rotatiecentrum van een gewricht, is niet eenvoudig. Wil men op grote schaal gewrichtsexcursie meten dan bedenkt men al gauw voor elk gewricht een aangepast instrument. Bijvoorbeeld voor de registratie van de hoofdbewegingen is een helmachtige constructie voorzien van enkele hulplijnen ter aanduiding van het mediane, transversale en frontale vlak erg handig.

Een ander principe is de 3D-positiemeter (EDI), die elektrisch uitlezen mogelijk maakt. Dit instrument dient men tegen een segment in positie A en positie B te houden; vervolgens berekent het instrument het verschil tussen beide hoeken, met de aanname dat de beweging in hetzelfde vlak heeft plaatsgevonden.

Het voordeel hiervan is dat men geen rotatiecentrum hoeft te weten. Het nadeel is echter dat dit traag werkt en met nogal wat storingen gepaard gaat.

Een vierde methode is het met video vastleggen van de beweging en het naderhand digitaliseren. Vanwege het beschikbaar komen van meer adequate framegrabbers (om beelden om te zetten in data) en vanwege de geringe tijd die van de proefpersoon ge-

vraagd wordt, is deze methode sterk in opkomst. Bij sommige software hoeft men slechts eenmaal een segment aan te duiden, waarna de digitalisatie bij de overige beelden van hetzelfde segment, automatisch verloopt.

Een vijfde methode is het gebruikmaken van 3D-digitizers, zoals OPTOTRAK (aanwezig in het laboratorium van de vakgroep Ergonomie en gebruikt bij de promotieprojecten van ondermeer de Graaf(1994) en van der Vaart(1995) of PRIMAS (ontwikkeld bij de Faculteit Natuurkunde). Door markers op de ledematen te plakken, zetten de camera's (2 of meer) automatisch de bewegingen om in x,y en z-coördinaten of desgewenst in hoeken.

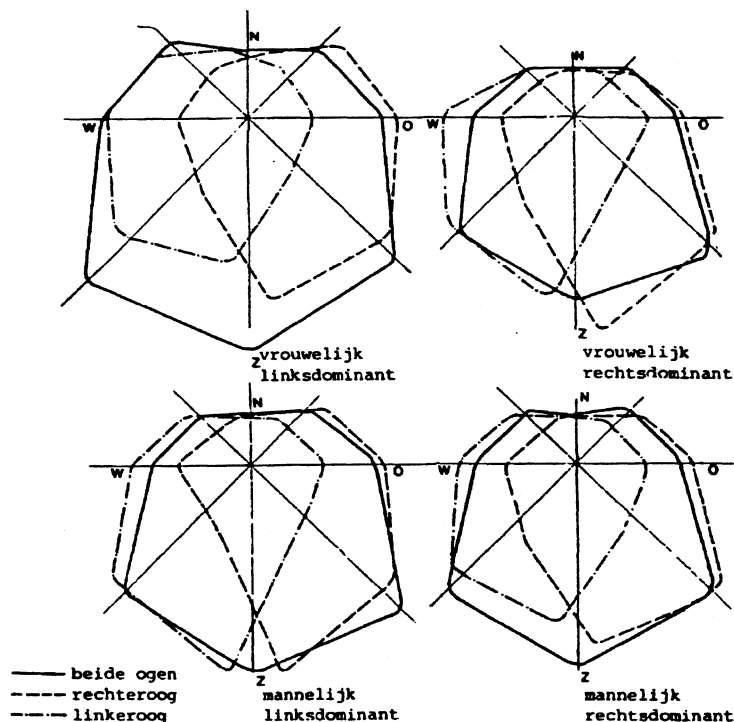
Data gewrichtsexcursies

De tabel van Lange (zie Bijlage 16) is wellicht het meest bekend, maar heeft als nadeel dat die geen percentielwaarden geeft en dat niet bekend is hoe deze gemeten zijn en bij welke doelgroep. Toch is deze opgenomen, omdat deze nog vrij algemeen gebruikt wordt.

De tweede tabel (Bijlage 10) geeft ondermeer data van Staff(1983) en Houy(1982), die met automatische goniometers werkte en een uitgebreid literatuuroverzicht heeft geschreven. Haar proefpersonen, waren een 100-tal vrouwelijke studenten aan de Universiteit van Texas. De bronnen waarmee zij haar resultaten vergeleek, staan ook in deze tabel.

Oogbolexcursie

Hiermee wordt bedoeld, welke de bewegingsmogelijkheden zijn van de kijk-as en waarmee de grootte van het gezichtsveld (field-of-view) wordt beschreven. Figuur 2.31 geeft een voorbeeld van een oogbolexcursie, zoals gemeten door Geels (1985).



Figuur 2.31 Vergelijking van het linker- en het rechteroog met beide ogen, waarbij de mediaan (M) is weergegeven (Geels, 1985).

De proefpersonen hadden hun hoofd gefixeerd in een houder op circa 1 meter van een verticaal bord bij goede verlichting. Vanuit de periferie werden steeds kaartjes met daarop een reeks van letters, naar het midden van het bord geschoven. De coördinaten van het punt, waarop men het kaartje kan lezen werden genoteerd. Zo ontstonden de typische diagrammen als in figuur 2.31.

Enkele aanverwante begrippen (bliklijn, blikveld, fixeerpunt, fovea, gezichtsveld, oogveld, oogbolexcursieveld) staan in de begrippen lijst in Bijlage (zie blz 42 in rapport Geels).

2.11 Indices

Een index wordt in de ergonomie regelmatig gebruikt om een oordeel te kunnen geven over twee of meer samenhangende variabelen. Voorbeelden zijn:

- quetelet-index (G/L^2);
- schedelindex ($100 \cdot \text{breedte} / \text{lengte}$);
- beenlengte/romplengte;
- schouderbreedte/heupbreedte.

Deze zijn alle rekenkundige bewerkingen van lichaamsmaten en zijn op zich veelal weer normaal verdeeld. Andere indices zoals op de DINED-tabel, die bewerkingen zijn van percentielwaarden van lichaamsmaten, zijn niet meer normaal verdeeld.

In het leerboek der Fysische Anthropologie volgens Martin (Knussmann, 1988), staat een overzicht van talrijke indices. In dit diktaat behandelen we er slechts enkele.

Hieronder volgen de referentiewaarden volgens Knussmann (1988).

referentiewaarden schedelindex

ultra dolichocéfaal	$\leq 64,9$
hyper dolichocéfaal	65-69,9
dolichocéfaal	70-74,9
mesocéfaal	75-79,9
brachycéfaal	80-84,9
hyperbrachycéfaal	85-89,9
ultrabracycéfaal	≥ 90

referentiewaarden romplengte/beenlengte (skelischer index (G), skeletal index (UK))

hyperbrachyskel	$\leq 74,9$
brachyskel	75-79,9
subsbrachyskel	80-84,9
mesatiskel	85-89,9
submakroskel	90-94,9
makroskel	95-99,9
hypermakroskel	≥ 100

referentiewaarden heupbreedte/schouderbreedte

trapeziumvormig	$\leq 69,9$
middel	70,0-74,9
rechthoekig	$\geq 75,0$

Quetelet-index

Deze wordt ook wel als QI of in de engelstalige literatuur als BMI (Body Mass Index) genoteerd. Over de eenheden is er geen misverstand bij deze index: lichaamsgewicht

G in kg, gedeeld door het kwadraat van de lichaamslengte L in meters. De Nationale Gezondheidsraad heeft grenzen aangegeven, waarbinnen het "gezonde gewicht" dient te liggen. Deze grenzen zien er als volgt uit:

18-20 kg/m² neiging tot ondergewicht
 20-25 kg/m² gezond gewicht
 25-27 kg/m² neiging tot overgewicht.

Er wordt veel onderzoek gedaan naar de Quetelet-index in relatie tot voeding en sterfte risico. Dit soort referentiewaarden blijken tijdsafhankelijk te zijn. Dit bleek bij de Broca-index (het gezonde gewicht is gelijk aan lichaamslengte in cm - 100): $G = L - 100$ kg. Martin (1926) schreef in zijn leerboek dat dit gold voor $155 < L < 165$ cm. In latere edities moest men dit herzien, omdat er steeds meer mensen voorkwamen met een lengte boven de 165 cm. De indices blijken bovendien afhankelijk te zijn van de cultuur (volslank was de mode rond 1900), van etniciteit en somatotype. Een recent diagram staat in Bijlage 17. Hiermee kan eenvoudig met een liniaal bij een bepaalde lengte en gewicht, zowel de QI als een schatting (SE = 4%) voor het vetpercentage worden afgelezen.

Vetmassa

Volgens Garrow et al (1986) blijkt de QI een bruikbare relatie ($r = 0,955$) met de hoeveelheid lichaamsvet (VM).

$VM = (0,713 * QI - 9,74) * L^2$, kg vetmassa voor vrouwen.

$VM = (0,715 * QI - 12,1) * L^2$, kg vetmassa voor mannen.

Voor kinderen en ouderen blijken deze referentiewaarden niet geldig.

Huidplooien

De hoeveelheid vet wordt veelal vastgesteld door het meten van de huidplooidikte. In de literatuur wordt echter veel kritiek geleverd op deze methode (reproduceerbaarheid is laag, de frequentieverdeling is scheef, men dient goed getraind te zijn om deze maat goed te kunnen meten). De som van de vier huidplooien (biceps, triceps, subscapular en supra cristaal) heeft een hoge correlatie met de vetmassa. Er bestaan tabellen (Durnis en Ramahan, 1967), waarin men dan de vetmassa kan aflezen, afhankelijk van geslacht, leeftijd en huidplooidikte.

Appel en peervormig

Ashwel et al. (1985) bedacht de term "appelvormig" voor mensen met veel buikvet en "peervormig" voor mensen met veel vet op de heupen. Zij onderzocht de hoeveelheid vet met CT-scans en definieerde ondermeer de index 'Taille-omtrek / Heup-omtrek' (T/H). Hiermee is de plaats van het vet eenvoudig te bepalen en dient als aanvulling op de QI gezien te worden. De QI differentieert immers niet tussen een bodybuilder met brede schouders en smalle heupen en iemand met een appelvormig figuur, indien lengte en gewicht beide gelijk zijn.

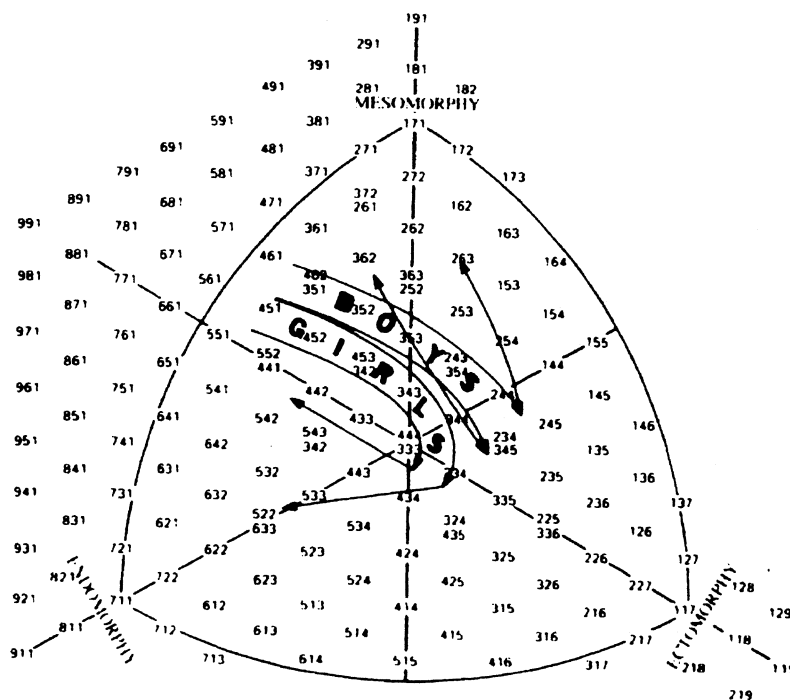
Referentiewaarden

plaats vet	T/H
onderlichaam (peer)	< 0,75
normaal	0,75 - 0,85
bovenlichaam (appel)	> 0,85

2.12 Somatotypologie

De theorie van Sheldon is reeds kort vermeld bij paragraaf 2.6 (volume). Deze was gebaseerd op subjectieve waarneming, maar zijn medewerksters, Heath en Carter hebben de gedachte om de variatie van menselijke vorm in enkele kentallen samen te vatten, geobjektiveerd en gekwantificeerd. Carter & Heath (1990) geven uitgebreid en nauwgezet aan hoe het staat met de "Somatotyping".

In de visie van Carter & Heath is er nu niet één somatotype dat men zijn hele leven houdt, zoals Sheldon vroeger beweerde, maar is er een samenhangende reeks. Het somatotype wordt aangeduid met 3 kentallen, bijvoorbeeld 171 is een zeer sportief type; 711 is een volslank (dik) type en 117 is een zeer mager type. Volgens Sheldon lagen die 3 cijfers steeds tussen 1 en 7, waarbij het cijfer de score op de eerste component (endomorfie), de tweede component (mesomorfie) of de derde component (ectomorfie) aangeeft. Ieder mens scoort op elke component in de loop van zijn leven in een bepaalde mate, welke langzaam kan verschuiven in samenhang met de andere. Carter & Heath geven als maximumscore een 9. Figuur 2.32 geeft aan welke weg binnen een somatokaart kinderen gemiddeld afleggen.



Figuur 2.32 Groei: de weg binnen een somatokaart (Carter and Heath, 1990).

Jongens verschuiven van endo-mesomorf naar ecto-mesomorf. Gedurende de puberteit met een groeiende spiermassa en completering van de ossificatie, versterkt de mesomorfe en verzwakt de ectomorfe component. Meisjes maken in het begin een analoge beweging langs de somatotypering: van endo-meso naar ecto-meso en naar de centrale somatotypen; tijdens de puberteit en daarna bewegen ze naar een uitgebalanceerde endo-mesomorfie. Door onderzoek bij kinderen op dieet of sport is gebleken dat de meer ectomorfe typen het meest stabiel zijn. In het algemeen blijkt echter dat de somatotypen van de meeste kinderen wel enigszins veranderen.

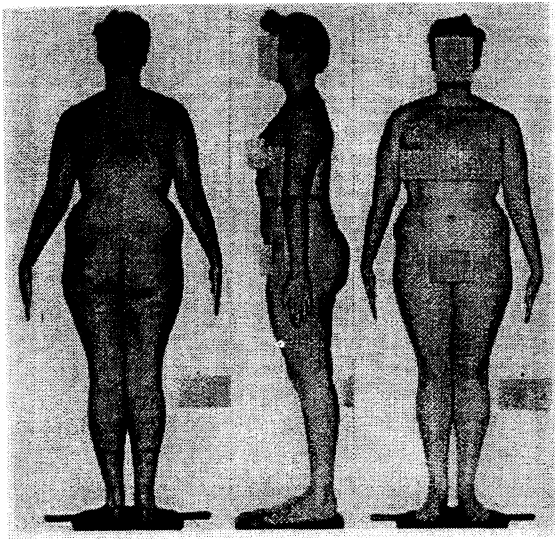
Regressievergelijkingen volgens Carter&Heath:

1.

Endomorfie score = $-0,7182 + 0,1451 (X) - 0,00068 (X^2) + 0,0000014 (X^3)$

met X = de som van de huidplooien van triceps, subscapulaire en iliacaal.

X dient met 170,18/ lichaamslengte in cm te worden vermenigvuldigd om een endomorfiescore te verkrijgen, die gecorrigeerd is voor de lichaamslengte (figuur 2.33);

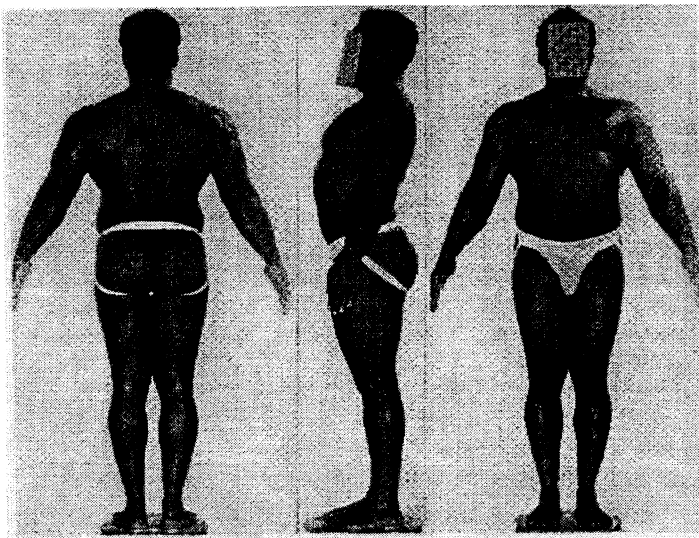


Figuur 2.33 31yr, 171.5 cm, 100.5 kg, 11.16 (36.89), 4-9-0.5 (Carter and Heath, 1990).

2.

Mesomorfie score = $(0,858 * \text{breedte humerus}) + (0,601 * \text{breedte femur}) + (0,188 * \text{gecorrigeerde armomtrek}) + (0,161 * \text{gecorrigeerde kuitomtrek}) - (\text{lichaamslengte} * 0,131) + 4,50$

Correctie omtrek = omtrek in cm - huidplooï in cm (zie figuur 2.34);

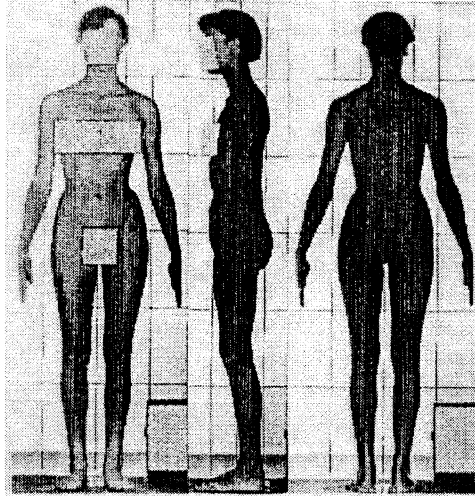


Figuur 2.34 19yr, 172.8cm, 86.0 kg, 11.84 (39.15), 7,5-4,5-1,5 (Carter and Heath, 1990)

3.

Ectomorfie score = $HWR * 0,732 - 28,58$

HWR = height-weight ratio en wel zo dat de lichaamslengte (L in cm) gedeeld wordt door de derde machtswortel van het lichaamsgewicht (G in kg) in de formule: $L / \sqrt[3]{G}$.



Figuur 2.35 18yr, 178.2 cm, 56.0 kg, 14.09 (46.58), 3,5-2-6 (Carter and Heath,1990).

Indien $38,25 < HWR < 40,75 \rightarrow Ecto = HWR * 0,463 - 17,63$
 $HWR < 38,25 \rightarrow Ecto = 0,1$

Bovenstaande scores worden de antropometrische somatotype scores genoemd; dit zijn de beste objectieve schattingen van het somatotype. Samen met de HWR-tabel (height-weight-tabel), de foto en de antropometrische scores zal een ervaren 'somatotypist' het finale somatotype bepalen.

Ontwerprelevantie van somatotypen

Het bepalen van de benodigde 10 antropometrische variabelen is niet omvangrijk, maar vereist wel enige training. Toekomstig onderzoek moet uitwijzen of met minder variabelen, bijvoorbeeld de reeks:gewicht, lengte, tailleomtrek en heupomtrek, leeftijd en geslacht, al niet voor ontwerpers voldoende onderscheid in typen lichaamsbouw kan worden bepaald.

Voor industrieel ontwerpers lijkt een 3 cijferige klassificatie samen met de HWR-lijst en de prevalentie van elk type, per beroepsgroep bijvoorbeeld, een handig hulpmiddel. Er zijn nu reeds CAD-programma's, zoals ANYBODY, CADPEOPLE, MANNEQUIN, ADAM en JACK, waarin de ontwerper tussen 3 globale somatotypen kan kiezen. Met het bovenstaande in het achterhoofd, zal de ontwerper iets kritischer kunnen kijken naar dit soort mogelijkheden.

2.13 Besluit

In het voorgaande is een overzicht gegeven van de data en meetmethoden, welke van belang kunnen zijn bij het ontwerpen, onderzoeken en beoordelen van fysiek ondersteunende producten, componenten of systemen. In groeiende mate valt te zien dat in produktontwikkelingsprocessen op kleinschalig niveau speciale metingen en proeven worden verricht om het ontwerp een hogere gebruikskwaliteit te kunnen geven.

Literatuur

- ARP (Anthropology Research Project), 1978.
Anthropometric Source Book, Volume 1, 2, 3. NASA Reference Publication 1024, National Technical Information Centre (NTIS), Springfield Virginia, USA.
- Bashkirew, P.N., 1954.
Specific gravity of adult male subject and factors determining its change. Trans. State University of Moscow, 166.
- Berns, T., 1981.
The handling of consumerpackaging. Applied Ergonomics 12(1981)3, 153-161
- Bernstein, N.A., 1967.
The coordination and regulation of movements. Pergamon Press Oxford.
- Bouisset, S. and E. Pertuzon, 1968.
Experimental determination of the moment of inertia of limb segments. In: Biomechanics, Kargel, Basel, pp 106-109.
- Boyd, E., 1933.
The specific gravity of the human body. Human Biology (1933)5, 646-672
- Braune, W. und O. Fischer, 1889.
Über den Schwerpunkt des menschlichen Körpers mit rücksicht auf die Ausrüstung des Deutschen Infanteristen. In: Abh der Math Phys Classe des König, Sächs. Ges. der Wissenschaften, 15 (1889)7, 561-672.
- Burandt, U., 1978.
Ergonomie für Design und Entwicklung. Verlag Otto Schmidt, Köln.
- Cameron, N., 1984.
The Measurement of Human Growth. Croom Helm, London.
- Carter, J.E.L and B.H. Heath, 1990.
Somatotyping- developments and applications. Cambridge University Press Cambridge.
- Contini, R., 1972.
Body segment parameters. Artificial Limbs, 16 (1972) 1, 1-19.
- Daams, B., 1994.
Human force exertion in user-product interaction. Delft University of Technology.
- Damon, A., H.W. Stoudt and R.A. McFarland., 1966.
The Human Body in Equipment Design. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Dempster, W.T., 1955.
Space requirement of the seated operator. Geometrical-, kinematic- and mechanical aspects of the body with special reference to the limbs. Ohio, Wright-Patterson Air Force Base, 1955 a, WADC-TR-55-159.
- Diffrient, N., A.R. Tilley, D. Harman and J.C. Bardaggy, 1974-1981.
Humanscale 1-9. The MIT Press, London.
- Drillis, R. and R. Contini, 1966.
Body segment parameters. Techn Report 116.03, New York Univ. School of Engineering and Science.
- Dupertuis, C.W. et al., 1950.
The relation of specific gravity to body build in a group of healthy men. Proj NM 004 006.03.06, Western Reserve Univ and Naval Medicine Res Inst.
- Frank, P., F. Han en S. Spangenberg, 1985.
Krachtuitoefening bij kinderen in een vliegende hollander. Faculteit Industrieel Ontwerpen, TUDelft.

- Henze, L. en H. Staarink., 1985.
Project kinderrolstoelen. Richtlijnen voor de maatvoering van kinderrolstoelen.
 Gemeenschappelijk Medische Dienst, Amsterdam.
- ICE (Institute for Consumer Ergonomics), 1981.
Seated anthropometry: the problems involved in a large scalesurvey of disabled and elderly people. Ergonomics 24 (1981) 11, 831-845.
- ICE (Institute for Consumer Ergonomics), 1983.
Seating for elderly and disabled people Report no.2, Anthropometric survey.
 University of Loughbourough, UK.
- Kemper, H.G. en J.J.L. Pieters, 1974.
Comparative study of anthropometric measurements of the same subjects in two different institutes. Am. J. Phys. Antrop. 40 (1974) 3, 341-344.
- Kerk, B. van der en A.I.M.Voorbij, 1995.
Krachten van kinderen. Een aanzet tot veiliger produkten. T v Ergonomie, 20 (1995)5,2-8.
- Knussman, R., 1988.
Anthropologie. Handbuch der vergeleichenden Biologie des Menschen (begrundet von Rudolf Martin). Fischer Verlag, Stuttgart.
- Kroemer, K.H.E. and J.M. Howard, 1968.
A nota on strength measurements. AMRL-TR-68-144, Wright Patterson Air Force Base, Ohio.
- Lombaers, J.H.M., J.F.M. Molenbroek en D.S.C. Osinga, 1985.
Antropometrische modellen. Overzicht en vergelijking van modellen van mens en werkplek. Reeks Industrieel Ontwerpen, Bijzondere Onderwerpen, deel 10. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TUDelft.
- Molenbroek, J.F.M., 1994.
Op maat gemaakt, Menselijke maten voor het ontwerpen en beoordelen van gebruiksgoederen. Dissertatie, Technische Universiteit Delft, Delftse Universitaire Pers.
- Molenbroek, J.F.M., Houtkamp, J.J., en Burger, A.K.C., 1983.
Bejaardenantropometrie. Onderzoek naar en toepassingen van afmetingen van Nederlandse bejaarden. Reeks industrieel ontwerpen, deel 6, Tussenafdeling van het Industrieel Ontwerpen, Technische Hogeschool Delft.
- NPR-2737, 1991.
Richtlijnen voor het opzetten van een antropometrisch onderzoek. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft.
- Pascale, L.R. et al., 1956.
Correlations between thickenss of skinfolds and body density in 88 soldiers. Human Biology, 28(1956), 165-176
- Ralston, H.J. et al., 1947.
Mechanics of the human isolated voluntary muscle. Amer J Physiol 151(1947) 612-620
- Roebuck, J.A., K.H.E. Kroemer and W.G. Thomson., 1975.
Engineering anthropometry methods. Wiley, London.
- Santshi,W.R., J. Dubois and C. Omoto, 1963.
Moments of inertia and centers of gravity of the living human body. AMRL-TDR-63-36, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.
- Sittig, J. en H. Freudenthal, 1951.
De Juiste Maat, lichaamsafmetingen van Nederlandse vrouwen als basis van een nieuw maatsysteem voor damesconfectiekleding. Stafleu, Leiden.

Tanner, J.M. and Weiner, J.S. , 1949.

The Reliability of Photogrammetric Method of Anthropometry with a Description of a Miniature Camera Technique. Am.J.Phys. Anthropol. 7(1949) 145-186.

Wieringen, J.C. van, 1972.

Seculaire groeiverschuiving. Lengte en gewicht surveys 1964-1966 in Nederland in historisch perspectief. Proefschrift, Rijksuniversiteit Leiden.

Williams, M and H. Lissner, 1962.

Biomechanics of Human Motion. Saunders, London.

3 Biomechanische begrippen

Inleiding

Bij het ontwerpen van werkplekken en producten is ergonomie in toenemende mate leidmotief. Belangrijk onderdeel van dit grondthema is de biomechanica van het spier-skeletstelsel (Snijders, 1995). Het aardige van biomechanica is, dat het inzicht geeft in het waarom van ontwerpcriteria die algemeen worden gebruikt. Tegen deze ontwerpcriteria wordt nogal eens gezondigd. Men kan daarbij denken aan voorwerpen die men in de hand neemt, dingen die men op het lichaam draagt en producten waar men op ligt of zit, maar ook aan kunstgewrichten die in het menselijk lichaam worden aangebracht (endoprothesen).

In dit hoofdstuk wordt een beknopt overzicht gegeven van de meest gebruikte elementaire biomechanische begrippen.

Wat is biomechanica ?

Voor biomechanica kan men de volgende definitie hanteren:

biomechanica is de studie van de structuur en de functie van biologische systemen door middel van de methoden uit de mechanica (Hatze, 1974).

Terwijl ook andere wetenschappen hetzelfde omvangrijke gebied betreden zegt deze definitie dat de biomechanica uitsluitend gebruik maakt van de methoden uit de mechanica. Met de toevoeging bio (bios = leven) kan dan ook dezelfde onderverdeling worden gemaakt als in de algemene mechanica: biokinematica, biostatica en biodynamica.

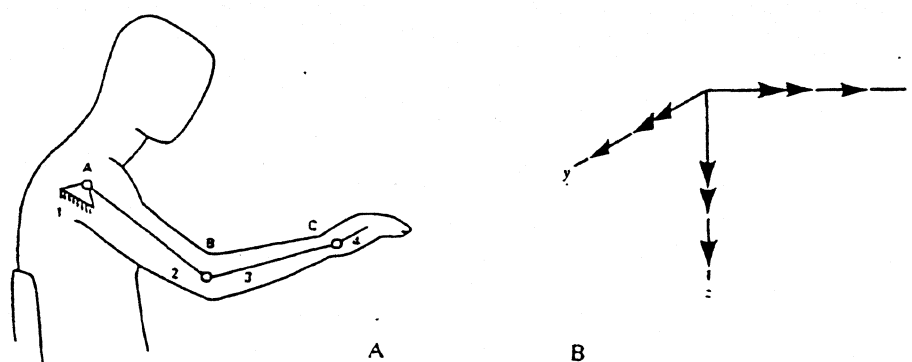
3.1 Biokinematica

Kinematische keten

De arm kan worden opgevat als een kinematische keten. Dit is een verzameling schakels (starre lichamen) met beweeglijke verbindingen. De keten heet gesloten wanneer elke schakel met tenminste twee andere is verbonden. Anders spreekt men van een open keten, wat men ziet als de hand vrij is in de ruimte. Een kinematische keten waarvan een schakel is vastgezet aan de omgeving wordt een mechanisme genoemd. De vastgezette schakel heet het gestel. Zo is in figuur 3.1A de gefixeerde schouder het gestel van de arm. De arm kan worden voorgesteld als een kinematische keten met $n=4$ schakels. In deze eenvoud is de hand voorgesteld door één schakel.

Aantal graden van vrijheid

Een onvervormbaar stoffelijk lichaam heeft in de ruimte maximaal 6 graden van vrijheid: drie translaties en drie rotaties. Deze bewegingsmogelijkheden zijn aangegeven in het rechthoekige coördinatenstelsel volgens figuur 3.1B, waarbij een dubbele pijl een rotatie aangeeft, en wel volgens de kurketrekkerregel: draaiing volgens een kurketrekker geeft beweging in de richting van de dubbele pijl. Bij beweging in een plat vlak heeft een onvervormbaar stoffelijk lichaam maximaal drie graden van vrijheid: twee translaties en één rotatie. Het aantal graden van vrijheid is dus het aantal onafhankelijke bewegingen waaruit een willekeurige beweging kan worden samengesteld. Onderling loodrechte bewegingen zijn onafhankelijk van elkaar. Navolgend wordt het aantal graden van vrijheid (f) van een kinematische keten met een



Figuur 3.1A Arm en hand voorgesteld door een open kinematische keten met vier schakels en drie beweeglijke verbindingen. Fixeert men de schouder, dan vindt men door berekening zeven graden van vrijheid.

Figuur 3.1B Bewegingsmogelijkheden

aantal (n) schakels berekend. Eerst wordt het aantal graden van vrijheid vastgesteld wanneer alle schakels los van elkaar zouden kunnen worden bewogen. Vervolgens wordt het aantal beperkingen afgetrokken: dat is het aantal graden van vrijheid dat verloren is gegaan als gevolg van de onderlinge verbindingen en het vastzetten van één of meer schakels.

Het maximum aantal graden van vrijheid van n schakels is in de ruimte $n \times 6$. Door het vastzetten van een schakel, het gestel, verliest men er 6 zodat overblijft $(n-1) \times b$ met b is 6 voor een ruimtelijke en b is 3 voor een vlakke keten. Ook de onderlinge verbinding van schakels legt beperkingen op. Het resterende aantal graden van vrijheid (f) volgt uit de formule van Grübler:

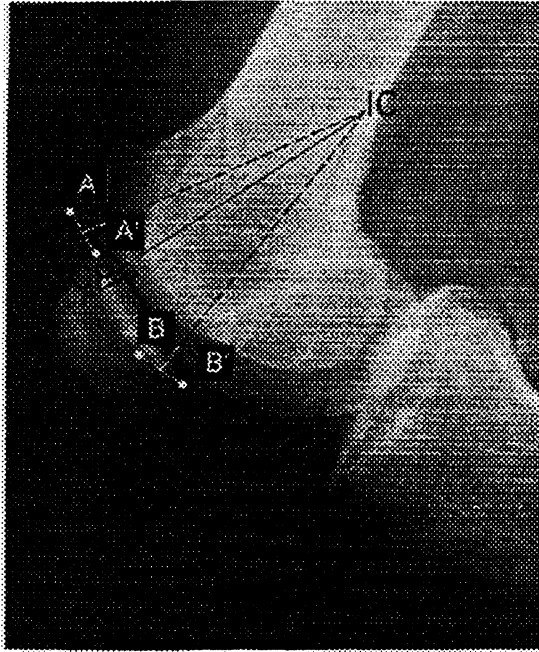
$$f = (n-1) b - \sum (b-f_i) - f_{id} \quad (1)$$

Waarbij f_i het aantal graden van vrijheid is in verbinding i ; $(b-f_i)$ is dus het aantal beperkingen in die verbinding. Voorts is f_{id} het aantal identieke graden van vrijheid. Zulks komt voor als een schakel kan draaien om zijn eigen lengteas, hetgeen hier niet het geval is. Het schoudergewricht (A, glenohumerale gewricht) kan worden opgevat als een bolscharnier. Het aantal graden van vrijheid is gegeven met drie onderling loodrechte rotaties. In het ellebooggewricht kan men twee vrijheidsgraden aanwijzen: scharnieren in de zin van flexie en extensie en rotatie in de zin van pro- en supinatie. (draaiing van de onderarm om de lengteas in horizontale positie: pronatie is het naar beneden draaien van de handpalm, supinatie het naar boven draaien). In het polsgewricht zijn eveneens twee onafhankelijke rotaties mogelijk, flexie en extensie en loodrecht daarop radiale en ulnaire abductie (ulna aan de kant van de pink). Invullen in (1) geeft:

$$f = (4-1) 6 - (6-3) - (6-2) - (6-2) = 18-11=7 \quad (2)$$

Het systeem heeft dus zeven graden van vrijheid, zodat de stand van de keten bekend is door zeven hoeken op te geven. Legt men de hand plat op tafel, dan kan men alleen de elleboog nog heen en weer bewegen op één manier, hetgeen de lezer eenvoudig bij zichzelf kan vaststellen. Door één hoek op te geven is de stand van het gehele mechanisme bepaald: één graad van vrijheid. Dit is dus een gesloten kinematische keten,

mechanisme bepaald: één graad van vrijheid. Dit is dus een gesloten kinematische keten, waarbij de hand deel is geworden van het gestel (deel van schakel 1). Dit betekent dat in (2) het aantal schakels verandert van vier in drie, terwijl het aantal beperkingen in de drie gewrichten gelijk blijft.



Figuur 3.2 Nadat de pool (IC) van het patellofemorale gewricht voor de knieflexie van 75° tot 90° is bepaald wordt een lijn getrokken vanaf de pool naar het contactpunt (CP) tussen patella en condylus femoris. Deze lijn staat loodrecht op de raaklijn aan het oppervlak van de patella, hetgeen wijst op glijding.

Pool

De knie heeft twee gewrichten, en wel tussen tibia (scheenbeen) en femur (dijbeen) en tussen patella (knie-schijf) en femur, respectievelijk het tibiofemorale en het patellofemorale gewricht (figuur 3.2). Alhoewel beweging in de knie in drie vlakken tegelijk plaats vindt, is de beweging in één vlak zó groot, dat deze verantwoordelijk is voor het grootste deel van de kniebeweging. Navolgend wordt in dit vlak de glijdende beweging van de patella over het femur geanalyseerd, waarbij het femur in gedachten wordt vastgezet en vervolgens het bewegingsmiddelpunt (pool) van de patella wordt bepaald.

In figuur 3.2 is aangegeven hoe de pool van de beweging van de patella ten opzichte van het femur kan worden bepaald met behulp van de constructie van Reuleaux. Röntgenfoto's bij 75° en bij 90° flexie worden zodanig op elkaar gelegd dat de projecties van het femur samenvallen (Snijders, 1994). Een goed te identificeren punt aan de proximale rand van de patella (A) blijkt verschoven te zijn

naar A'. Een punt aan de distale rand (B) is verschoven naar B'. Op de afgebeelde röntgenfoto (90° flexie) is de pool het snijpunt van de middelloodlijnen op de lijnen die elk stel punten verbinden. Vervolgens wordt een lijn getrokken vanaf de pool naar het contactpunt (CP) tussen patella en condylus femoris. Deze lijn staat loodrecht op de raaklijn aan het oppervlak van de patella, hetgeen wijst op glijden.

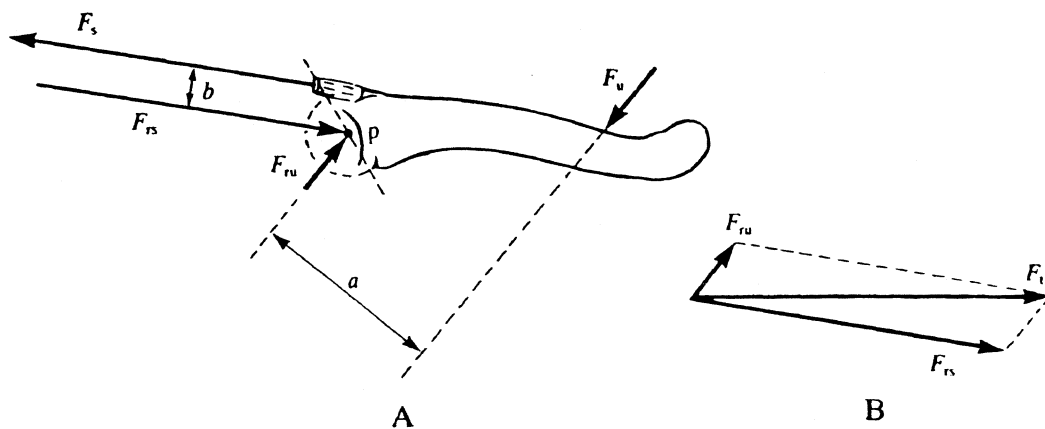
Bij beweging van gewrichten verandert de pool steeds (een beetje) van plaats, en de zo beschreven lijn heet de poolbaan.

3.2 Biostatica

Om het krachtenspel rond en in een gewricht te bepalen, wordt vaak een vrijlichaamsdiagram getekend. Deze techniek wordt aan de hand van een voorbeeld toegelicht. We gaan uit van een statische situatie, d.w.z. er treden geen bewegingen op. Wel treden er krachten op, de situatie is dus niet passief. Als eerste wordt een deel van het lichaam denkbeeldig losgesneden. Dit losgesneden deel heet het vrije lichaam. Figuur 3.3 toont een willekeurig deel van het lichaam dat ter plaatse van een gewricht is losgesneden. Dit zou een vinger kunnen zijn, maar ook een been of een arm. Op dit

cirkelvormig profiel van het gewrichtsvlak, de pool p , is het bot denkbeeldig losgesneden van het aangrenzende deel van het lichaam. Door p gaat de werklijn van de reactiekracht F_{ru} die evenwicht maakt met F_u (actie is reactie). Beide krachten vormen een koppel met het moment $M_u = F_u \cdot a$. Aanspanning van de spieren met kracht F_s kan evenwicht opleveren: tegelijk met F_s ontstaat in het gewricht de reactiekracht F_{rs} om te zorgen voor krachterevenwicht met F_s . Zo ontstaat een linksom draaiend koppel met het moment $M_s = F_s \cdot b$. Er is momentenevenwicht wanneer geldt $F_u \cdot a = F_s \cdot b$. Omdat a in de praktijk vaak veel groter is dan b moet de spierkracht vaak veel groter zijn dan de uitwendige belasting. Ook de totale reactiekracht F_t in het gewricht is dan groot. Men vindt deze door optelling van de vectoren F_{rs} en F_{ru} volgens de parallellogram constructie.

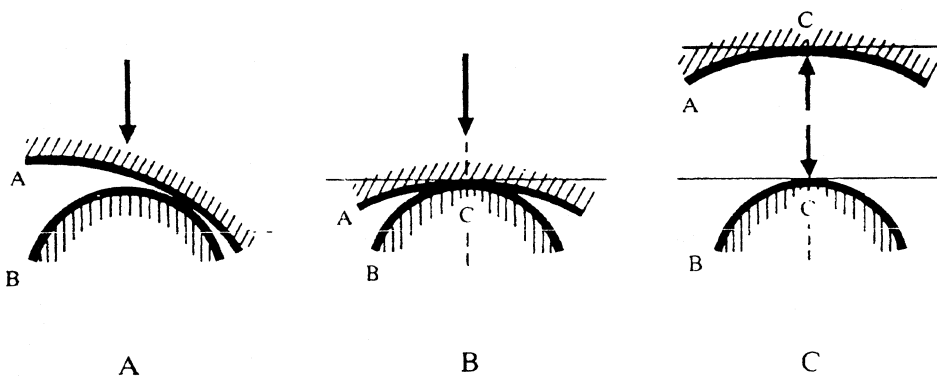
De kracht in een spier bereikt het bot via de pees. De werklijn van deze trekkracht is steeds in de lengterichting van de spier ter plaatse van de doorsnede. Vaak neemt men aan, dat deze kracht tussen begin- en eindpunt van de spier (origo en insertie) verloopt volgens een rechte lijn. In figuur 3.3 kan de kracht F_s ook betrekking hebben op de trekkracht in een ligament, een band van collageen bindweefsel die gaat van bot naar bot.



Figuur 3.3A Bot in statisch evenwicht. Twee even grote, doch tegengesteld gerichte momenten van twee koppels.

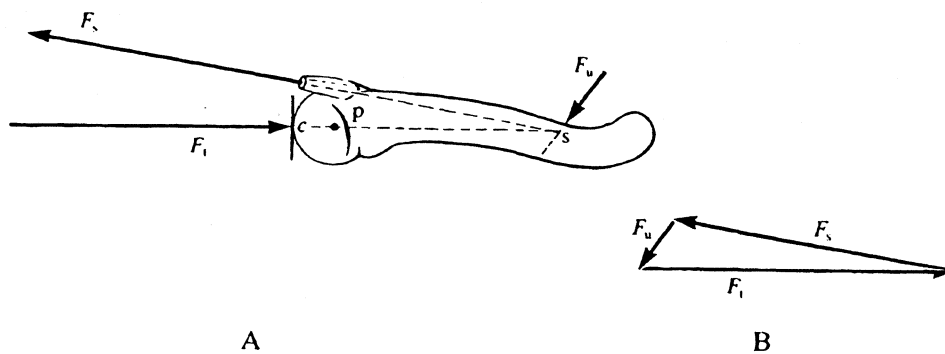
Figuur 3.3B Bepaling van de totale gewrichtsreactiekracht door middel van de parallellogramconstructie.

Opmerking: In de mechanica begint men gewoonlijk met het ontbinden van de krachten in bijvoorbeeld een horizontale en een verticale richting, waarna het krachterevenwicht in die richtingen wordt bepaald. In de biomechanica wordt dat waar mogelijk niet gedaan om te laten zien hoe volgens de stelregel actie = reactie (zoals $F_s = F_{rs}$) koppels ontstaan, en hoe een spierkracht leidt tot een gewrichtsreactiekracht.



Figuur 3.4 Krachtrichting ter plaatse van botcontact.

In figuur 3.4A wordt op bot A, dat steunt op bot B een kracht uitgeoefend. Men kan aanvoelen en aantonen dat in deze situatie beweging optreedt en dat pas na verdraaiing en verschuiving evenwicht wordt bereikt volgens figuur 3.4B. De werklijn van de kracht die dan door het ene bot op het andere wordt uitgeoefend gaat vanzelfsprekend door het contactpunt. In de praktijk is er sprake van een klein, door de druk afgeplat contactvlak. Essentieel is nu dat de contactkracht loodrecht staat op het raakvlak aan het gewrichtsvlak. Men kan dit stellen wanneer de wrijving in het gewricht verwaarloosbaar klein is. Indien het gewricht wordt geprojecteerd in de richting van het raakvlak verkrijgt men in de afbeelding de raaklijn aan het gekromde gewrichtsprofiel. Op een röntgenfoto met een geschikte inschietrichting kan men het contactpunt en de krachtrichting doorgaans met redelijke nauwkeurigheid aangeven.

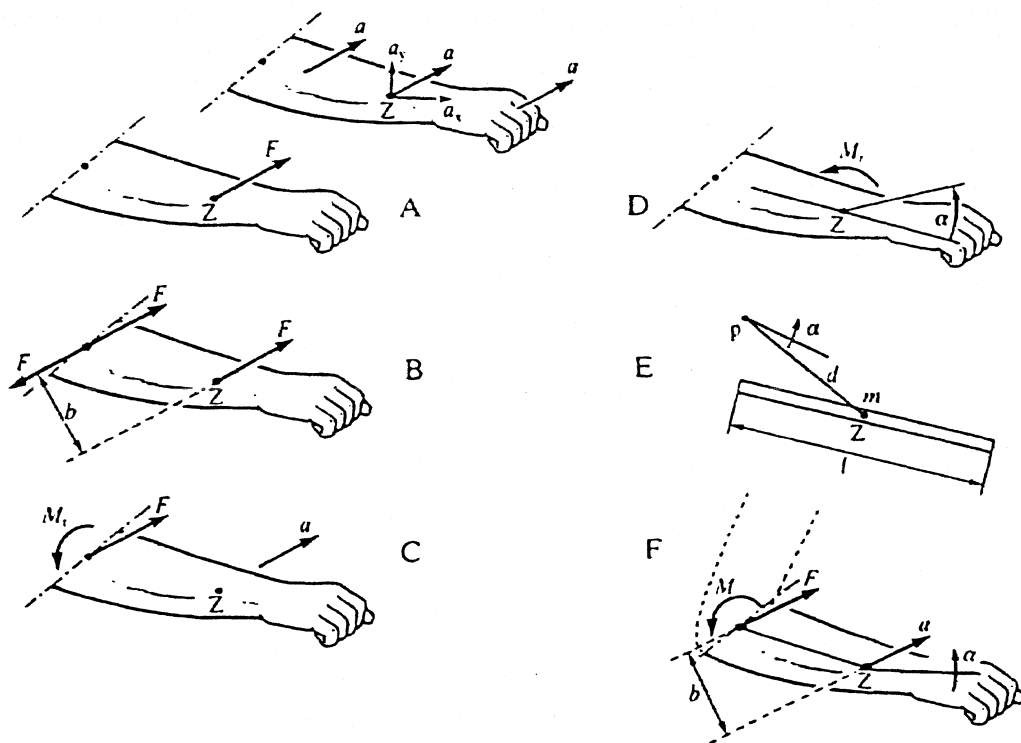


Figuur 3.5A Krachten snijden elkaar in één punt
Figuur 3.5B Gesloten krachtdriehoek

Krachten- en momentenevenwicht kan men ook grafisch bepalen volgens figuur 3.5. Wanneer de richting van de uitwendige kracht F_u en de spierkracht F_s bekend is kan men van de twee werklijnen het snijpunt S bepalen. De gewrichtsreactiekracht F_t moet nu ook door S gaan. De werklijn van deze kracht moet loodrecht staan op de raaklijn aan het gewrichtsprofiel, en aldus vindt men contactpunt C. De onderlinge verhouding der krachten vindt men door het tekenen van een gesloten krachtdriehoek. Geeft men de grootte van bijvoorbeeld F_u , dan volgt uit de constructie van de driehoek hoe groot F_s en F_t zijn. Figuur 3.3 en figuur 3.5 geven een identieke situatie weer; de evenwichtsbeschouwing volgens de grafische methode heeft vaak de voorkeur omdat deze geen berekeningen vergt.

3.3 Biodynamica

Hoe een versnelde beweging van een lichaamsdeel tot stand komt wordt besproken aan de hand van figuur 3.6. Achtereenvolgens komen aan de orde zuivere translatie, zuivere rotatie en de combinatie van translatie en rotatie.



Figuur 3.6 Versnelde beweging van de onderarm in een horizontaal vlak (in het vlak van de tekening). Rotatie naast translatie.

Translatie

In figuur 3.6A wordt de onderarm in een horizontaal vlak (het vlak van tekening) versneld bewogen om bijvoorbeeld een bal te slaan. Een kracht F in het zwaartepunt Z geeft aan alle punten van dit lichaam de versnelling a , zodat sprake is van translatie. De versnelling kan in dit vlak worden ontbonden in a_x en a_y . In werkelijkheid werkt er in Z geen spierkracht, maar wordt de versnelling van het zwaartepunt veroorzaakt door krachtwerking in het ellebooggewricht, en wel als volgt: worden in het gewricht twee krachten toegevoegd die even groot zijn als F en daaraan evenwijdig, doch tegengesteld aan elkaar gericht, dan verandert aan de bewegingstoestand van de onderarm niets (figuur 3.6B). Door twee van deze drie krachten wordt echter een linksomdraaiend koppel gevormd met het moment $M_t = F \cdot b$. Zo ontstaat figuur 3.6C waar translatie tot stand komt door gelijktijdige werking in het ellebooggewricht van $M_t = F \cdot b$ en $F = m \cdot a$.

Rotatie

In figuur 3.6D komt draaiing om het zwaartepunt tot stand door het moment M_r . Daarvoor geldt dat $M_r = J_z \cdot \alpha$, waarin J_z het massatraagheidsmoment (in kgm^2) en α de hoekversnelling (in rad/s^2) is. Het massatraagheidsmoment is hier betrokken op draaiing om een as door Z , loodrecht op het vlak van tekening. Draait het staafvormige lichaam in figuur 3.6E met hoekversnelling α om een vast punt op afstand d van Z , dan mag het massatraagheidsmoment zowel op Z als op een as door dat punt worden betrokken (stelling van Steiner): $J_p = J_z + m \cdot d^2$.

Het massatraagheidsmoment ten opzichte van Z is: $J_z = 1/12 m \cdot l^2$. Dit geldt weliswaar alleen voor een staaf met overal gelijke dikte en samenstelling, maar deze formule kan toch nuttig zijn voor het maken van een eerste schatting betrokken op lichaamsdelen. Precieze gegevens kan men opzoeken in naslagwerken.

Valt punt p samen met het uiteinde van de staaf (de elleboog) dan is het

massatraagheidsmoment betrokken op p:

$$J_p = J_z + m(\frac{1}{2}l)^2 = 1/12ml^2 + 1/4ml^2 = 1/3ml^2.$$

Translatie en rotatie

De beweging van een lichaam in een plat vlak kan steeds worden beschreven als een translatie van het zwaartepunt, gecombineerd met een rotatie om een as door dat punt. De bewegingsvergelijkingen voor de vlakke beweging zijn (figuur 3.6F):

$$F = m \cdot a$$

$$M_z = M - F \cdot b = J_z \cdot \alpha$$

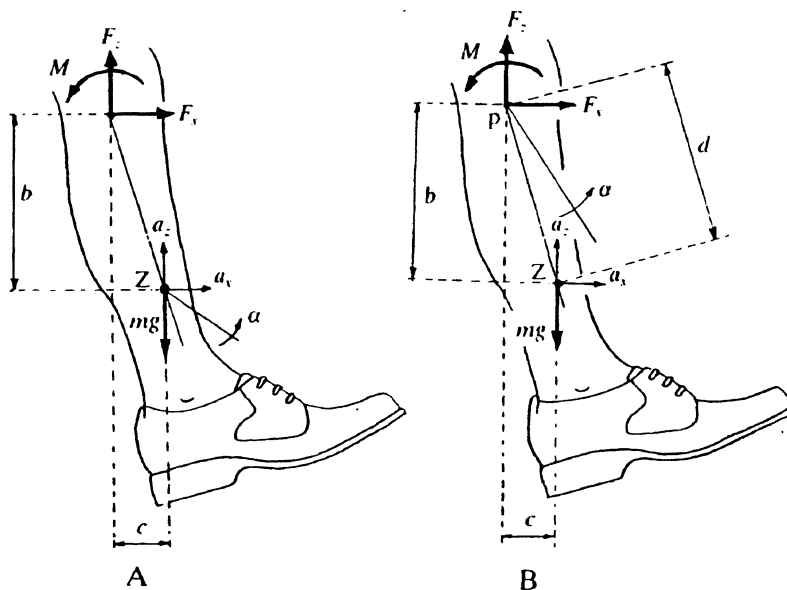
Bij beweging in een vertikaal vlak dient de zwaartekracht in de berekening te worden betrokken. In figuur 3.7 wordt als voorbeeld een "schoppend" onderbeen gegeven, met een denkbeeldige doorsnede ter plaatse van het kniegewricht.

Voor het algemene geval van figuur 3.7A zijn de bewegingsvergelijkingen:

$$F_x = m \cdot a_x$$

$$F_z - m \cdot g = m \cdot a_z$$

$$M_z = M - F_z \cdot c - F_x \cdot b = J_z \cdot \alpha$$



Figuur 3.7A Onderbeen bewegend in een vertikaal vlak.

Figuur 3.7B Het bijzondere geval waarbij de knieas snelheidspool is.

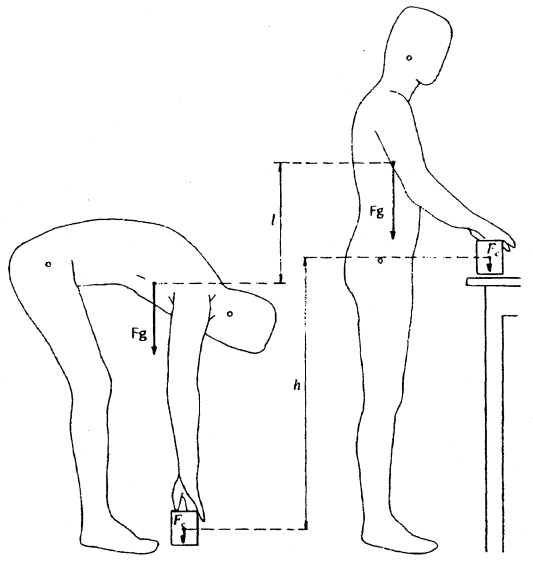
In figuur 3.7B doet zich het bijzondere geval voor dat de knieas stilstaat. In dit geval kan men de momentenvergelijking zowel betrekken op het zwaartepunt Z als op de pool p. In het laatste geval geldt:

$$M_p = M - m \cdot g \cdot c = J_p \cdot \alpha \text{ met } J_p = J_z + m \cdot d^2.$$

Arbeid

De mechanische definitie van arbeid (W) is kracht (F) maal weg (s), dus $W = F \cdot s$. In deze zin levert men geen arbeid wanneer bijvoorbeeld een gewicht langdurig omhoog wordt

gehouden. Niettemin kan men daarvan rood aanlopen en wordt dus aan arbeid gedacht. In zo'n geval verdient het de voorkeur te spreken van menselijke inspanning en het begrip arbeid te reserveren voor de betekenis die daaraan in de mechanica wordt gegeven. Er kan dus alleen sprake zijn van arbeid wanneer er een verplaatsing, een beweging plaatsvindt.



Figuur 3.8 Het heffen van alleen het bovenlichaam vergt doorgaans veel meer arbeid dan hetgeen aan arbeid nodig is om alleen het voorwerp te verplaatsen.

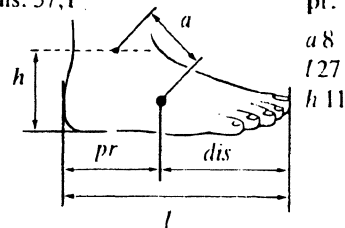
In figuur 3.8 wordt een gewicht van de vloer op tafel gezet. Voor de horizontale verplaatsing is geen arbeid nodig, omdat er in die richting geen kracht werkt. De luchtweerstand is immers met lage snelheden verwaarloosbaar. In verticale richting legt de naar boven gerichte kracht van de handen op het voorwerp een weg af ter grootte van de hefhoogte, zodat geldt: $W = F_e \cdot h$. Maar ook het gehele bovenlichaam moet worden geheven over de afstand l . Het zwaartepunt van de benen blijft hier nagenoeg op dezelfde hoogte. Aldus wordt de arbeid die nodig is voor het heffen van het bovenlichaam $W = F_g \cdot l$. Omdat het gewicht van de romp, het hoofd en de armen tezamen ongeveer $2/3$ van het lichaamsgewicht uitmaakt heeft het zin om bij frequent heffen ervoor te zorgen dat de hefhoogte l zo klein mogelijk blijft door een geschikte werkvoorbereiding. Het is opmerkelijk hoe vaak men hieraan in de praktijk geen aandacht schenkt.

Getallenvoorbeeld: bij figuur 3.8 werden de volgende gegevens globaal vastgesteld:

- lichaamsgewicht is 770 N
- gewicht bovenlichaam $F_g = 0,68 \times 770 = 524$ N (zie figuur 3.9)
- gewicht voorwerp is 100 N
- hefhoogte h is 90 cm
- afstand $l = 40$ cm
- heffen voorwerp: $W = F_e \cdot h = 100 \times 0,90 = 90$ J
- heffen bovenlichaam: $W = F_g \cdot l = 524 \times 0,40 = 210$ J.

Het heffen van het bovenlichaam vergt dus veel arbeid. Het is dan ook aan te bevelen om bijvoorbeeld bij het ophangen van wasgoed de wasmand op een verhoging te zetten.

	<i>Gewicht in % van totale lichaamsge- wicht</i>	<i>Ligging zwaartepunt. Verdeling in % van afstand tussen gewrichtsassen, of van gewrichtsas tot uiteinde li- chaamsdeel (romp en hoofd) of zie tekening voet. pr = proximale deel, dis = distale deel</i>	<i>maten voor per- soon van gemid- delde bouw in cm.</i>
Gehele lichaam	100	vóór tweede sacrale wervel, niet meer dan 5 cm achter as heupge- wricht; op 55% van lichaamslengte vanaf voetzool bij staan of liggen met armen langs lichaam	178
Hoofd	7	op de fossa temporalis, ongeveer ter hoogte van de nasion-inionlijn, top van de clivus	ca. 5 boven en 2,5 vóór gewrichtsas
Hoofd en nek	8	Tezamen: tot kruin 60,4	51
Romp	50	tot midden femurkop 39,6	33
Arm (geheel)	5	-	71
Bovenarm	2,7	pr. 43,6 dis. 56,4	pr. 13 dis. 17
Onderarm	1,6	pr. 43,0 dis. 57,0	pr. 12 dis. 15
Hand	0,7	pr. 50,6 dis. 49,4	pr. 7 dis. 7
Been (geheel)	16	-	94
Bovenbeen	10	pr. 43,3 dis. 56,7	pr. 18 dis. 24
Onderbeen	4,5	pr. 43,3 dis. 56,7	pr. 18 dis. 23
Voet	1,5	pr. 42,9 dis. 57,1	pr. 12 dis. 15



Uitwendige herkenningspunten van gewrichtsmiddelpunten

- *occiput* - C₁ ter hoogte van de oorlel
- *schouder*: circa 2 cm beneden de rand van het acromion
- *elleboog*: epicondylus lateralis
- *pols*: circa 1 cm distaal van de processus styloideus ulnae
- *heup*: bovenkant van de trochanter major
- *knie*: laterale gewrichtsspleet
- *enkel*: malleolus lateralis
- *midden L₄*: ongeveer ter hoogte van de bovenkant van de cristarand.

Opmerking

Onzekerheid in het kiezen van een grensvlak tussen twee lichaamsdelen en het bepalen van een zwaartepunt in relatie tot de ligging van veelal moeilijk nauwkeurig te definiëren gewrichtsassen leiden tot onnauwkeurigheden. In de getallen van tabel is dat tot ongeveer 10 %, met de aantekening dat geen individu op alle punten aan de gemiddelde waarden zal voldoen en dat bijvoorbeeld door het beoefenen van een bepaalde sport verschil kan ontstaan tussen links en rechts. Voor globale berekeningen zijn deze gegevens echter goed te gebruiken.

Figuur 3.9 Gewicht en zwaartepunt van lichaamsdelen. Het zwaartepunt ligt bij benadering op de verbindingslijn van twee opeenvolgende gewrichtsmiddelpunten of is aangegeven ten opzichte van het uiteinde van het lichaamsdeel. Gegeven zijn afgeronde gemiddelden (Williams, 1962).

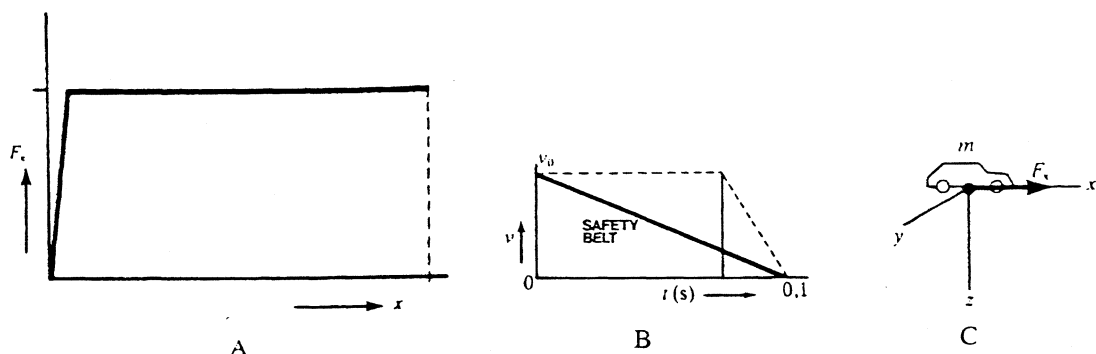
Vormveranderingsenergie van materialen

Een proefstuk van materiaal dat boven de vloeigrens of elasticiteitsgrens wordt belast zal na het wegnemen van de belasting voor een deel blijvend vervormd zijn. Bij taai materiaal zal die blijvende vervorming heel groot kunnen zijn, en toegepast in een plooibare of anderszins goed vervormbare constructie kan men een bescherming tegen stoten creëren voor zowel mensen als produkten.

Autobotsing

In figuur 3.10A is schematisch aangegeven dat de kracht F_x bij voortgaande vervorming x constant blijft. Voorbeeld is de indrukking van de neus van een auto door een botsing, waardoor bij een constante F_x een constante deceleratie a_x ontstaat. De vormveranderingsenergie van het materiaal is hier kracht \times weg, dus gelijk aan het oppervlak onder de lijn op het niveau van de vloeigrens. De te absorberen bewegingsenergie van het voertuig is hieraan gelijk, zodat $\frac{1}{2}m \cdot v^2 = F_x \cdot x$

Theoretisch gesproken is volgens dit verband voor eenzelfde (veilige) deceleratie bij een twee maal zo grote botssnelheid een vier maal zo grote kreukelzone van de neus nodig. Figuur 3.10B betreft een personenauto die een massieve barrière treft met een snelheid $v_0 = 50 \text{ km/h} = 14 \text{ m/s}$ en in 0,1 s tot stilstand komt met een constante vertraging tijdens het in elkaar drukken van de neus van het voertuig. De schuine lijn geeft het snelheidsverloop van de auto aan tijdens de botsing. Hier is $a_x = -140 \text{ m/s}^2$. Draagt een inzittende met een massa van 70 kg een spelingsvrije veiligheidsriem, dan remt ook de persoon af met deze a_x , waardoor de riem een kracht $F_x = m \cdot a_x = 70 \times -140 = -9800 \text{ N}$ moet leveren. Draagt men geen veiligheidsriem, dan blijft het lichaam met een snelheid v_0 doorgaan tot het een constructiedeel van de inmiddels vertraagde auto treft en vervolgens in een veel kortere tijd (zie de stippellijn) tot stilstand komt. In figuur 9 is aangenomen dat de stilstand gelijk valt met die van het voertuig. Uit de tot 0,025 s ingekorte botstijd volgt dat de persoon met ongeveer 600 m/s^2 vertraagd is, hetgeen een veel gevaarlijker situatie is dan met de veiligheidsriem.



Figuur 3.10A Voortgaande vervorming bij een constante kracht. De vormveranderingsenergie is gelijk aan het oppervlak onder de lijn op het niveau van de vloeigrens.

Figuur 3.10B Tijdens een botsing neemt de snelheid van het voertuig af volgens de schuine lijn. Met veiligheidsriem volgt men deze lijn ook, maar zonder veiligheidsriem volgt men de ongunstiger stippellijn (Barr, 1968).

Figuur 3.10C De personenauto met massa m ondervindt bij krachtig optrekken door kracht F_x een versnelling a_x van ca $2,5 \text{ m/s}^2$, de maximale remvertraging kan -6 tot -10 m/s^2 bedragen.

Literatuur

Barr H.F. (1968),

Management of the General Motors safety program. Proc G.M. automotive safety seminar. G.M. Safety R & D Lab., Milford, Michigan.

Hatze H. (1974),

The meaning of the term 'biomechanics'. Journal of Biomechanics 1974;7:189-190.

Snijders C.J., Nordin M., Frankel V.H. (1995),

Biomechanica van het spierskeletstelsel; grondslagen en toepassingen. Uitg. Lemma, Utrecht.

Williams M., Lissner H.R. (1962),

Biomechanics of human motion. W.B. Saunders Company, Philadelphia.

4 Biomechanica van het spier- skeletstelsel

In dit hoofdstuk komen de bouwstenen van het bewegingsstelsel aan de orde en wordt de belasting van biologische structuren gerelateerd aan houding en beweging (Snijders, 1995).

4.1 Materiaaleigenschappen van biologisch materiaal

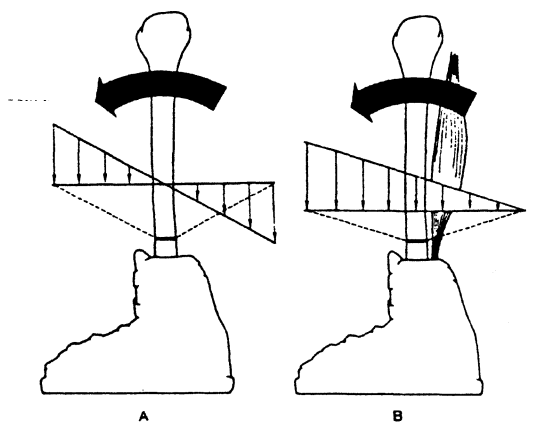
Botten en botweefsel

Het skelet is opgebouwd uit corticaal (compact) en spongieus bot. Deze twee bottypen kunnen als één materiaal worden opgevat, waarvan de poreusheid evenwel sterk uiteenloopt. Poreusheid betreft het bestanddeel van het botvolume dat bestaat uit niet-gemineraleerd weefsel (geen botweefsel). De poreusheid varieert in corticaal bot tussen 5 en 30% en in spongieus bot tussen 30 en meer dan 90%. Corticaal bot is stijver dan spongieus bot, het kan een grotere spanning verdragen doch minder rek. De rek bij breuk van corticaal bot is circa 2%, van spongieus bot circa 7%. Gezien het verschil in eigenschappen tussen corticaal bot en spongieus bot ligt het voor de hand, dat corticaal bot de buitenste laag vormt van beenderen. Bij een wervellichaam is het verschil tussen corticaal bot en het daarbinnen gelegen spongieuze bot goed herkenbaar.

De sterkte en de stijfheid zijn het grootst in de richting waarin bot doorgaans wordt belast. Volwassen bot is onder trek zwakker dan onder druk, zodat scheurvorming begint aan de trekzijde. Onvolwassen bot zal eerder bij compressie bezwijken, zodat een knik fractuur aan de drukzijde het gevolg kan zijn.

Wanneer een bot in vivo wordt belast verandert de spanningsverdeling daarin door contractie van aan het bot gehechte spieren. De drukspanning die het gevolg is van spiercontractie verkleint de trekspanning in het bot en daarmee het risico van breuk.

Het effect van spiercontractie kan worden geïllustreerd aan de hand van een op driepuntsbuiging belaste tibia (figuur 4.1). Wanneer de skiër voorover valt ten opzichte van de bovenrand van de skischoen wordt een buigend moment uitgeoefend waardoor een breuk kan ontstaan. Door de buiging werken drukspanningen aan de voorzijde en trekspanningen aan de achterzijde van het bot. Contractie van de m.triceps surae kan de grote trekspanning vereffenen, waardoor het scheenbeen tegen bezwijken wordt beschermd. Deze spiercontractie kan een grotere drukspanning op de voorzijde van de tibia met zich brengen. Volwassen bot kan deze spanning gewoonlijk verdragen. Wordt een bot op wringing belast dan ontstaat een schuifspanning in dwarsdoorsneden. Het breukvlak van het bot ligt echter onder een hoek van circa

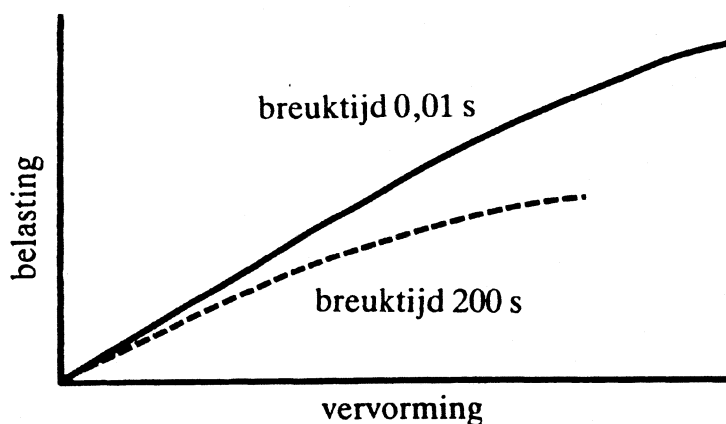


Figuur 4.1A Verdeling van druk- en trekspanningen in een tibia belast op driepuntsbuiging.

Figuur 4.1B Contractie van de m.triceps surae veroorzaakt een grote drukspanning aan de achterkant, waardoor de trekspanning wordt opgeheven.

45 ° met de lengte as. Dit is, bij belasting op zuivere torsie, volgens de spanningsleer het vlak met de grootste trekspanning. Men spreekt dan van een spiraalfractuur of torsiefractuur die men bijvoorbeeld kan zien na een ski ongeval.

Bot vertoont een spanning-rekcurve met een elastisch gebied, een vloeigrens en een plastisch gebied tot het moment van breken. Het oppervlak onder de curve is een maat voor de mogelijke opslag van materiaal-vervormingsenergie. Het vermogen om energie op te slaan varieert bij bot met de snelheid waarmee het wordt belast. Hoe groter de belastingssnelheid is, des te meer energie kan het bot opslaan voordat breuk optreedt (figuur 4.2). De belastingssnelheid is klinisch van veel betekenis, omdat deze zowel het breukpatroon als ook de mate van beschadiging van zacht weefsel bij een fractuur beïnvloedt. Wanneer een bot breekt, komt de opgeslagen energie vrij. Bij een geringe belastingssnelheid kan de energie dissiperen door de vorming van een enkele scheur; het bot en de zachte weefsels blijven praktisch intact en er is nauwelijks of in het geheel geen verplaatsing. Bij een grote belastingssnelheid kan de grotere hoeveelheid opgeslagen energie echter niet vlug genoeg via een enkele scheur verdwijnen en treden verbrijzeling en uitgebreide beschadiging van het zachte weefsel op. Fracturen worden naar drie algemene categorieën onderscheiden. Deze zijn gebaseerd op de hoeveelheid energie die bij breuk vrij komt: lage, hoge en zeer hoge energie. De "lage energie" fractuur is bijvoorbeeld de eenvoudige torsie fractuur als gevolg van het skiën. De "hoge energie" fractuur komt vaak voor bij auto ongelukken en de "zeer hoge energie" fractuur wordt veroorzaakt door een gewerschot met een zeer grote aanvangssnelheid.



Figuur 4.2 Energieopslag in paren tibiae bij een hoge en een lage belastingssnelheid. Zowel de breukbelasting als de energie die werd opgenomen tot het moment van breken verdubbelen bijna bij de grotere snelheid.

Ook door herhaaldelijke uitoefening van een kleine belasting kan een breuk ontstaan; zo'n breuk noemt men een vermoeiingsfractuur. Daar levend bot zich zelf herstelt, treedt een vermoeiingsbreuk slechts op wanneer het herstelproces voorbij wordt gestreefd door het vermoeiingsproces, dat wil zeggen wanneer de belastingsfrequentie het herstel belet dat nodig is om breuk te voorkomen.

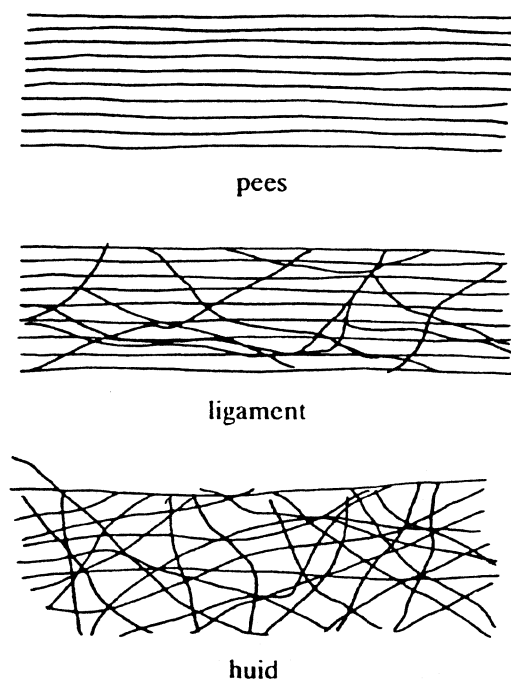
Bot ontstaat waar het nodig is en wordt geresorbeerd waar het niet nodig is (wet van Wolff). De eigenschap van bot om zich aan te passen aan de mechanische eisen door verandering van afmeting, vorm en structuur wordt botremodellering genoemd.

Gewrichtskraakbeen

In synoviale of vrij bewegende gewrichten zijn de articulerende botuiteinden bedekt met een 1 à 5 mm dikke dichte witte laag van gewrichtskraakbeen. De voornaamste functies zijn: 1) het uitspreiden van de belasting op het gewricht zodat de contactspanningen worden verlaagd, en 2) het toelaten van relatieve beweging van tegenover elkaar liggende oppervlakken met een minimum aan wrijving en slijtage. Het biomechanisch gedrag van gewrichtskraakbeen kan worden beschreven in termen van een tweefasenmodel. Deze twee fasen zijn de vaste organische matrix (collageen en proteoglycaan) en het interstitiële water dat zich vrij kan bewegen. Aldus kan kraakbeen worden opgevat als een met vloeistof gevuld poreus medium. Men neemt aan dat diverse smeringsmechanismen werkzaam zijn, onder andere elasto-hydrodynamische smering, waardoor een smeefilm in stand wordt gehouden tussen de relatief zachte kraakbeenoppervlakken.

Collageen bindweefsel

Collageen bindweefsel komt voor in ligamenten (waaronder de gewrichtskapsels), de pezen en de huid. Collageen bindweefsel bestaat primair uit drie typen vezels: collagene vezels, elastische vezels en reticulair vezels. De collagene vezels geven sterkte en stijfheid aan het weefsel, de elastische vezels zorgen voor de rekbaarheid onder belasting en de reticulair vezels voegen volume toe. Een additionele component van collageen bindweefsel is de grondsubstantie, een gelatineus materiaal dat de wrijving tussen de vezels vermindert.

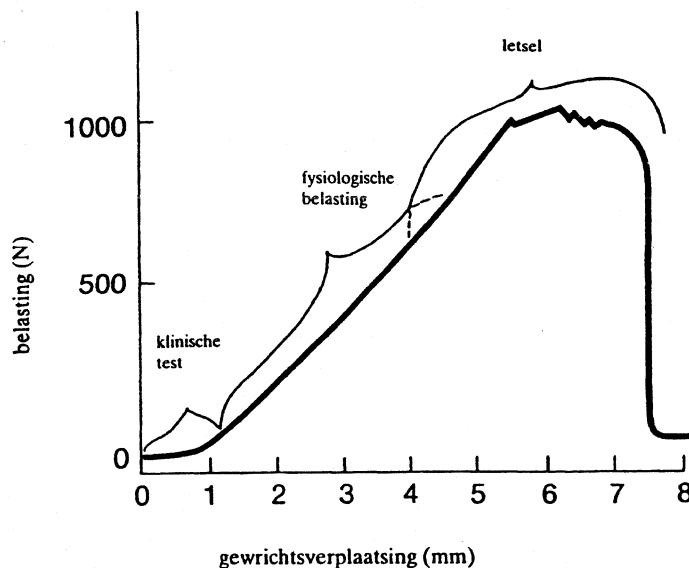


Figuur 4.3 Schematische voorstelling van de structurele oriëntatie van de vezels van pees, ligament en huid.

De mechanische eigenschappen van collageen bindweefsel worden door drie hoofdfactoren beïnvloed: 1) de structurele oriëntatie van de vezels, 2) de eigenschappen van de collagene en de elastische vezels, en 3) de verhouding tussen de collagene en de elastische vezels. Figuur 4.3 toont verschillen in structurele oriëntatie van vezels. In de pezen zijn deze bijna volledig parallel gerangschikt om grote trekbelastingen te weerstaan. De vezels van de ligamenten, waaronder de gewrichtskapsels hebben een minder onderling gelijke structurele oriëntatie, alhoewel de meeste vezels parallel lopen. De vezels van de huid hebben geen overheersende richting zodat de huid rekbaar is in alle richtingen. Vezels van collageen bindweefsel hebben onbelast een gegolfde configuratie, bij fysiologische belasting liggen de vezels gestrekt in de belastingsrichting. Elastische vezels kunnen tot tweemaal de oorspronkelijke lengte worden gerekt

onder lage belasting. Evenals de pezen bestaan de meeste ligamenten in het lichaam voornamelijk uit collagene vezels. De trek-tek kromme van deze vezels komt dan ook overeen met die van een tot breuk belaste voorste kruisband van een kadaverknie

volgens figuur 4.4. Nagebootst werd de schuifladetest naar voren, het naar voren trekken van de tibia ten opzichte van het femur. Het aanvankelijk horizontale gedeelte wijst op strekken van de gegolfde collageen vezels. Na enkele millimeters gewrichtsverplaatsing treedt toenemende breuk in het ligament op



Figuur 4.4 Een belastings-verplaatsingskromme, verdeeld in drie gebieden die correleren met klinische bevindingen:

1. hoeveelheid belasting uitgeoefend op de voorste kruisband tijdens de schuifladetest;
2. hoeveelheid belasting op het ligament tijdens fysiologische activiteit;
3. hoeveelheid belasting op het ligament vanaf partieel letsel tot algehele breuk.

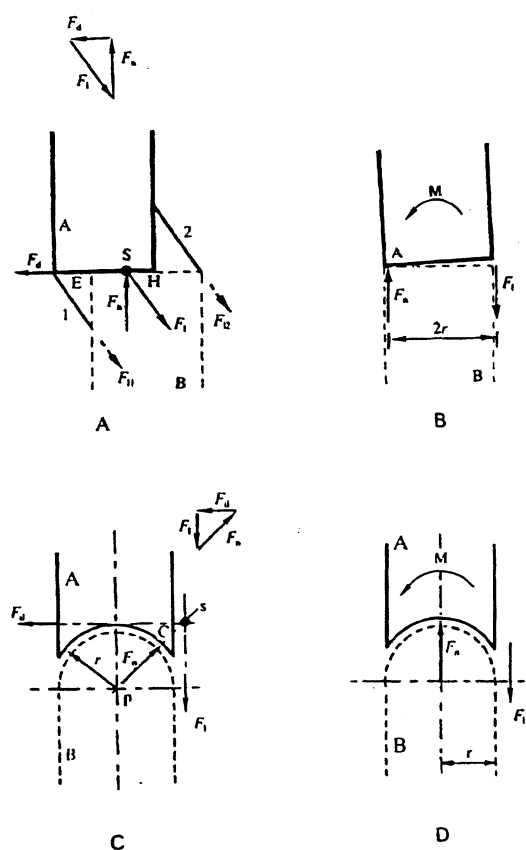
Wanneer een gewricht wordt blootgesteld aan een constante, kleine belasting gedurende een lange periode vindt langzame vervorming van de zachte weefsels plaats. Deze kruip is het sterkst tijdens de eerste zes à acht belastingsuren. Deze eigenschap van visco-elastisch materiaal wordt gebruikt bij correctie van gewrichtsafwijkingen zoals een klompvoet of een zijwaartse verkromming van de wervelkolom (scoliosis). Wanneer aan zachte weefsels een constante vervorming wordt opgelegd vindt relaxatie plaats; dit betekent dat de spanning in het materiaal met de tijd afneemt. De grootste spanningsrelaxatie treedt op tijdens de eerste zes à acht belastingsuren.

4.2 Gewrichten

Het lichaam is rijk aan gewrichtsvormen met vaak grillige contouren. Men kan zich afvragen in welk geval het ene dan wel het andere profiel de voorkeur geniet. Om daarin meer inzicht te verschaffen wordt een vergelijking gemaakt tussen twee uitersten: een zuivere bolle vorm en een zuiver plat vlak.

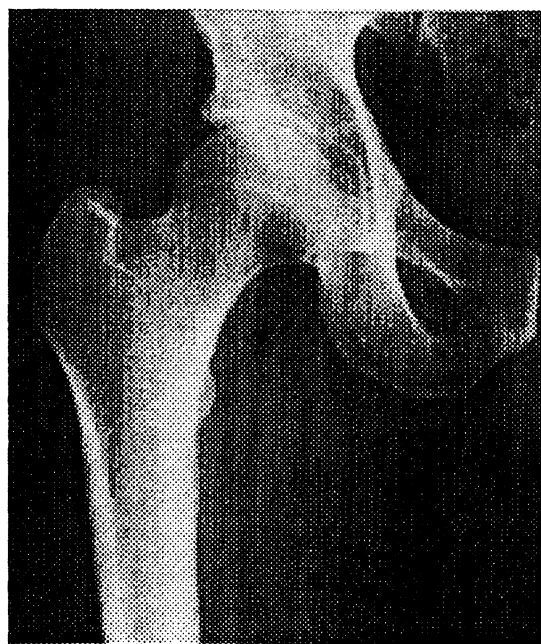
Een zuiver plat gewrichtsvlak (figuur 4.5A) zal onder invloed van een dwarskracht ter hoogte van de gewrichtsspleet afschuiven tot ligamenten voldoende gespannen zijn om de beweging te stoppen. Ongunstig is nu dat de beide botten niet meer "in lijn" liggen. Er is dan statisch evenwicht omdat de dwarskracht, de botcontactkracht en de

ligamentkracht (F_l is de som van F_{l1} en F_{l2}) elkaar snijden in S. Een plat gewrichtsvlak is wel zeer geschikt voor het overdragen van een zuiver buigend moment. In figuur 4.5B zal onder invloed van het moment M de gewrichtsreactiekracht F_n zich verplaatsen naar de rand van het gewrichtsvlak, zodat tezamen met de ligamentkracht F_l een tegenwerkend moment $F_n \cdot 2r$ ontstaat. Bij een zuiver bolvormig (of cilindervormig) gewricht is de situatie duidelijk anders. In figuur 4.5C zal, na enige draaiing, de ligament of spierkracht F_l tezamen met de botcontactkracht F_n evenwicht maken met de dwarskracht F_d zonder dislocatie van het gewricht. Echter, bij de overdracht van een moment M (figuur 4.5D) kan de gewrichtsreactiekracht niet verplaatsen naar de rand van het gewricht. Het tegenwerkende moment $F_n \cdot r$ is daarmee de helft van het tegenwerkende moment bij een zuiver plat gewricht. Dit nadeel van een kleiner moment kan geheel worden goedgehaakt door spieren te bevestigen aan een uitsteeksel van het bot, zoals in het geval van de trochanter major bij het heupgewricht (figuur 4.6).



- Figuur 4.5A Bot met een plat gewrichtsvlak wordt belast met een dwarskracht;
 Figuur 4.5B Bot met een plat gewrichtsvlak wordt belast met een buigend moment;
 Figuur 4.5C Bot met een komvormig gewrichtsvlak wordt belast met een dwarskracht;
 Figuur 4.5D Bot met een komvormig gewrichtsvlak wordt belast met een buigend moment.

Bij het kniegewricht wordt de hefboomarm van de m. quadriceps femoris vergroot door middel van de patella. Omdat het kniegewricht aan de femorale zijde bolvormig is maar aan de tibiale zijde hoofdzakelijk platte gewrichtsvlakken heeft is dit gewricht gevoelig voor afschuiving onder grote dwarskrachten. Het is dan ook niet verwonderlijk dat in het midden van de knie zware kruislings verlopende banden aanwezig zijn, de kruisbanden.

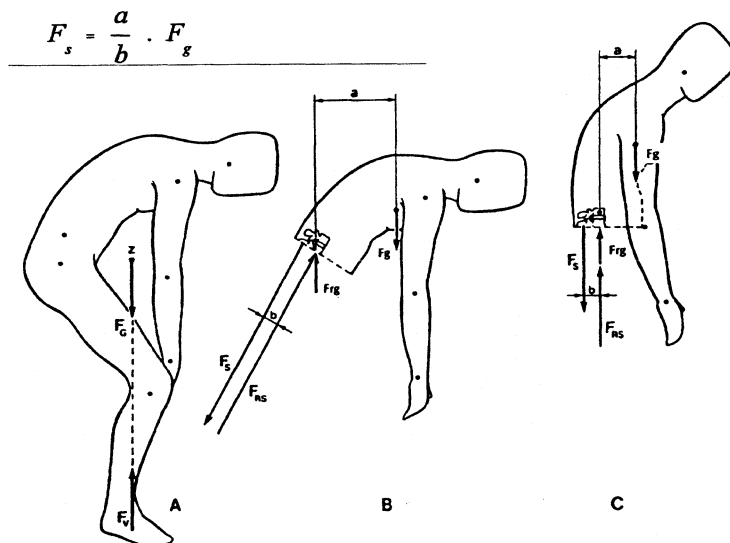


Figuur 4.6 Röntgenfoto van een femurhals. De trochanter major vergroot de hefboomarm van de spieren tussen dijbeen en heupbeen t.o.v. de heupas.

Bij andere soorten belasting is het verschil tussen bol of plat vlak niet doorslaggevend. Bij een zuivere trekkracht is de vorm van de gewrichtsvlakken niet van belang, omdat dan de om het gewricht gegroepede ligamenten en spieren voor krachtoverdracht moeten zorgen. Een zuivere drukkracht kan beter worden overgedragen naarmate de gewrichtsvlakken beter op elkaar passen (meer conform zijn). Zuivere wringing (draaiing om de lengteas van het bot) zal bij een bol en plat vlak door de ligamenten (en spieren) moeten worden overgebracht. De belastbaarheid en beweeglijkheid zijn zeer afhankelijk van het verloop (in de lengterichting van het bot of schroefvormig), de plaats van aanhechting en de lengte der ligamenten. In alle gevallen zal bij toenemende wringing druk tussen de gewrichtsfacetten toenemen, waarmee het gewricht zich vastschroeft.

4.3 Houding en beweging

Na de behandeling van krachtverschijnselen in de bouwstenen van het skeletstelsel wordt in deze paragraaf geïllustreerd hoe het evenwicht van het gehele lichaam of een deel daarvan globaal kan worden bepaald. In figuur 4.7 is sprake van rugbelasting in relatie tot de werkhouding. De houding kan men registreren middels foto's of video-opnamen. Men kan hierbij op de huid merktekens aanbrengen om de plaats van diverse gewrichtsassen te markeren. (Zie figuur 4.7). In figuur 4.7A bevindt het zwaartepunt van het gehele lichaam zich ongeveer boven het midden van beide



Figuur 4.7A Zwaartepunt van het gehele lichaam ligt boven de voeten;

Figuur 4.7B In de voorovergebogen houding is veel kracht nodig in de rugspieren. Hier is $F_s = 5,4F_g$;

Figuur 4.7C Door de meer opgerichte houding is de rugspierkracht met 60% afgenomen dankzij de kleinere werkmarm a van de gewrichtsarm F_g van het bovenlichaam ten opzichte van het midden van de discus L_5-S_1 .

voeten. De vraag hoe groot de krachten in de lage rug zijn kan worden beantwoord door middel van een biomechanisch model. Met een denkbeeldige doorsnede van de romp op het niveau van de discus $L_5 - S_1$ ontstaat een vrijlichaamsdiagram van het

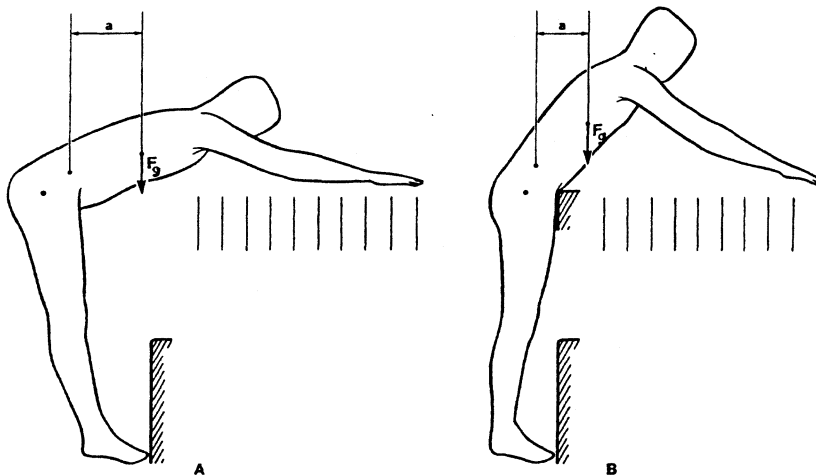
bovenlichaam.

(figuur 4.7B) Het zwaartepunt van dit deel van het lichaam ligt ter hoogte van de oksels. Het gewicht wordt voorgesteld door de kracht F_g . Krachtenevenwicht in verticale richting geeft $F_g = F_{rg}$, waarbij wordt aangenomen dat de reactiekracht in de doorsnede van de wervelkolom door het midden van de tussenwervelschijf gaat (de as van dit gewricht). F_g en F_{rg} vormen een rechtsdraaiend koppel met het moment $M = F_g \cdot a$. Het voor momentenevenwicht noodzakelijke linksdraaiende koppel wordt geleverd door de kracht F_s in de rugstrekkingen en de even grote, doch tegenstelde reactiekracht F_{rs} daarvan op de discus. De totale kracht in de discus is nu de som van F_{rs} en F_{rg} . Momentenevenwicht geeft $F_g \cdot a = F_s \cdot b$. De totale spierkracht is aldus:

Getallenvoorbeeld:

Neemt men als voorbeeld een persoon met een lichaamslengte van 180 cm en een gewicht van 770 N, dan vindt men ongeveer dat $a = 27$ cm en dat de afstand tussen het midden van de spierbundel en het midden van de discus $b = 5$ cm. Stelt men het gewicht van het bovenlichaam op circa 65% van het lichaamsgewicht, dan vindt men $F_g = 500$ N. De kracht in de rugspieren is nu te berekenen:

$$F_s = a : b \cdot F_g = 27 : 5 \times 500 = 2700 \text{ N}$$



Figuur 4.8A De voeten kunnen niet verder naar voren door een obstakel. Geforceerde houding.

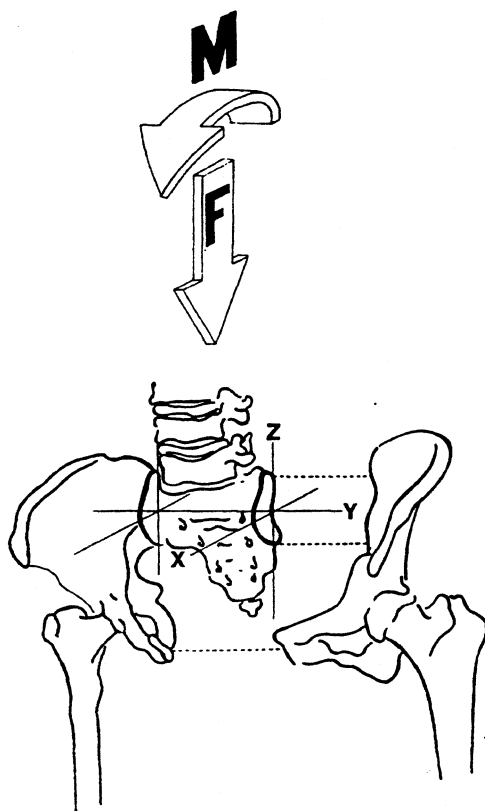
Figuur 4.8B Zelfde reikwijdte, doch comfortabeler houding dankzij steun ter hoogte van het bekken. De werkmarm a is met 30% afgenomen en de armen en ogen hebben een gunstiger stand.

In figuur 4.7C is de romp meer opgericht met $a = 11$ cm. De kracht in de rugspieren is hier $F_s = 1100$ N. De hefboomarm a is dus maatgevend voor het beoordelen van rugbelasting. Staat men rechtop, dan is a ongeveer 0 en is de rugbelasting naar verhouding zeer gering. Rugpatiënten kunnen zonder bezwaar rechtop gaan en staan.

In figuur 4.8 moet de persoon reiken naar een veraf gelegen positie en staat daartoe vrijwel op de tenen. De voeten kunnen niet verder naar voren vanwege de constructie van de machine of omdat de wand van een vloeistofbak dat verhindert. Door het

aanbrengen van een mogelijkheid om het bekken te steunen, zoals in figuur 4.8B kan men hetzelfde doen met aanzienlijk minder rugbelasting en een geschiktere stand van armen en ogen. Bij het werken aan tafels wordt automatisch de tafelrand benut als steun voor het bekken.

Bij de relatie tussen lichaamshouding en lage rugklachten denkt men vaak aan overbelasting van tussenwervelschijven (Adams, 1995) die ontstaat door voorovergebukt gedraaid tillen. Lage rugpijn wordt echter vooral ook ervaren tijdens staan en zitten. Een verklarend biomechanisch model voor al deze situaties kan, in plaats van te kijken naar de tussenwervelschijven, volgens recente opvattingen (Snijders, 1994) beter gebaseerd worden op de kwetsbaarheid van de sacroiliacale (SI-) gewrichten (figuur 4.9). Deze gewrichten liggen links en rechts tussen sacrum en ilium. Het sacrum (heiligbeen) wordt gevormd door vijf aan elkaar vastgegroeide wervels. Het

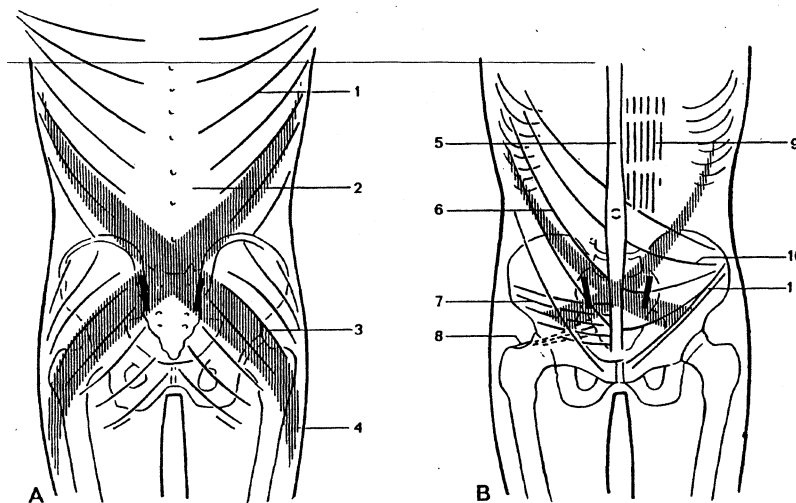


Figuur 4.9 Schematische tekening die weergeeft dat de sacroiliacale gewrichten gevoelig zijn voor afschuiving (rotatie/translatie) bij belasting in het sagittale vlak (X-Z-vlak; moment M, kracht F). Integriteit van het gewricht berust op een stevig bandapparaat; compressie van deze gewrichten (met ruwe gewrichtsvlakken en symmetrische richels en groeven) door middel van spierkracht (onder andere schuine buikspieren) kan de weerstand tegen afschuiven vergroten.

ilium (darmbeen) is deel van het heupbeen. De heupbeenderen zijn aan de voorzijde enigszins beweeglijk verbonden door middel van de symphysis pubica (kraakbeenverbinding, os pubis = schaambeen). De SI-gewrichten vertonen zeer geringe beweeglijkheid, 2 à 4 graden rotatie en 1 à 1,5 mm translatie. Dit is te danken aan een zwaar stelsel van ligamenten rondom deze gewrichten. Vanwege de uiterst geringe beweeglijkheid werd tot voor kort weinig medische aandacht besteed aan deze gewrichten. Recent biomechanisch en anatomisch onderzoek heeft echter een heel nieuwe kijk gegeven op het ontstaan van veel lage rugpijn, en wel op grond van het volgende. De hoofdzakelijk platte SI-gewrichtsvorm betekent gevoeligheid voor afschuiving (rotatie, translatie). Bovendien is de oriëntatie van deze vlakken ten opzichte van de grote momenten en krachten in de wervelkolom ongunstig. Een sterk bandenstelsel geeft weliswaar stevigheid aan deze gewrichten, maar ook bij geringe belasting zoals staan en zitten zal kruip van dit collageen bindweefsel moeten worden tegengegaan. Afschuiving kan worden tegengegaan door aan de gewrichtsvlakken een grotere wrijvingscoëfficiënt te geven en door het aanbrengen van locale in elkaar passende richels en groeven (Vleeming, 1990). Deze maatregelen hebben echter alleen zin wanneer de gewrichtsvlakken krachtig tegen elkaar worden gedrukt, dus compressie, waarbij de compressie

afkomstig kan zijn van spierkrachten die het gewricht kruisen. Een geschikte richting hebben de schuine buikspieren en de grote bilspieren (Snijders, part I, 1993 en Snijders, part II, 1993).

De kracht in de bilspieren is aan de rugzijde via de fascia (peesblad) in lijn met de aan de andere zijde gelegen rugspieren die doorlopen tot de schouder (m. latissimus dorsi,



Figuur 4.10 Spieren in het vlak van de sacroiliacale gewrichten (zoals de rechte buikspieren, 9) belasten deze op afschuiving. Het systeem van dwars- en schuingerichte spierkrachten die de sacroiliacale gewrichten kruisen, draagt bij aan compressie waardoor afschuiving wordt tegengegaan. Dus oefen door extensie en torsie, in plaats van door flexie.

Figuur 4.10A Brede rugspier (m. latissimus dorsi, 1), thoracolumbale fascia (2), grote bilspier (m. gluteus maximus, 3), tractus iliotibialis (vezelbundel, 4).

Figuur 4.10B linea alba (fibreuze streep, 5), buitenste schuine buikspier (m. obliquus externus abdominis, 6), dwarse buikspier (m. transversus abdominis, 7), peervormige spier (m. piriformis, 8), rechte buikspier (m. rectus abdominis, 9), binnenste schuine buikspier (m. obliquus internus abdominis, 10), ligamentum inguinale (11).

zie figuur 4.10A). Aan de hand van dit biomechanisch model is ontdekt, dat tijdens ontspannen staan, en zelfs tijdens zitten met de steun van een rugleuning, de schuine buikspieren actief zijn. Dit kan op den duur vermoeiend zijn, en de vraag is nu of er nog een andere mogelijkheid is tijdens zitten om de SI-gewrichten te klemmen. In dat verband werd elektromyografisch gemeten dat de buikspieractiviteit sterk afneemt door de benen te kruisen of de enkel op de knie te leggen (Snijders, 1991). Onder verwijzing naar de hierboven genoemde en in figuur 4.10 afgebeelde spieren leert deze theorie dat men moet oefenen in extensie en torsie en niet in flexie. Voorbeeld van een oefening in flexie is de oefening van de rechte buikspieren (figuur 4.10). De link tussen het hiervoor gegeven biomechanisch model en lage rugpijn wordt ontleend aan klinische ervaring: met name zou provocatie van beweging van het sacrum in contranotatie (in figuur 4.9 draaiing in klokrichting van x naar z, dus extensie van het sacrum ten opzichte van de heupbeenderen) een belangrijke factor kunnen zijn

in het ontstaan van lage rugpijn. Dit wijst nog eens op het grote belang van een goede lendesteun tijdens zitten. Een steun in de holte van het lendegebied voorkomt dat de wervelkolom een c-vorm aanneemt, hetgeen gepaard gaat met contranutatie.

Literatuur

- Adams MA, Dolan P. (1995),
Recent advances in lumbar spinal mechanics and their clinical significance. *Clinical Biomechanics* 1995;10(1):3-19.
- Snijders CJ, Vleeming A, Stoeckart R. (1993),
Transfer of lumbosacral load to iliac bones and legs. Part I - Biomechanics of self-bracing of the sacroiliac joints and its significance for treatment and exercise. *Journal of Clinical Biomechanics* 1993;8:285-294.
- Snijders CJ, Vleeming A, Stoeckart R. (1993),
Transfer of lumbosacral load to iliac bones and legs. Part II - Loading of the sacroiliac joints when lifting in a stooped posture. *Journal of Clinical Biomechanics* 1993;8:295-301.
- Snijders CJ. (1994),
Biomechanische modellen van nek- en rugklachten. *De Ingenieur* 1994;18:16-19.
- Snijders CJ, Nordin M, Frankel VH. (1995),
Biomechanica van het spierskeletstelsel; grondslagen en toepassingen. Uitg. Lemma, Utrecht.
- Snijders CJ, Slagter AHE, Strik R van, Vleeming A, Stam HJ, Stoeckart R. (1995),
Why leg-crossing? The influence of common postures on abdominal muscle activity. *Spine*;20(18):1989-1993.
- Vleeming A, Stoeckart R, Volkers ACW, Snijders CJ. (1990),
Relation between form and function in the sacroiliac joint, part I. Clinical anatomical aspects. *Spine* 1990;15(2):130-132.

5 Kleine verblijfsruimten

Samenvatting

Kleine verblijfsruimten behoren historisch gezien tot één van de oudste 'hulpmiddelen'. In dit hoofdstuk worden er kleine ruimten mee bedoeld, die worden gematerialiseerd door afscheidingsvlakken, hun verbinding en samenstelling, welke in massa worden vervaardigd en die als een afzonderlijk produkt kunnen worden geplaatst, zoals bijvoorbeeld een telefooncel.

Het menselijk handelen in deze ruimten bevat alle handelingen vanaf het naar binnen gaan tot en met het naar buiten komen. De voornaamste produktfactoren hebben direct verband met de belangrijkste functies van de kleine ruimte, te weten: ruimtelijke begrenzing, barrière en ondersteuning.

Bij het ontwerpen van de ruimten kan de nutformule enige aanknopingspunten bieden. Vanaf het begin van het ontwerpproces speelt het probleem van de populatiekeuze, en voor het uitsluiten van delen van populaties dient men dit met degelijke argumenten en zo nodig met een klein gebruiksonderzoek te onderbouwen.

Een belangrijk hulpmiddel bij het ontwerpen van de cockpit en bestuurderscabine van een voertuig zijn de zogenaamde archimedische, vaste ontwerpfuncties. Andere hulpmiddelen zijn 2D en 3D poppen (denk aan botsproeven) en verschillende computermodellen.

5.1 Inleiding

In dit deel van het dictaat over de fysieke ergonomie werden eerst de meetmethoden behandeld, om vervolgens de begrippen en toepassingen vanuit de antropometrie en de biomechanica over te brengen. De gedachte op de achtergrond is, dat deze voorgaande kennis, inzichten en toepassingsvaardigheden van algemene aard, voldoende basis vormen, om erna verder te kunnen ingaan op de ergonomische ontwerproblemen.

De ontwerproblemen worden gegroepeerd rond vijf specifieke groepen van duurzame, materiële functie-ervullers, die vooral lichamelijke functies van gebruikers ondersteunen. In dit hoofdstuk wordt de eerste groep behandeld, de kleine verblijfsruimten. Na bestudering van dit hoofdstuk moet de student:

- weten wat het begrip kleine verblijfsruimte (KVB) inhoudt;
- weten wat de belangrijkste functies zijn van een KVB;
- weten wat de belangrijkste MPOI-factoren zijn bij KVB's;
- weten hoe de nutformule kan worden toegepast;
- archimedische punten kunnen toepassen bij het ontwerpen van KVB's;
- de voor- en nadelen van ontwerphulpmiddelen kennen.

Allereerst volgt een nadere beschrijving van de produksubcategorie, daarna worden MPOI-factoren besproken, vervolgens worden ontwerpoverwegingen en -methoden behandeld, en tenslotte volgen enkele ontwerpvoorbeelden.

5.2 Nadere omschrijving van de produksubcategorie

Kleine verblijfsruimten behoren historisch gezien tot één van de oudste 'hulpmiddelen'. Ze komen voort uit primaire levensbehoeften en overlevingsdrang. Ze vormen materiële afscheidingen voor het bevorderen van bescherming en afzondering van een of enkele individuen. In het dierenrijk vinden we al het uitgebreid en instinctief ontwerpen van hol en nest. De primitieve hut is de voorloper van woningen en grotere

gebouwen.

In ons kader gaat het om kleine verblijfsruimten, die worden gematerialiseerd door afscheidingsvlakken, hun verbindingen en samenstelling, welke seriematig in de industrie vervaardigd en die als afzonderlijk produkt in gebouwen of in de vrije ruimte kunnen worden geplaatst. Dat omvat een verscheidenheid en veelheid van technische oplossingen, die echter vele ergonomische eisen gemeenschappelijk hebben. Enkele voorbeelden van typen kleine verblijfsruimten: couveuse, (reis)wieg, tent, telefooncel, caravan, toilet, lift, duikerklok, slaapcabine, kleedhok, bestuurders- en passagiersruimten van voer-, vaar- en vliegtuigen, studie- en tentamenkubikel, de cockpitachtige oplossingen voor 'human operators' in hijskranen, als portiersloges, cabines in de proces-industrie, voor verkeersleiding, etc. en, zelfs de doodskist zou ertoe kunnen worden gerekend.

Kleine verblijfsruimten zijn te positioneren in het overgangsgebied tussen gebouwen en kamers enerzijds en werkmeubilair anderzijds. Het betreffen steeds min of meer omkaderde ruimten, al dan niet met open in- en uitgang, met transparante of ondoorzichtige afscheidingsvlakken en geheel omsluitende of met opengelaten stukken. In cabines verblijven dus, voor kortere of langere duur, een of enkele personen, om te werken, te rusten of om vervoerd te worden. Dat gebeurt omdat daarbij klimatologische, visuele of akoestische afzondering, bescherming of conditionering gewenst of noodzakelijk zijn. De cabine kan rondom de verblijvende mens leeg zijn, of tevens dienen voor het dragen en opbergen van verschillende andere, al dan niet losse, produkten, die daar voor het menselijk functioneren en werken nodig zijn. In de meeste gevallen vindt men dan een zitondersteuning en een werkvlak met werktuigen, bedieningsonderdelen en signaalsgevers, onder handbereik en in het blikveld. Functioneel gezien ligt de cabine tussen kleding en kamer in. Wie erin vertoeft, moet erin passen in een houding, die comfortabel is. Dit is afhankelijk van onder meer de verblijfsduur en de eventuele uit te voeren handelingen en waarnemingen; bovendien moeten de overige produkten erin kunnen worden gepositioneerd en geordend.

De belangrijkste functies, die de kleine verblijfsruimte vervult, zijn:

1. ruimtelijk begrenzing;
2. barrière- functie;
3. ondersteuning.

1. Ruimtelijke begrenzing

De ruimtelijke begrenzing kan de mens nauw omsluiten en daarbij de lichaamsvorm enigszins volgen (de ruimte voor de race-auto coureur). Of bij minder noodzaak tot minimaliseren van volume liggen de grensvlakken wijder uiteen, waarbij vaker een doosvorm wordt gekozen, maar waar ook enkel- of dubbelgekromde, concave vlakken (cockpit) of scherpe binnenhoeken (tent) als oplossing worden toegepast.

2. Barrière functie

Barrière functies: de kleine verblijfsruimte dient in principe voor het buitensluiten of binnenhouden van invloeden. In een duikerklok wordt een leefbaar klimaat behouden door zich van de hoge waterdruk en de lage temperatuur te isoleren en door de binnenruimte te verwarmen, te verlichten en van lucht of zuurstof te voorzien; de kleine omgeving wordt dus kunstmatig geconditioneerd. De quarantaine cel voor de persoon met een gevaarlijke, besmettelijke ziekte is er daarentegen om de verspreiding van virus of bacterie te voorkómen door die binnen te houden. Hijskraan- en voertuigcabines kunnen wind, regen en onaangename temperaturen buiten houden en

trillingen en schokken dempen; de bedieningscabine bij radio-therapeutische apparatuur beschermt niet de patiënt, maar de arts of assistent tegen frequente stralingsdosering. Het betreft in de meeste gevallen echter niet alleen, of niet, de invloeden in fysische, chemische of biologische zin, maar de afscherming is veelal psychologisch of sociaal functioneel. De verblijvende persoon wil alleen zijn, zich concentreren, niet afgeleid worden door allerlei prikkels buiten de cabine. Ook hierbij kan de barrière in de andere richting werken: de persoon wenst privacy en wil niet dat anderen zijn/haar aanwezigheid of activiteiten waarnemen. De barrière kan totaal zijn, of alleen visueel of alleen auditief zijn; een toiletruimte liefst het eerste, een kleedhokje kan volstaan met alleen visuele afscherming en een telefooncel hoeft alleen auditief te isoleren.

De doorlatendheid van de cabine-wanden kan dus variëren van potdicht tot kleine verminderingen van in- en uitstromen. Deabri van de bushalte houdt wind en koude niet volledig buiten en de melkglazen ruit van een spreekkamertje laat licht, silhouetten van personen en gedempte spraak door. De natuurkundige vaststellingen van de permeabiliteit zijn in een programma van eisen redelijk eenduidig vast te stellen en ook in vele normen terug te vinden. Wat echter voor lichamelijk comfortgevoel nodig is, valt moeilijker te bepalen. Het tegemoetkomen aan gevoelens van privacy en aan concentratie-vermogens heeft een nog minder exacte basis en is sterk individueel, cultureel en situationeel bepaald.

3. Ondersteuningsfunctie

De ondersteuningsfuncties: voor het vertoeven in een kleine, min of meer afgescheiden ruimte dienen zittende, staande of liggende personen te worden ondersteund. Hierbij spelen aspecten zoals zwaartekracht, lichaamshouding en -massa een rol. Bij voertuigen en liften dient men tevens rekening te houden met versnellingen en eventueel trillingen door de aandrijving, verplaatsing e.d.

Wanneer een ruimte met meer dan alleen de mens (met kleding en eventueel meegedragen voorwerpen) wordt gevuld en er dus te bedienen apparatuur meubels e.d. mede in de cabine aanwezig zijn, gelden er ergonomische eisen, voortkomende uit reik-enveloppen, optimale blikvelden, ondersteuningskrachten op de huid en onderliggende weefsels, ruimte voor de natuurlijke houdingswisselingen (motiliteit), voor handelingsvolgorden etc. Hierbij kan tevens de eis van ruimtelijke oriëntatie worden genoemd. Juist bij afgesloten, en vooral bij bewegende ruimten, dient de ontwerper extra aandacht te besteden aan de behoefte zich visueel te oriënteren over wat boven en onder, voor en achter is en, bij bewegen, welke de richting en snelheid van verplaatsing zijn. In een scheef gezakte, ondergrondse bunker bleken velen misselijk te worden; in liften laat men graag de buitenwereld zien of vertegenwoordigen door verspringende lampjes; in kermis-toestellen kan die desoriëntatie echter de gewenste attractie zijn!

5.3 Bespreking van de voornaamste M-, P-, O-, en I-factoren

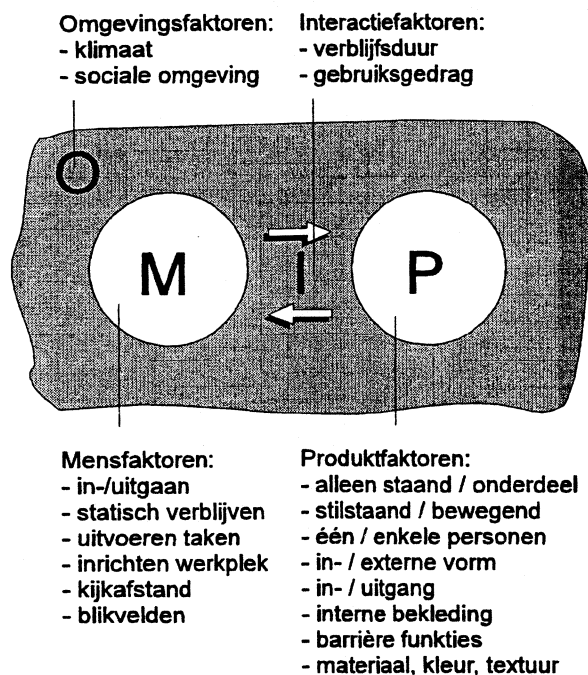
Conform het bekende MPOI-model kunnen de ontwerpergonomische overwegingen, die van belang zijn, voor een bepaald produkttype - hier kleine verblijfsruimten - groepsgewijs worden behandeld. De mensfactoren geven tot op zekere hoogte richtingen en begrenzingen aan de 'ontwerpruimte'. De produktfactoren geven in algemene lijnen de functionele mogelijkheden en gebruiken aan van hoe het ontwerp te materialiseren.

Een bepaalde keuze van M- en P- kenmerken is echter in principe voorlopig (kunnen tijdens het ontwerpproces worden bijgesteld), omdat de interactie tussen M en P (de

wijzen van menselijk gebruik van en omgang met een produkt) meestal eigen kenmerken heeft, die niet of nauwelijks of slechts onvolledig uit een gegeven M en P te voorspellen zijn. Verschillen tussen typen van gebruikers, gebruiksfasen (voorbereiding, eigenlijk gebruik, nazorg e.d.) en gebruikssituaties kunnen aanleiding zijn de M- en P- keuzen, als elementen in het programma van eisen, bij te stellen. Omgevingsfactoren spelen hierbij tevens een rol, hierin kan men twee aspecten onderscheiden: technische aspecten, zoals andere produkten en klimaat (temperatuur, ventilatie, verlichting, lawaai, trilling), en sociale aspecten, zoals werkschema's, samenwerking met andere personen, combinaties van taken, e.d. Elk van deze vier (M, P, O en I) groepen van factoren is onmisbaar en wezenlijk voor het ergonomisch ontwerpen. In samenhang en iteratief bepalen zij de ontwerpruimte, waarbinnen gewoonlijk nog een veelheid van goede ontwerp oplossingen mogelijk blijft.

Het relatieve gewicht van de vier groepen van factoren kan per type van produkt verschillen. In een ruime cabine zijn de M- factoren, zoals lichaamssegmentmaten, minder kritisch dan bij de nauwe ruimte in de race-auto; wat telt is dat de verblijvers er goed in passen en kunnen doen wat nodig is. Een I- factor, zoals de verblijfsduur, geeft minder ontwerpbeperkingen bij een telefooncel dan bij een studie-kubikel, waarin men uren geconcentreerd, met beeldbuis, boeken en papieren vertoeft. Terwijl O- factoren, zoals regen, wind en stof, uiteraard een groot gewicht krijgen bij het ontwerp van een machinisten-cabine van een hijskraan in de bouw. Men dient erna te streven de combinatie van specificaties van M-, P-, O- en I-aspecten in het ontwerp zo te kiezen, dat een produkt redelijke garanties biedt voor een gebruik, dat - ondanks verscheidenheid - nuttig, doelmatig, comfortabel en veilig is.

Figuur 1 geeft een overzicht van de belangrijkste M-, P-, O- I-factoren. Elke faktor wordt verderop in de paragraaf nog nader toegelicht. Te zamen vormen ze 'een check-list' van aspecten waarmee een ontwerper rekening dient te houden.



Figuur 5.1 De belangrijkste M-, P-, O-, I-factoren van kleine verblijfsruimten

M-factoren

Menselijk handelen in een kleine verblijfsruimte kan (gewoonlijk) volgens het volgende stroomschema worden weergegeven: 'binnengaan' - 'plaatsnemen' - 'verblijven/taken uitvoeren met waarnemen, bedienen, besluiten' - 'plaats verlaten' - 'naar buiten gaan'.

Bij het ontwerpen van een in-/uitgang ligt het voor de hand rekening te houden met de hogere percentielen van lichaamslengte en -breedte (met kledingtoeslag e.d.) en zo mogelijk met rolstoelers. De bediening van eventuele deuren, een trage passeertijd en een duidelijke ruimte-oriëntatie vergen aandacht. Ook doorgangsmogelijkheid voor meer dan één persoon tegelijk, vluchtwegen, mangaten e.d. kunnen uit de voorradige antropometrische bronnen worden geoptimaliseerd. Bij voertuigen kunnen 'in- en uitstap enveloppen' worden bepaald, waarbij soms rekening moet worden gehouden met gebruikers, die minder soepel in gewrichtsbuigingen zijn, minder spierkracht hebben voor het overbrengen van hun lichaamsmassa, minder vast ter been zijn of die moeilijker een ruimtelijk overzicht houden.

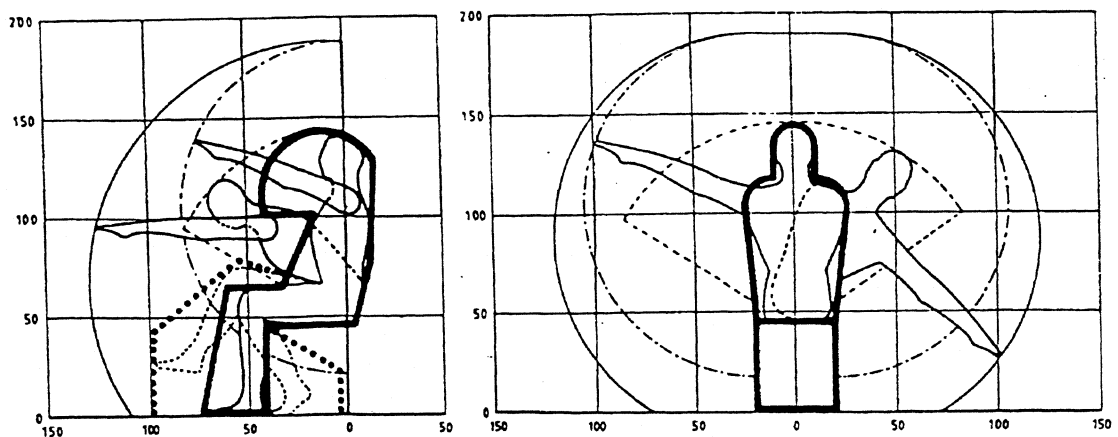
Voorbeeld: een ontwerp om Bechterev-patiënten (waarbij een bijna onbeweeglijk, half gestrekte lichaamshouding kenmerkend is) in een personenauto te helpen, bleek een zeer complexe reeks van mechanisch ondersteund transleren en kantelen te moeten zijn (F. van Haaster, 1984). Voorbeeld: het klimmen in en uit een hoge truck-cabine vergt een goed doordacht aantal van tussensteunpunten voor voeten en handen, waarbij de hulp voor ingaan niet geheel dezelfde hoeft te zijn als de hulp voor uitgaan.

Het min of meer statisch verblijven (staand voor kortere duur, of met enige zitondersteuning door stoel, klapstoel, sta-steun voor langere duur) wordt in maatgeving aan de onderzijde begrensd door een lichaamsenveloppe met hogere percentielwaarden van de ellebogenbreedte, kruinhoogte zittend of staand, buikdiepte staand of bil-teendiepte zittend. Bij ruimte-nood, zoals bij vliegtuigstoelen, is de envelop niet rechthoekig, maar helt de rugleuning van de ervoor staande stoel in de ruimte boven de knieën. Afgewogen dient te worden hoeveel extra ruimte voor beweeglijkheid in diepte (X) en breedte richting (Y) als wenselijk en mogelijk aan de verblijfsenvelop kunnen worden toegevoegd. Bij meerpersoons ruimten spelen de gevoelens voor privacy en 'persoonlijke ruimte' een rol. Idealiter mijdt men lichamelijke aanraking door anderen en zal men, indien mogelijk, voor en opzij minstens een onderarm lengte afstand willen houden. Alleen wanneer het echt niet anders kan: in een lift of drukke trein, is men bereid met minder ruimte genoegen te nemen. Een stasteun, waarbij men de stuit ondersteunt en men de gestrekte benen onder een hoek van ongeveer 75 graden met de vloer houdt, blijkt in bovenaanzicht weinig tot geen ruimtewinst op te leveren ten opzichte van een stoel. De stasteun biedt echter wel meer comfort (ten opzichte van staan) en laat sneller opstaan toe (ten opzichte van zitten) (Freeke 1994).



Figuur 5.2 Stasteun in trein

Het uitvoeren van taken in een kleine verblijfsruimte betekent gewoonlijk de aanwezigheid van meubilair voor zitten, schrijven of ander manipuleren, voor afleggen en opbergen. Bij de beperkte ruimte, die cabines per definitie eigen is, betekent dat gewoonlijk het toevoegen van - dynamische -reikenveloppen en blikvelden aan de statische lichaamsenveloppe. Uitgaande van een lichaamshouding (die als uitgangspunt voor beweeglijkheid geschikt is voor het beoogde handelen, waarnemen en eventueel rusten) wordt daarmee de geschikte vrije ruimte van handen en oog-fixatiepunten begrensd. Indien het alleen een tafelvlak betreft, kan uit tabellen of proefondervindelijk (evt. mock up) bepaald worden tot waar de werkende hand of handen kunnen komen. Indien er op verschillende hoogten en/of opzij, met de handen dient te worden bediend, gegrepen of bewogen, kan vanuit elk schouderpunt een drie-dimensionele, concave enveloppe worden vastgesteld (zie figuur 5.3).



Figuur 5.3 Reikenveloppen Din 33402, 95 percentiel, 1865 mm lang

Dit schouderpunt kan ook met de romp vooroverbuigend, zijwaarts-buigend of torderend worden gekozen (voorwaarde: houding mag niet te vaak of langdurig voorkomen). In diverse ergonomische richtlijnen zijn gegevens over dergelijke enveloppen te vinden (Dempster 1955; Damon et al. 1956; DIN 33, 402; Lange et al. 1988 e.d.).

Bij het afrekenpunt in de supermarkt treft men nogal eens voor de cassières werkplekken aan, die te vaak en te ver reiken naar en verplaatsen van artikelen vereisen met getordeerde of voorovergebogen romp. Bij het zo tillen en transporteren van, opgeteld, vele tonnen per dag, zijn ernstige klachten en lichamelijke schaden het gevolg.

Bij het inrichten van dit soort cockpit-achtige werkplekken, waarbij een concave ruimte met bedieningsonderdelen, signaalgevers, afleg- en opbergpunten de persoon omgeeft, zijn de reikenvolven die rekening houden met kort- en langarmigen, c.q. -benigen, rechts- en linkshandigen, kracht en precisie, e.d. dus zeer ontwerprelevant. Die reikenvolven hebben echter niet altijd de eerste prioriteit en zelden het alleenrecht. Zeker bij langdurige verblijven zijn de stand van nek en hoofd, de positie van de ogen en de blikvelden van minstens even groot belang. Er is maar weinig onderzoek verricht naar de optimale bliklijn, oog-, hoofd-, en nekstand vanuit de zittende en staande positie en de literatuur is er evenmin eensluitend over. Schobert (1981) noemt bij rechtvooruitkijken staand een optimale bliklijn van gemiddeld minus 30 graden ten opzichte van de horizontaal, met een standaardafwijking van 7,5 graden en bij zitten: $x = -38^\circ$, $s = 6,3^\circ$. Daarbij is echter onduidelijk door welke combinaties van nek- en hoofdflexie en eventueel neerwaarts gedraaide ogen in de oogkassen dit zou worden gerealiseerd.

In biomechanische zin is het hoofd in rust bij een licht achterover gebogen hoofd, doordat dan het massamiddelpunt van het hoofd zich boven de gewrichtsas van nek en hoofd bevindt. Dit is een hogere hoofdafstand, die men vaak aantreft als vrije hoofdstand bij blinden; ook hoofdsteunen in auto's zijn voor deze stand ontworpen. Omdat in het normale leven boven de horizon vaak weinig interessants valt te zien en de blik meestal slechts, een paar meter voor de voeten, op de vloer is gericht, is een licht voorovergebogen hoofd als natuurlijk te beschouwen, zij het niet als biomechanisch optimaal. In werkelijkheid zal er echter een frequente wisseling van oog- hoofd- en nekstanden en van de daartoe benodigde spier-inzet zijn, rond en vooral boven de juistgenoemde waarden in graden. Een soortgelijke afwisseling zal ook gelden voor het zijwaarts draaien van nek en oogbollen.

Bij de bliklijn gaat het uiteraard niet alleen om de richting en de veranderingen daarbij, maar ook om de kijkafstand. Deze laatste is afhankelijk van het vorm- (visus), diepte- en kleuronderscheidend vermogen van het individu, maar tevens van de onderscheidbaarheid van de waar te nemen objecten. De grootte en duidelijke vormgeving van tekens en figuren op signaalgevers, of van te grijpen objecten, vormen daarbij essentiële factoren. Een te vaak veranderen van kijkafstand veroorzaakt focusseringsvermoeidheid. De kwaliteit van het visuele overzicht kan op verschillende wijzen, zoals door het segmenteren van cockpit-vlakken, of ordening via positie, oriëntatie of kleur, ergonomisch worden geoptimaliseerd.

Bij cabines zijn vaak de blikvelden naar buiten eveneens van groot belang. Voor kraancabines en voertuigen is dat vanzelfsprekend, maar ook bij vaste, kleine werkruimten is het soms raadzaam via 'visuele openingen' de mogelijkheid te bieden van enige ruimtelijke oriëntatie omtrent de buitenwereld. Waarnemen en handelen dienen dus vaak tot een optimaal compromis te worden gebracht. Als voorbeeld geldt

de visueel manipulatieve comfort zone (zie diktaat ide 130, p. 140).

P-factoren

Dat er bij de behandeling van de mensfactoren van cabines ook al vaak in technische oplossingsrichtingen werd gedacht, is onvermijdelijk. Het is daarom mogelijk hierna te volstaan met het noemen, met soms korte toelichting, van de voornaamste produktfactoren bij cabines.

- alleenstaand of onderdeel van groter produkt of van infra-struktuur; bijv. telefooncel, openbare toiletzuil, versus verkleedhokje in zwembad, cabine van een landbouwtrekker;
- stilstaand of bewegend; bijvoorbeeld studeercabine, radio-zendkamer vs. bouwkraancabine (roterend), personenlift (vertikaal), camper (horizontaal), reiswieg (alle richtingen), tent (semi-permanent);
- voor één of meer personen: van bijv. couveuse voor één pasgeborene tot kabelberglift voor een dozijn personen;
- externe of interne vorm: rechthoekige enveloppe, bol- of cilindervormig; samengestelde, gelede ruimte e.d., respectievelijk vaak te zien bij bijv. bushalte, cockpit, openbare toiletzuil, personenauto;
- in- en uitgang: open, schuif- of scharnierdeur, luik, doek, van binnen of buiten afsluitbaar (toiletten vs. gevangeniscel);
- interne inkleding: kaal of met losse (meubel)elementen, of vast ingebouwde elementen, bijv. een lift in een gebouw, een vervoerscontainer als geïmproviseerde schaftkeet, een stuurhut van een klein vaartuig;
- barrière-functies: binnen of buitenhouden van invloeden, permanent of tijdelijk, volledig of deels; klimatologisch (vocht, ventilatie, temperatuur, zuurstof, lucht, luchtdruk), zintuigelijk (vestibulair, akoestisch, visueel, reukzin), mechanisch (acceleraties, schokken, trillingen), geneeskundig (virus, bacterie). Voor zoverre het gaat om het buitenhouden van invloeden, valt dit ook in een bepaald opzicht onder de straks te behandelen O-factoren;
- materialen, kleuren, texturen: deze aspecten betreffen vanzelfsprekend in de eerste plaats de materiële oplossingen voor de ruimtelijke afscheiding en de overige barrière-functies, de mechanische verbindingen met de buitenwereld, e.d. Niet vergeten mag worden dat ook de ruimtelijke beleving van de inzittende van belang is. De indrukken van comfort, veiligheid, privacy of daarentegen van opgeslotenheid (claustrofobie), benauwdheid e.d., kunnen door de ontwerper worden beïnvloed met kleurgeving, zacht ogende oppervlakken, met afrondingsstralen, vrije hoofdruimte, hellingshoeken van plafond en wanden, verschillen tussen plaatselijke licht- en helderheidsniveaus, visuele duidelijkheid van in- en uitgang etc.

O-factoren

Een cabine is op zich een mini-omgeving. Deze kan dus intern worden geoptimaliseerd volgens de algemeen geldende normen en voorschriften, die er vooral voor werkomstandigheden bestaan, zoals voor temperatuur, comfort, verlichting e.d. Er kunnen redenen zijn, om speciale regelingen te treffen of apparatuur te installeren voor het conditioneren van de binnenruimte (bijvoorbeeld verwarmings- en ventilatiesysteem van auto, of stoffiltering in cabines voor assembleren van micro-elektronische componenten of drukregeling voor decompressiekamer voor duikers).

Vaker echter zal het klimaat van de cabine in enkele of alle opzichten afhankelijk zijn van de omstandigheden buiten. Het zal dan dus afhangen van de aanvaardbaarheid

van die omgevingscondities, van de verblijfsduur binnen, van de uit te voeren taken en conditie van de verblijvers, of en welke oplossingen worden mee-ontworpen. Een couveuse stelt andere eisen dan een schildwachthuisje. Uitgebreide schokdemping wordt aangebracht bij cabines van landbouwtrekkers en grondverzet- en wegebouwmachines, omdat er zeer vaak schokken zijn. Een cabine voor inspectie en regeling van een druk verkeerspunt kan een glazen ruit hebben, die alleen bij fel zonlicht donkerder wordt. In de stuurhut van een vaartuig heeft men 's nachts een rode verlichting, om aan de duisternis buiten geadapteerd te blijven en om zowel de afleesinstrumenten binnen als de buitenwereld buiten te kunnen waarnemen.

Ten aanzien van invloeden vanuit de sociale omgeving gelden weer andere oplossingen. Een tentamenplek met zijschotten voor de concentratie, zal wellicht toch inkijk door een surveillant moeten toestaan. Telecom-systemen, zoals telefoon en videoverbindingen, kunnen voor communicatie zorgdragen, in één of beide richtingen, op initiatief van de verblijver of van de buitenwereld, of op initiatief van beiden. Er bestaan 'one-way screens', waardoor men slechts in één richting kan zien. Sommige personen kunnen zich alleen goed concentreren bij volledige afsluiting van signalen van de buitenwereld, bijvoorbeeld geluid; anderen hebben die weer niet zo nodig, of wensen zelf continu wat achtergrondsignaal vanuit de buitenwereld. Er zijn er ook die in de cabine door middel van een walkman een eigen geluidsgordijn plezierig vinden.

I-factoren

Het interacteren van een verblijvende persoon met een kleine verblijfsruimte, kan zo simpel zijn dat het woord interactie of omgang overdreven lijkt. Men staat bijvoorbeeld slechts even in een lift. De ergonomische gebruikskwaliteiten nuttig, efficiënt, comfortabel en veilig lijken dan geen bijzondere ontwerp-opgave te zijn. Het ontwerpen van een goede bediening ervan voor iedereen, of van de ruimtelijke oriëntatie van en in de lift, vergen echter toch enige aandacht en de veiligheidsvoorschriften voor de uitzonderlijke gevallen van storing, brand of breuk zijn complex. We hebben in het voorgaande bovendien gezien dat er vele M-, P- en O-factoren zijn en deze kunnen de interactie dus op vele manieren beïnvloeden.

Een van de belangrijkste interactie-factoren is natuurlijk de verblijfsduur. Een kortdurende 'omgang' met een cabine maakt het ontwerp in de meeste gevallen ergonomisch minder kritisch dan bij een lange verblijfsduur. Dat men zich bij het ontwerp niet zozeer richt op de gemiddelde, te verwachten verblijfsduur, als wel op een hogere percentielwaarde van de frequentie-verdeling van verblijfsduren, moge vanzelfspreken.

Wat voor gewoonten verschillende gebruikers hebben bij in- en uitstappen en hoe zij de globaal verwachte handelingen, waarnemingen en besluiten uitvoeren, is echter minder vanzelfsprekend. Hoe men in- en uit een voertuig stapt, zich installeert, zich actief of passief vervoeren laat e.d., is onderwerp van menige ergonomische studie. De vrijheidsgraden van gebruik, die overblijven na bepaling van de menselijke kenmerken en van de kenmerken van het produkt, zijn meestal groot. Indien er door gebruiksonderzoek bij sommige gebruikers inefficiënt, onveilig of oneigenlijk gebruik wordt geconstateerd, of niet-gebruik van wel aangeboden produkt-functies, is er waarschijnlijk reden het nieuwe ontwerp bij te stellen. Bij werk- en vervoerscabines kan men al gauw spreken van complex gebruiksgedrag, waarbij een breed scala van ergonomische problemen kunnen gelden en ontwerpergonomische meet-, analyse- en oplossingsmethoden dienstig kunnen zijn.

5.4 Ontwerpoverwegingen en -methoden

In de inleiding tot de Produkt- en Systemergonomie (ide 130, Dirken 1994, p. 380) werd het principe van de nutformule uitgelegd. De gedachte daarbij was dat voor bestaande of voor nog te ontwerpen produkten een aantal factoren, die de waarden ervan en de kosten ervoor benaderend aangeven, in onderlinge afweging kunnen worden gebracht. Daartoe worden in de teller aspecten opgenomen, zoals urgentie (levensnoodzakelijkheid = U), gebruiksduur per keer gebruik (D), gebruiksfrequentie per periode, bijvoorbeeld week = (F), levensduur (L), aantal gebruikers van het produkt (G_n) en plezier (P). In de noemer staan vervolgens elementen, zoals de inspanning van de gebruiker bij de voorbereiding (vooraf = I_v), bij het eigenlijke gebruik (tijdens = I_t) en tijdens de nazorg (bijv. opbergen, schoonmaken = I_a). Bovendien staan in de noemer steeds de kosten, in termen van tijd (K_t), ruimte (K_r) en geld (K_g) binnen de mogelijkheden van de gebruiker.

$$N_p = \frac{U \cdot D \cdot F \cdot L \cdot G_n \cdot P}{I_v + I_t + I_a + K_t + K_g + K_r}$$

Ook op een produktengroep zoals kleine verblijfsruimten zou deze nutformule kunnen worden toegepast. Zo zou men een couveuse als urgenter kunnen inschatten dan een bus-abri; een voor één of enkele nachten te gebruiken kartonnen slaapdoos voor zwervers dient anders gewogen te worden dan een Japans systeem van gestapelde mini-slaapcabines, dat in de vorm van een wat groot uitgevallen kroketten-automaat voor weinig geld slaapgelegenheid blijft bieden; een personenlift in een woning moet urgent zijn voor de enkele gebruikers, wil hij een gelijk gewicht krijgen als een lift in een metro-station waar duizenden per dag ervan gebruik maken. Deze afwegingen zijn veelal kwalitatief van aard. Omdat bij het produktontwerpen deze belangrijke aspecten en hun onderlinge compensaties te vaak impliciet blijven, leek het goed in een van de ontwerphoofdstukken de nutformule nog eens te memoreren.

Indien men de belangrijkste M-, P-, O- en I- factoren voor het ontwerpen van kleine verblijfsruimten (zie vorige paragraaf) samenvoegt tot de kernfuncties die de cabine moet vervullen, zou men kunnen noemen: een verblijf leveren in enige afgescheidenheid en bescherming; gedurende een bepaalde tijd, voor een of enkele personen; die een toegang en uitgang behoeven; die tijdens verblijf in een bepaalde variatie van lichaamshoudingen ondersteund moeten worden; of waarbij eveneens andere produkten of onderdelen voor rusten, werken of communiceren een plaats en ordening moeten krijgen en, tenslotte, waarbij tegemoet wordt gekomen aan de ruimtelijke oriëntatiebehoeften.

Die kernfuncties zullen per geval verder worden gespecificeerd en vele voorwaarden en beperkingen zullen vervolgens het ontwerp bijrichten.

Populatiekeuze

Wat vanaf het begin van dat ontwerpproces speelt, is het probleem van de populatiekeuze bij de M- en I- factoren. Welke spreidingsbreedten in de menselijke gebruiksrelevante kenmerken, capaciteiten en gewoonten vormen de criteria voor het ontwerp? Indien er sprake is van één gebruiker en dus van één individueel aangepaste, tailor-made cabine (bijvoorbeeld inrichten van een douche-ruimte voor een bepaalde gehandicapte), is er daarover weinig onzekerheid. Bij ontwerpen voor serie- of massaproductie, zoals typerend is voor het industrieel ontwerpen, betekent het evenwel dat elk M- en I- aspect, dat van belang is voor de functievervulling door het produkt, gewoonlijk een variatie binnen de gebruikersgroep te zien geeft. Daar komt bij dat die aspecten de neiging hebben ook nog onafhankelijk van elkaar te variëren:

een brede persoon is niet altijd een lange persoon en de lichaamsmaten vertellen weinig over hoe mensen instappen of gaan zitten, of over wat personen een comfortabele verlichting vinden.

Er zijn ook sectoren waar men eerst een ontwerp maakt en erna de gebruikers op geschiktheid voor het produkt selecteert. Militaire vliegers moeten een bepaald postuur hebben om in de cockpit te passen. In de burgerluchtvaart heeft men lange tijd de cockpit ontworpen voor Westerse mannen. Nu er allengs meer vrouwelijke piloten komen en kleine Aziaten, ontstaan er vele problemen met stoelen, reikwijdten, krachtuitoefening en blikvelden.

Vaak worden kleine verblijfsruimten voor iedereen ontworpen, voor kinderen en volwassenen, mannen en vrouwen, voor gehandicapten en niet-gehandicapten, e.d. Veelal gaat het om cabines voor openbaar gebruik. Soms worden cabines voor bepaalde beroepsgroepen ontworpen (truckcabines bijvoorbeeld), maar binnen deze groepen kan de variatie soms even groot zijn als die binnen een veel grotere populatie. Dure stralingsapparatuur, waarin men moet liggen of staan, moet passend zijn voor alle patiënten. Het mangat als vluchtweg uit de onderzeeër moet ook de zwaar geklede reus doorlaten, maar de traliespijltjes moeten ook de kleinste en lenigste gevangene tegenhouden.

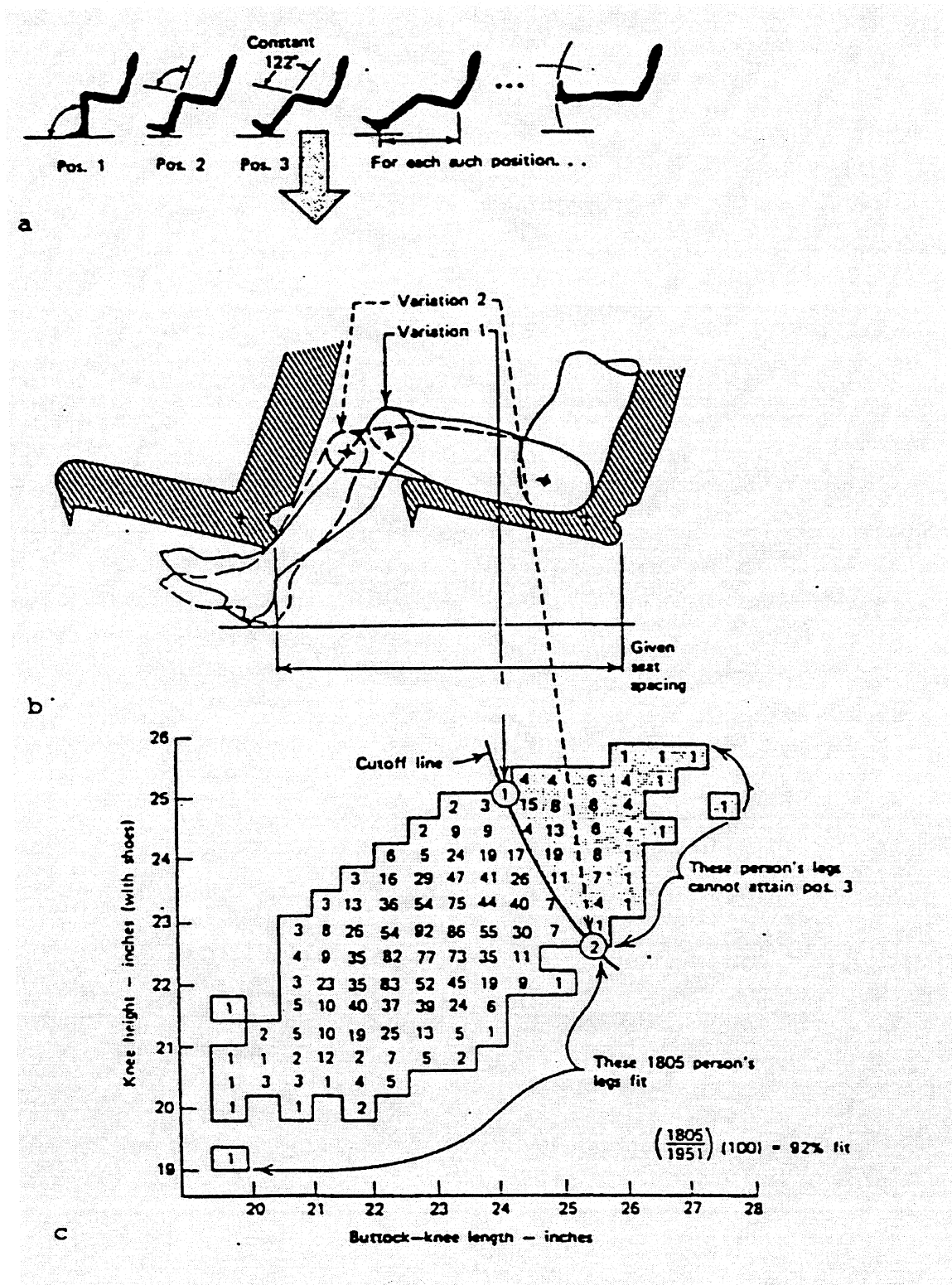
Bij de populatiekeuze gaat het, zoals bekend, om het verstandig bepalen van grenzen. Soms betekent dat het kiezen van een hoog percentiel (bijv. P 80, P 95, P 99,9) uit de frequentieverdeling van het relevante kenmerk, men denke bijvoorbeeld aan stoelbreedte. Voor andere ontwerprelevante kenmerken betekent dat echter weer het kiezen van een laag percentiel (bijv. P 0,25, P 02, P 10), men denke bij voorbeeld aan reikwijdte.

De goede ontwerper heeft dan degelijke argumenten waarom een bepaald percentage van de oorspronkelijk beoogde populatie van gebruik of van comfortabel gebruik wordt uitgesloten. In vele gevallen kan de aanpassing worden gerealiseerd door in het produkt instelbaarheden of verstelbaarheden aan te brengen (bijv. plafond in kampeerauto dat tijdelijk kan worden verhoogd ten bate van staan). De oplossing kan soms ook worden gevonden in het ontwerpen van verschillende varianten van het produkt: een eenpersoons tentje voor groteren en een voor kleineren, een reiswieg voor langere en een voor kleinere babies.

Ruimte en comfort dienen echter vaak in een compromis naar elkaar toe te worden gebracht. In de luchtvaart, waar alles liefst licht van gewicht en klein van omvang moet zijn, wordt op de verblijfsruimte van zittende passagiers gewoonlijk beknipt. De 'steek', zijnde de afstand tussen een vast punt op twee achter elkaar staande stoelen, dient gering te zijn, om zoveel mogelijk passagiersplaatsen op een rij te krijgen.

Voorbeeld

In het bijgaande voorbeeld van Roebuck (1975) wordt eerst een redelijke zithouding gekozen die langere tijd kan worden volgehouden: een heuphoek van 122°.



Figuur 5.4 Schattingsmethode voor het bepalen van de beenruimte (Roebuck, 1975)

Rekening houdende met het feit dat de voeten tot op zekere diepte onder de voorgaande stoel kunnen worden gestoken, blijken erna twee lichaamsmaten bepalend: de bil-knieschijf diepte en de knieschijf hoogte zittend. Bij een onderzoek

onder 1951 passagiers bleek het een aanvaardbare oplossing, als men bij eerstgenoemde maat ging tot 65 cm (25 1/2 inch) en bij de tweede maat tot 63 cm (25 inch) en daarbij bleek de geschiktheidspopulatie 92%, ofwel 8% werd van comfortabel gebruik uitgesloten. Indien evenwel zou blijken dat er bij de passagiers met toegestane beenmaten er zich ook zeer brede personen bevonden, die niet in de stoelbreedte passen, zou een groter percentage uitgesloten zijn.

Geschiktheidspopulatie

Wegens de onvolkomen correlatie tussen de ontwerprelevante gebruikskennmerken geldt dus in het algemeen dat bij toename van het aantal kenmerken de uiteindelijke 'geschiktheidspopulatie', die men voor elk kenmerk apart bijvoorbeeld op 90% had gesteld, verder terugloopt. Voor het geval van slechts twee kenmerken is die reductie volgens de formule, die op de Dined tabel (Molenbroek en Dirken, 1986) te vinden. Voor het multi-dimensionele geval is nog geen handzame formule gevonden, maar volgt hier een antropometrisch ontwerpvoorbeeld (zie ook Molenbroek, 1994). Voor de maatgeving van een werkplek werden 8 lichaamsmaten van belang geacht. Van een groot aantal Delfse studenten waren daarvan de waarden, spreiding en intercorrelaties bekend. Voor elk van de lengte-, diepte- en breedtematen werd een keuze gemaakt, zodat 90% van die populatie in het ontwerp zouden passen wat betreft die afzonderlijke maat. Bij telling bleek echter dat slechts een 53% van die populatie produktgeschikt was, dus passend binnen de combinatie van die 8 ontwerpmaten. Bij elke volgende maat werd, althans in dit geval, de populatie met een verdere 5% gemiddeld gereduceerd. Men kan aannemen dat als er andere, bijvoorbeeld niet-antropometrische maten, maar nog lager correlerende, zoals betreffende krachtoefening of vaardigheid of begrip, bij een ontwerp kritisch zijn, er een nog grotere reductie gaat plaatsvinden. Gelukkig kan men ook veronderstellen dat dit 'kritisch zijn' soms minder absoluut is, omdat er soms onderlinge compensaties mogelijk zijn (men gaat bijvoorbeeld wat voorover zitten of houdt de bovenbenen wat zijwaarts e.d.) of dat een enkel aspect met iets minder comfort toch aanvaardbaar wordt gevonden.

Een ander combinatorisch probleem treedt op indien men gaat ontwerpen voor een situatie met verschillende personen tegelijk, zonder te weten hoe vaak en hoe groot de verschillen tussen die gebruikers zijn. Kan men ervan uitgaan dat op een tweezitsbank in een treincoupé gewoonlijk de ene volwassene breed is en de ander smal? Dan zou men zelfs met de gemiddelde breedtemaat kunnen volstaan. Of moet men er op rekenen dat bij toeval in een klein aantal gevallen twee brede passagiers naast elkaar zitten, of zelfs dat paarvorming onder passagiers nogal eens gelijkvormige lichaamsbouw te zien geeft? Men kan dit oplossen als een ontwerpgeval van het combineren van twee laag gecorreleerde variabelen.

Bij het ontwerpen van cabines is de voor de hoofdmaten geveerde nauwkeurigheid gewoonlijk niet lager dan 10cm; voor het meubilair echter gaat het eerder om een precisie tot op enkele centimeters.

Archimedische punten:

Bij het ontwerpen en inrichten van een cockpit of bestuurderscabine van een voertuig is het gebruikelijk eerst een drietal vaste uitgangspunten te bepalen: die van de ogen (DEP = design eye point), die van de hielen (AHP = accelerator heel point) en die van het zitreferentiepunt (SRP/A = seat reference point/area).

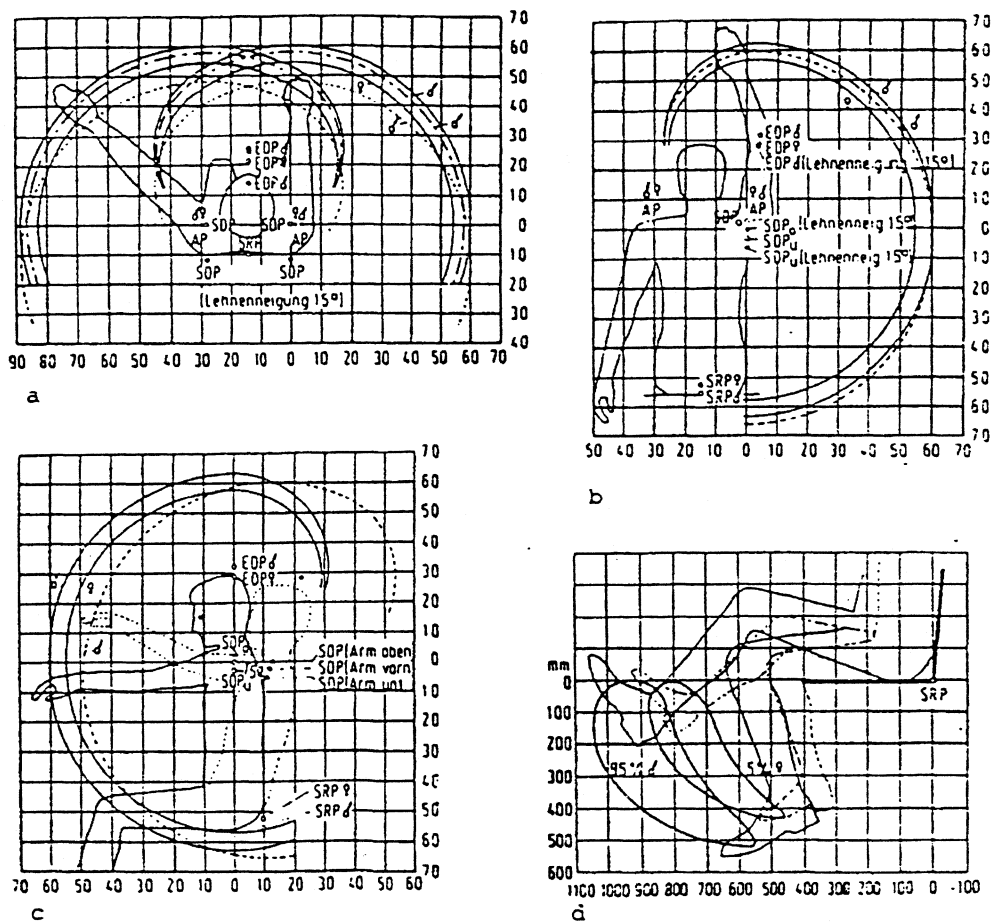
De eerste en belangrijkste, het DEP, is in feite geen punt maar een kleine ovaalvormige

3D ruimte, waarin de ogen met een licht bewegend hoofd zich moeten bevinden. Dit is noodzakelijk om goed door de ruimte naar buiten te kunnen kijken en om een goed overzicht van, en detailwaarnemingen op, het instrumentenpaneel te kunnen hebben. Na het bepalen van het DEP komt meestal de bereik- en bedienbaarheid van de voetpedalen, het AHP, dat het contactpunt aangeeft tussen hiel en vloer.

Tenslotte wordt, rekening houdend met de ooghoogte zittende en de diepte van het enigszins in de knie gebogen been, het zitreferentiepunt bepaald. Het SRP is in feite een lijn en wel een snijlijn tussen enerzijds het vlak dat enigermate het contactvlak tussen rugleuning en rug van de inzittende benadert en anderzijds het contactvlak, ook dus ingedrukt, tussen zitting en billen en dijen.

Wegens de geringe variabiliteit van het AHP en het DEP komt het erop neer dat het SRP verschillende voor-achterwaartse en hoog-laag standen moet kunnen innemen om de antropometrische variatie te kunnen volgen.

Pas hierna kan men inschatten waar de schouderpunten zich kunnen bevinden, om van hieruit de reikenvoloppen te kunnen bepalen. Als voorbeeld van enkele reikenvoloppen volgen hier enkele figuren van Schmidtke (1981).

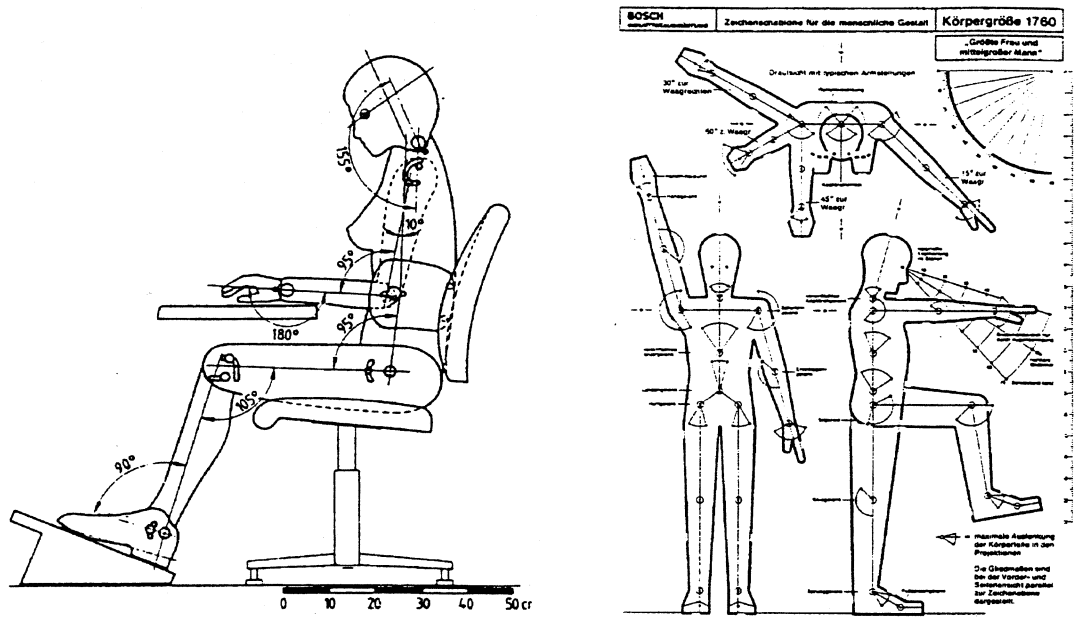


Figuur 5.5 Reikenvoloppen 5e percentielwaarden (Schmidtke, 1981)

- | | |
|-------------------------|--|
| SRP = Zitreferentiepunt | — = Arm horizontaal, rug vertikaal |
| SDP = Schouderdraaipunt | — = arm 15° naar boven of beneden |
| EDP = Elleboogdraaipunt | — = Arm horizontaal, rug 15° naar achteren |

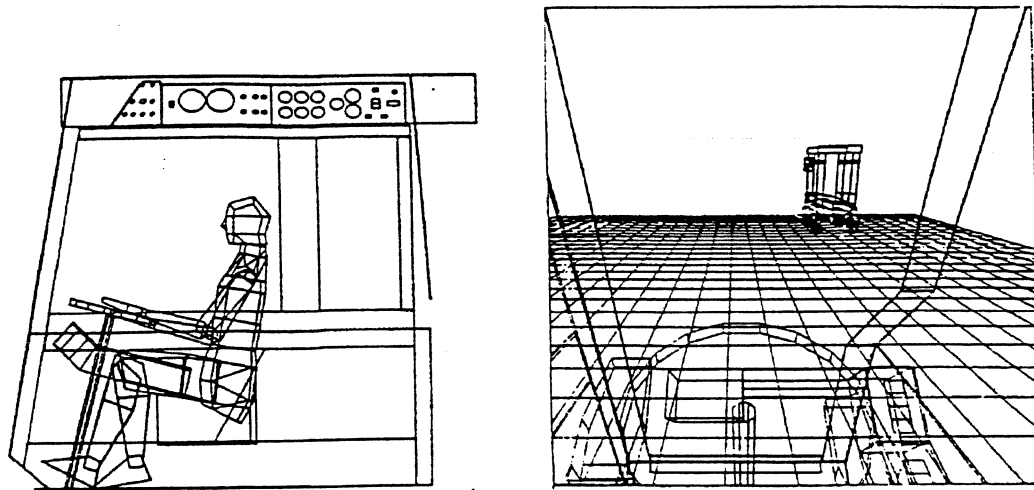
Ontwerphulpmiddelen

De fysieke ergonomie levert een groot aantal data over de x en s van lichaamssegmentmaten in hoogte, diepte en breedte. Verder zijn er, ook speciaal voor zittende houdingen, diverse twee- en driedimensionale manikins, om op verschillende schalen te passen en te meten. Zo zijn er de Kieler Puppe (Jürgens et al., 1975) en de Bosch mallen (Jenner et al., 1978) en worden bij voorbeeld bij botsproeven 3-D poppen op levensechte schaal gebruikt.

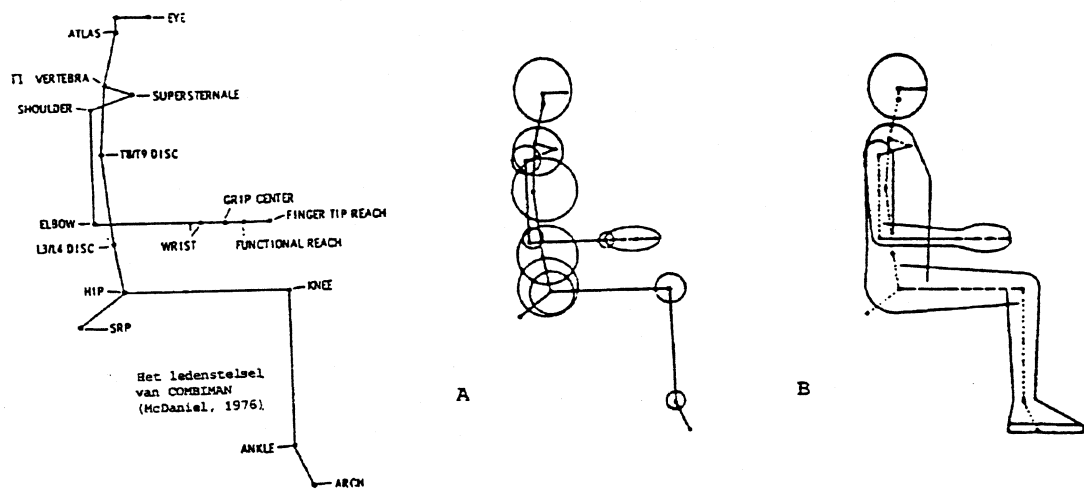


Figuur 5.6 Kieler Puppe en Bosch mallen

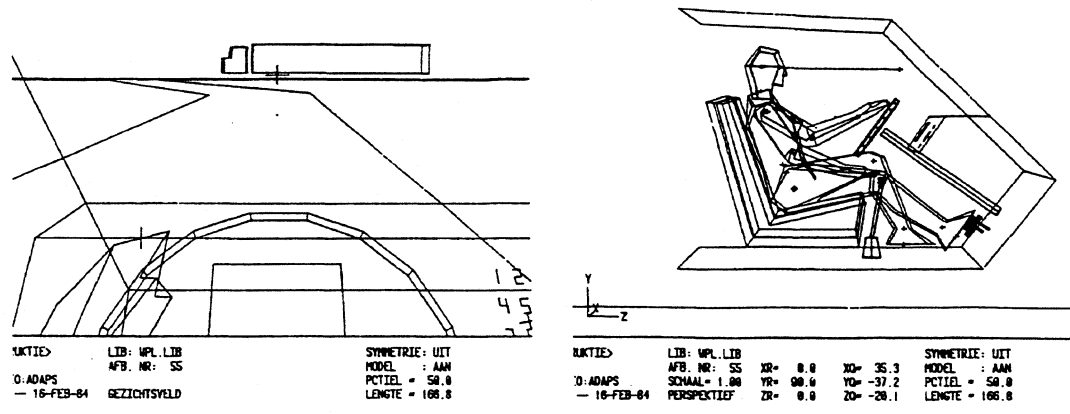
Het nadeel van deze hulpmiddelen is echter dat ze slechts een lichaam met één proportionering voorstellen. Dat nadeel kleeft minder aan de mensmodellen op de computer, waarmee men meestal wel de lichaamsverhoudingen (bijvoorbeeld die van bovenbeendiepte zittend versus ooghoogte zittend) kan variëren. Voorbeelden hiervan zijn het computermodel SAMMIE (Bonney et al. 1979), Combiman (McDaniel, 1976) en ADAPS (Hoekstra, 1985-1994).



Figuur 5.7 Sammie: antropometrisch model in bestuurscabine + uitzicht



Figuur 5.8 Combiman: ledenstelsel + verschillende weergaven van lichaamsvormen (Mc Daniel, 1976)



Figuur 5.9 ADAPS: antropometrisch model in een personenautocabine + gezichtsveld

Een ander voordeel van deze computerhulpmiddelen is de snelle veranderingsmogelijkheid van de cabine-maten en de inrichting. Tevens kan men bij sommige ervan (zie voorgaande figuren) het functionele gezichtsveld vanuit het DEP weergeven.

Bij het ontwerpen van cabines loont het evenwel nog vaak de moeite een mock-up in ware grootte te maken. Voor het toetsen van de maatpassingen en de dynamischer aspecten van de interacties met bedieningsonderdelen en signaalgevers, het in- en uitstappen e.d. is dit nog vaak nodig. Dit betreft in wezen observatie-studies, die ook aan bestaande cabines kunnen worden uitgevoerd.

Tenslotte kunnen interviews met, al dan niet ervaren, gebruikers van bepaalde typen cabines ook zeer waardevol zijn om knelpunten, behoeften en wensen op te sporen, teneinde zo in een herontwerp verbeteringen te kunnen aanbrengen. Als voorbeeld diene het vragenlijst onderzoek van Mossink et al. (1994) onder meer dan 3000 vrachtwagenchauffeurs, gespreid over 15 typen vrachtwagens (zie bijgaande tabel).

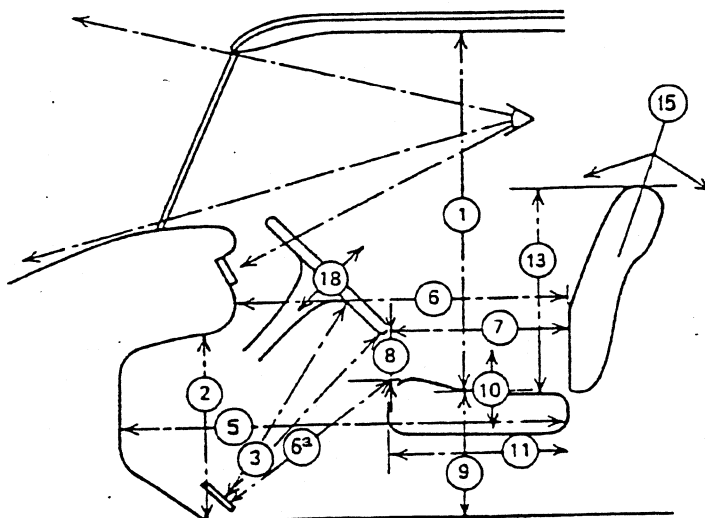
	<i>instap</i>	<i>zitcomfort</i>	<i>bediening</i>	<i>stuur</i>	<i>ruimte</i>	<i>voor- zieningen</i>	<i>klimaat</i>	<i>geluid</i>	<i>zicht</i>	<i>binnenlicht</i>	<i>trillingen</i>
gemiddeld voor alle 15 cabines	3,99	3,52	3,80	3,78	3,41	3,40	3,36	3,65	3,97	3,55	3,32
DAF 1600-2700 dagcabine	3,76	3,54	3,43	3,55	3,19	3,03	2,89	3,10	3,63	2,82	3,00
DAF 2800-3600 slaapcabine	3,76	3,29	3,39	3,16	3,14	3,02	2,95	3,15	3,45	2,96	2,77
DAF 95 slaapcabine	4,04	3,47	3,79	3,88	3,51	3,48	3,32	3,96	4,18	3,94	3,57
DAF 95 Spacecab	4,19	3,84	3,95	4,02	4,19	3,86	3,68	4,02	4,10	4,12	3,97
MAN F90 dagcabine/topsleeper	3,92	3,70	3,80	3,90	3,70	3,60	3,46	3,92	4,06	3,86	3,50
MAN F90 Command(XT)	4,20	3,42	3,97	3,87	4,18	3,78	3,54	4,16	4,15	3,95	3,90
Mercedes ecoliner dagcabine/topsleeper	4,02	3,17	3,62	3,69	3,08	2,98	3,07	3,44	3,81	3,18	3,16
Mercedes dagcabine/topsleeper	3,70	3,33	3,61	3,41	2,65	3,00	3,06	2,98	3,75	3,07	3,04
Mercedes slaapcabine	3,79	3,37	3,68	3,51	3,00	3,01	3,14	3,54	3,81	3,55	3,24
Mercedes Grobraum	3,72	3,34	3,79	3,58	3,31	3,20	3,34	3,87	3,97	3,68	3,48
Scania 2-serie R-cabine	4,05	3,44	3,80	3,83	3,23	3,31	3,21	3,27	4,07	3,37	2,72
Scania 3-serie R-cabine	4,18	3,81	4,10	4,16	3,20	3,46	3,48	3,83	4,06	3,55	3,40
Scania 3-serie R-cabine	4,26	3,78	4,19	4,30	3,70	3,79	3,63	4,11	4,23	3,93	3,61
Volvo F10/F12/F16 slaapcabine	4,06	3,59	3,68	3,72	3,15	3,42	3,69	3,67	4,03	3,56	3,19
Volvo F10/F12/F16 Globetrotter	4,12	3,66	3,95	4,03	4,34	4,05	3,94	3,99	4,25	3,91	3,65

Figuur 5.10 Gemiddelde van aspect-oordelen per cabinetype. De schaal loopt van 1 (zeer slecht) tot 5 (zeer goed). Ned. Tijdschrift voor Ergonomie, Dec. '94, p17, tab.4

5.5 Enkele voorbeelden

De dimensies van de bestuurderscabine.

Er zijn vele studies verricht naar de optimale maatgeving van de bestuurdersruimte in de auto-cabine, zowel uit overwegingen van ergonomie als van standaardisatie. Kroemer, een belangrijk onderzoeker en publicist op het gebied van de fysieke antropometrie, deed daar al in 1966 een voorstel voor. In bijgaande figuur en tabel worden zijn maten weergegeven, inclusief de gesuggereerde percentielwaarden.



Figuur 5.11 Belangrijke dimensies (15) voor het ontwerpen van een autocabine (Kroemer, 1966)

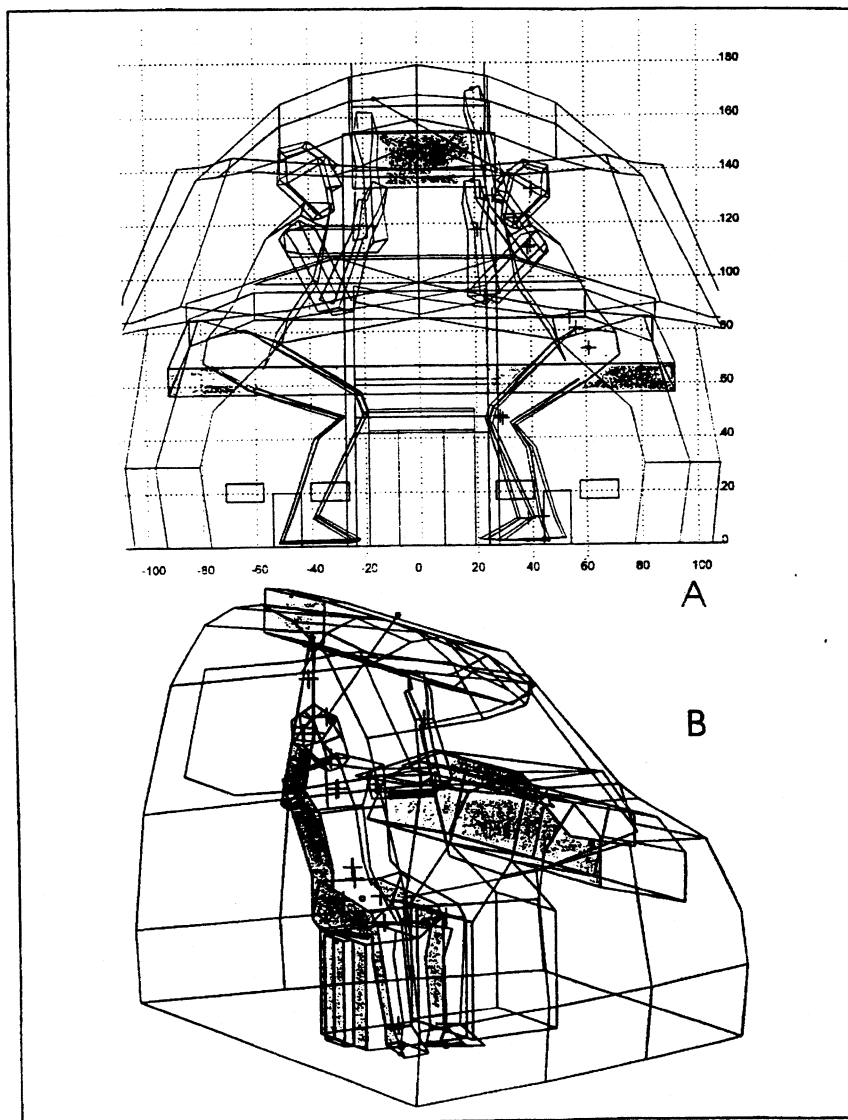
nr.	omschrijving	relevante statische maat	kritische P-waarde
1.	Hoofdruimte: dient ook geschikt te zijn voor lange mensen met hoed of helm.	zithoogte	P95
2.	Knieruimte: dient ook voor langbenige mensen geschikt te zijn.	kniehoogte	P95
3.	Afstand pedaal-stuur: dient knie-verplaatsingen bij snelle voetbewegingen tussen de pedalen niet te belemmeren.		P95
4.	Breedte van de bestuurdersruimte: dient voldoende te zijn voor een gezet persoon met dikke kleding (niet in de figuur).	schouderbreedte elleboogbreedte	P95
5.	Diepte van de beenruimte: dient voldoende te zijn om een been te strekken.	bil-teen-diepte	P95
6.	Afstand van rugvlak tot bedieningsmiddel op het dashboard of naast het stuur: dient comfortabel bereikbaar te zijn voor kleine chauffeurs zonder soepele gewrichten.	reikwijdte naar voren	P5
6a.	Afstand voorrand zitting tot pedalen: dient comfortabel bereikbaar te zijn voor kortbenige chauffeurs	onderbeenlengte	P5
7.	Ruimte tussen stuur en rugleuning: dient voldoende te zijn voor zwaargebouwde personen met dikke kleding.	buikdiepte	P95
8.	Ruimte tussen stuur en zitting: dient voldoende te zijn voor mensen met dikke dijbenen en dikke kleding (bij voorkeur instelbaar).	dijbeendiepte	P95
9.	Zittinghoogte: dient comfortabel te zijn voor alle bestuurders; daarom afhankelijk instelbaar van de voor-achterwaartse instelling.	onderbeenlengte dijbeenlengte romp- en armlengte ooghoogte	P5 - P95
10.	Helling van de zitting (zie 9).	0-7 graden	
11.	Zitdiepte dient comfortabel te zijn voor alle bestuurders; daarom onafhankelijk instelbaar van de zitting-hoogte-instelling.	bil-kniediepte bil-voetlengte reikwijdte	P5 - P95
12.	Breedte van de zitting (zie 4).	heupbreedte	P95
13.	Hoogte van de rugleuning boven het zitvlak: bepaalt samen met de vorm van de rugleuning de bewegingsvrijheid van de schouders (armen) en hoofdsteun.	schouderhoogte	P95
14.	Breedte van de rugleuning: bepaalt ondersteuning en keuze van lichaamshouding.	schouderbreedte heupbreedte	P95
15.	Hoek van de rugleuning voor- en achterwaarts: dient comfortabel te zijn voor alle bestuurders; daarom is verstelbaarheid gewenst.	0-20 graden	

Figuur 5.12 belangrijke dimensies (15) voor het ontwerpen van een autocabine (Kroemer, 1966; in Roebuck, 1975)

In de tekening is de hoofdsteun, die minstens tot ooghoogte moet reiken, niet opgenomen. Opvallend is dat het DEP niet als vast gegeven is opgenomen, maar het resultaat is van de in- (ver)stelbaarheden van de stoel: in X en Y-richting en hellingshoek van rugleuning; hierbij werd uitgegaan van de eis dat de bestuurder de weg op ongeveer 3 m. voor het voertuig moet kunnen zien. Ook is nog als maat 18 de verkorting en verlenging van de stuurkolom opgenomen. De maateisen zijn in een 30 jaar weinig veranderd; er wordt wegens de internationale markt wel steeds meer met de volwassen wereldpopulatie rekening gehouden. De cabine heeft er ook veel accessoires bijgekregen, zoals de airbag, telefoon, elektronische route-hulp e.d.

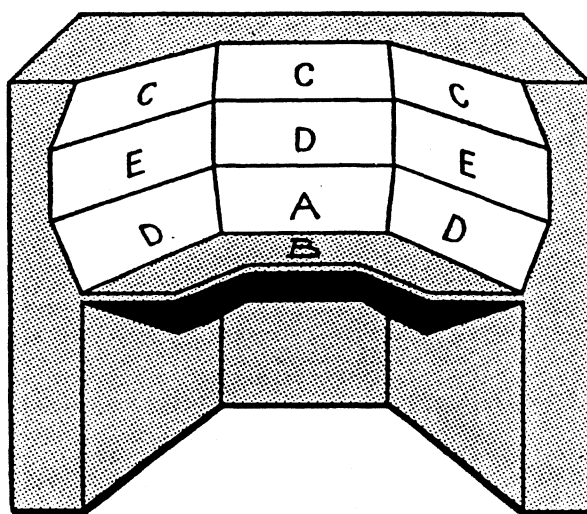
Het inrichten van een vliegtuigcockpit

Een andere dan gebruikelijke studie van de maatgeving van de cockpit is die van Van der Sterre (1994). Hierbij werd weliswaar rekening gehouden met de maateisen van de piloot, maar was de eerste vraag hoe de monteurs tijdens het bouwen van het vliegtuig met de te installeren instrument-modulen, de stoelen en de handwerktuigen in en uit de 'kale' zich langzaam vullende cockpit konden komen en er in redelijke lichaamshoudingen montage-werk konden uitvoeren. De ruimten zijn, zoals bekend, krap; de modulen kunnen groot en zwaar zijn; bovendien plegen enkele montage-specialisten in die ruimte elkaar te verdringen. Omdat in dit typerende voorbeeld de cockpit-ruimte een gegeven was, werden de tijd-, kosten-, en inspanning-verbeterende oplossingen gezocht in: andere modulaire indeling van de instrumenten, liefst elk van minder gewicht; een ander frame voor het bevestigen van die modulen; zoveel mogelijk gereed maken, inclusief inspecties, van de modulen buiten de vliegtuigromp. Tevens werd er gezocht naar andere volgorden van montage en naar hulpmiddelen, om het verplaatsen en tillen van zware onderdelen te verlichten.



Figuur 5.13 Installatie en onderhoud Overhead Panel Fokker 50 (van der Sterre, 1994)

Het ontwikkelen van het geheel van signaalgevers en ingreepmogelijkheden (displays and controls) is een zaak van stellen van prioriteiten, van het onderscheid aanbrengen naar statische en dynamische informatie, van kritische en minder kritische, van momentane en trend-informatie. Het ontwerpen, met als gelijktijdige eisen overzichtelijkheid versus bereikbaarheid, begrijpelijkheid versus selectiviteit, comfort versus volledigheid e.d., kent geen eenvoudige recepten voor oplossingen. Het is bijna altijd nodig de wensen en gebruiken van operators bij overeenkomstige processen, of bij mock-ups en andere simulaties, bij het ontwerpen te betrekken. Het systeem-concept, ofwel de interne representatie van het proces bij de ontwerper, zal niet teveel mogen afwijken van dat bij de operators. Wat aandacht verdient van het proces, is vaak meer dan het momentane blikveld of de spanwijdte van aandacht van de geïnstrueerde, menselijke bewaker kan omvatten. Er is een beperkt aandachtscentrum van ruim 30 booggraden visuele breedte en, indien daarin ook bereikbare bedieningspunten (knoppen, plekken op touch-screen, muis e.d.) dienen te worden ondergebracht, blijkt de "visueel-manipulatieve comfortzone" klein. Een verticaal of licht hellend vlak van 30 x 30 cm op 50 cm van de oogas, die ongeveer 35 tot 40 graden neerwaarts wijst: op dat paneeldeel of op die centrale beeldbuis dienen de belangrijkste displays en controls te worden geplaatst, doch het is geen regel dat steeds dezelfde het meest belangrijk zijn. Het bijeenplaatsen op een vast paneel of het in afwisseling kunnen aanbieden op een beeldbuis is daarom geboden. Links en rechts van dat aandachtscentrum en erboven zijn er dan plaatsen voor andere controls en displays. Het is gebruikelijk een structuurschema van het systeem wat hoger te plaatsen, ook al omdat daarin meestal geen bereikbare controls worden geplaatst. Bij vaste panelen met wijzerplaten, knoppen, schrijvers e.d., maar ook in het geval van beeldbuizen, tracht men meestal een cockpitopstelling na te bootsen; een concaaf, gesegmenteerd geheel van vlakken op reikafstand van de vingertoppen vanuit zittende positie. Dat kan tot een indeling leiden, zoals in de figuur 5.14 aangegeven:



Figuur 5.14 Een concave cockpit-opstelling voor panelen, beeldbuizen en bureaus

- A: aandachtscentrum: voor display/control van kritische parameters, elk met auditieve en/of visuele alarmering, liefst niet alleen numeriek weergegeven, maar ook of alleen symbolisch, analoog en met enig tijdsperspectief;

- B: bureauvlak: voor leunen, schrijven, gebruik van toetsenborden, muis e.d., communicatie-apparatuur, voor opbergen van instructie-boeken en persoonlijke behoeften;
- C: structuurschema('s): met gebruik van kleurcodes, symbolen en bijvoorbeeld lichtknippercodes voor gealarmeerde onderdelen of gebieden; eventueel ook uitvergroten van de structuur van belangrijke onderdelen;
- D: secundaire vlakken: waarden van overige parameters, al dan niet met een periode vooruit- of terugkijken; geheel in herkenbare ordening, die direct correspondeert met A en C;
- E: tertiaire vlakken: registraties en werkplannen voor langere periodes etc. etc.

In veel gevallen kan men met minder oppervlak toe, zodat bijvoorbeeld de drie linker- of bovensegmenten kunnen worden weggelaten, daarmee de functiegroepen A t/m D verdelend over het resterend oppervlak in dezelfde ruimtelijke opstelling. Soms kan worden volstaan met één of een beperkt aantal beeldbuizen, eventueel met een structuurschema op een verderstaande wand.

Begrippen

Kleine verblijfsruimten

- belangrijkste functies
- ruimtelijke begrenzing
- barrière functie
- ondersteuningsfunctie

MPOI-factoren

- reikenvolop
- lichaamshouding

nutformule

- geschiktheidspopulatie
- archimedische punten
- Kieler Puppe
- principes cockpitdesign

Literatuur

Bonney, M.C. et al (1979),

Man-machine interaction in work systems. International journal of production research 17, no. 6, p 619-629.

Damon, A., Stoudt, H.W., McFarland, R.A. (1966),

The human body in equipment design. Cambridge, Mass., Harvard, 1966.

Dempster, W.T. (1955),

Space requirements of the seated operator. Geometrical-, Kinematic- and mechanical aspects of the body with special reference to the limbs. Ohio, Wright-Patterson Air Force Base, 1955 a, WADC-TR-55-159.

Dirken, J.M. (1994),

Inleiding tot de Produkt- en systeemergonomie, Ide 130. Delft: Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft

Freeke, I. (1994),

Sta-leunvoorziening in de trein.

Afstudeerrapport. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft.

Granjean, E. (1969),

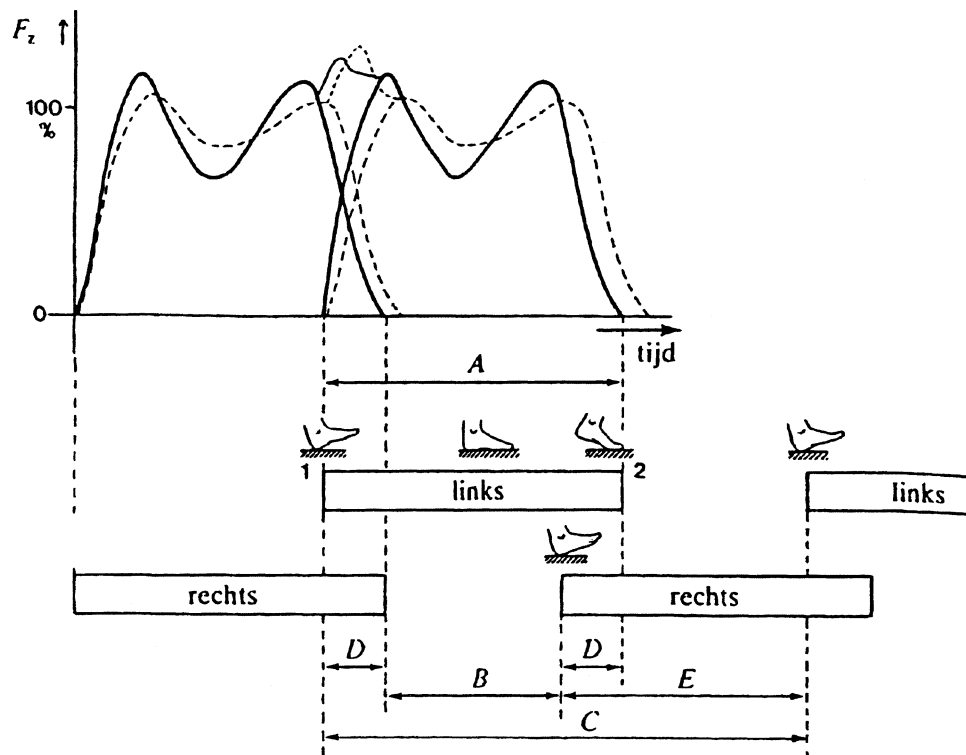
- Sitting posture, Sitzhaltung, posture assise. London: Taylor & Francis Ltd.
- Haaster, F.A.C. van (1984),
Universele zwenkstoel,
Afstudeerrapport. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft.
- Hoekstra, P.N. (1993),
ADAPS-Manual. Delft: Afdeling van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft.
- Jenner, R.D. et al (1978),
Arbeitshilfen fuer die ergonomische Arbeitsplatzgestaltung. Zeichenschablonen fur die menschlichen Gestalt. Stuttgart, Bosch Industrie-ausrustung.
- Jurgens, H.W. et al (1975),
Funktionsgerechte Korperumrisschablonen. Die Kieler Puppe. Ergonomics 18, 1975, no. 2, p 185-194.
- Lange, W. et al (1988),
Kleine ergonomische Datensammlung. 5 verand. Aufl. TUV Rheinland, Köln, 1988
- McDaniel, J.W. (1976),
Computerized biomechanical man-model. In: Proceedings of 6th congress of the international ergonomics association. Maryland, 11-16 July, University of Maryland, P384-389.
- 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, TU Delft.
- Molenbroek, J.F.M. (1994),
Menselijke maten voor het ontwerpen en beoordelen van gebruiksgoederen. Proefschrift, Delft: Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft.
- Mossink, J.C.M., Lingen P. van, Kloosterboer, J. (1994),
De ergonomie van vrachtwagencabines: het oordeel van chauffeurs. Tijdschrift v. Ergonomie, no. 19, p13-19.
- Roebuck, J.A., Kroemer, K.H.E., Thomson, W.G. (1975),
Engineering anthropometry methods. London: Wiley
- Schmidtke, H. (1981),
Lehrbuch der Ergonomie. Munchen: Carl Hauser.
- Sterren, M. van der (1994),
Evaluatie en redesign van samenbouw en onderhoud van het Fokker 50 Flight Deck, Afstudeerrapport. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft.

6 Ontwerpen van ondersteuningsvlakken

Het skelet als steungevend systeem dient zelf te allen tijde steun te zoeken op stevige vlakken van de omringende wereld. De vormgeving en structuur van die vlakken bepalen in hoge mate de mogelijkheid tot functioneren en de krachten die op de mens inwerken. Ontwerpcriteria op basis van biomechanische aspecten zijn dan ook van groot belang. Aan de orde komen de onderwerpen staan en lopen (schoenen), zitten (stoelen en werkvlakken) en liggen (bedden).

6.1 Staen en lopen

Een volledige loopcyclus, een schrede, wordt onderverdeeld in fasen waarbij de voeten al dan niet contact maken met de ondergrond (figuur 6.1). Bij snelwandelen is de bipedale tijd net niet nul, bij rennen is er geen bi-pedale fase. Na hielcontact en tijdens de afzet is de verticale kracht (F_z) tussen voet en ondergrond groter dan het lichaamsgewicht (100%).



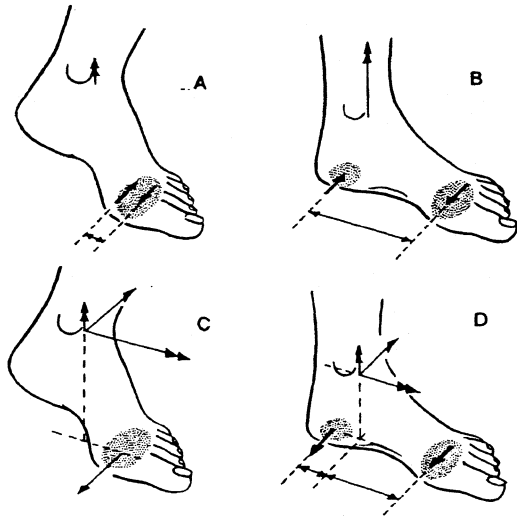
- A = standtijd tussen hielcontact (1) en teenafzet (2);
- B = slingertijd;
- C = schrede- of cyclustijd;
- D = bipedale tijd;
- E = staptijd

Het verloop van de verticale kracht (F_z) is aangegeven voor beide voeten. F_z komt na hielcontact even boven het lichaamsgewicht (100%). De gesloten lijn heeft betrekking op volwassenen, de stippellijn op bejaarde personen. In de bipedale fase is bovendien de som van beide voetkrachten getekend.

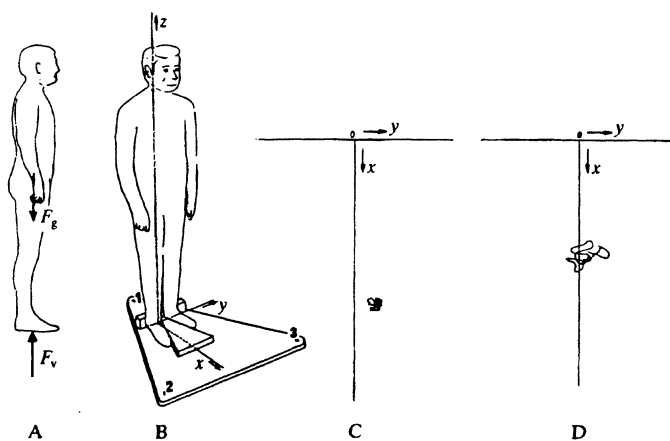
Figuur 6.1 Staptijd factoren (Rozendal, 1968).

Wrijving tussen schoen en ondergrond is nodig om af te kunnen zetten, maar ook om te remmen bij hielcontact (heel strike). Op een natte of vette ondergrond hebben veiligheidsschoenen een wrijvingscoëfficiënt van 0,3 tot maximaal 0,4. Bij sport wordt snel wendend belemmerd door de frictie tussen sportschoenen en vloer. Enkeltletsels zijn vaak het gevolg (inversie trauma) door zwikken tijdens steunen op de voorvoet (figuur 6.2).

Een verende hak is noodzakelijk tijdens lopen op beton of asfalt. De kinetische energie van o.a. been en schoen wordt na de botsing omgezet in vervormingsenergie van de als lineaire veer voorgestelde hak: $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}F \cdot x$. Door invullen van $F = c \cdot x$, waarin c de veerconstante is in N/m wordt de maximale kracht tijdens hielcontact $F = v\sqrt{mc}$. Bij sport is v groot, zodat extra aandacht aan een lage waarde van c moet worden besteed, bijvoorbeeld door een hak met luchtvering.



Figuur 6.2 Het 'naar buiten zwikken' van de enkel (inversie trauma) kan ontstaan door grote momenten, zoals in C.



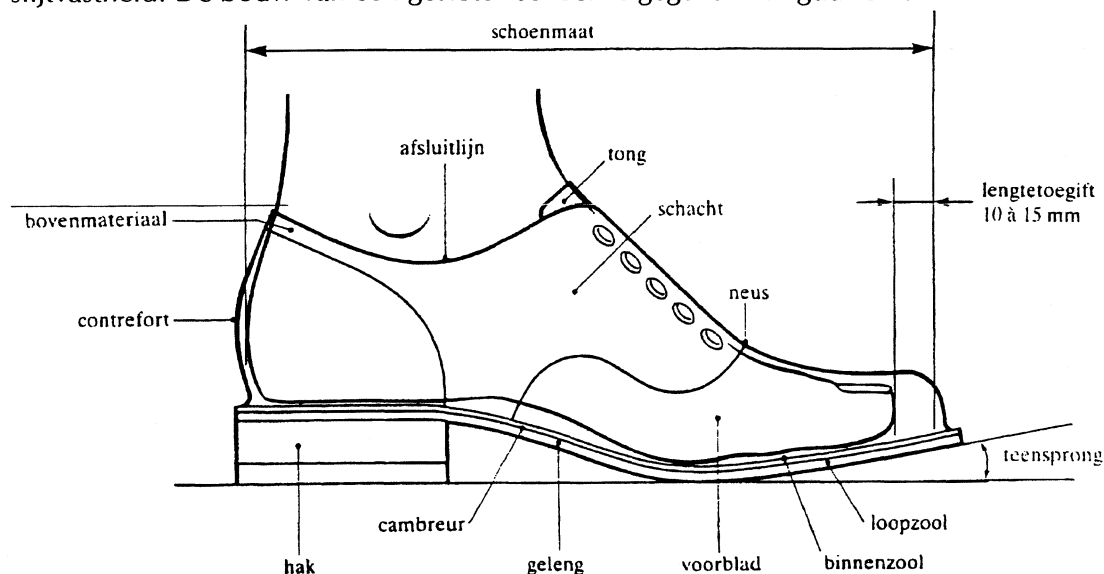
Figuur 6.3 Registratie van het zwaartepunt van de mens. Onder de hoekpunten van het platform zijn krachtmeters aangebracht. De persoon van registratie C hangt meer op het linkerbeen, doch staat stabiel dan D.

Tijdens staan worden de typische individuele kenmerken van de lichaamshouding zichtbaar. Een daarvan is de ligging van het zwaartepunt van het lichaam dat steeds ligt boven het voetvlak (figuur 6.3). De plaats en vooral ook de beweging van dit punt kan men meten met behulp van een krachtplatform (force plate). Dit levert grillige figuren op omdat steeds sprake is van een zwaaibeweging om een gemiddelde evenwichtsstand. Deze zwaai is een maat voor de conditie van het regelsysteem van de spierkrachten die steeds actief moeten zijn om te voorkomen dat het skelet in elkaar zakt. Het nuttige van spiritualiën of bepaalde medicijnen leidt tot grotere uitslagen. Scherpschutters blijken daarentegen significant stabiel te kunnen staan.

Schoenen

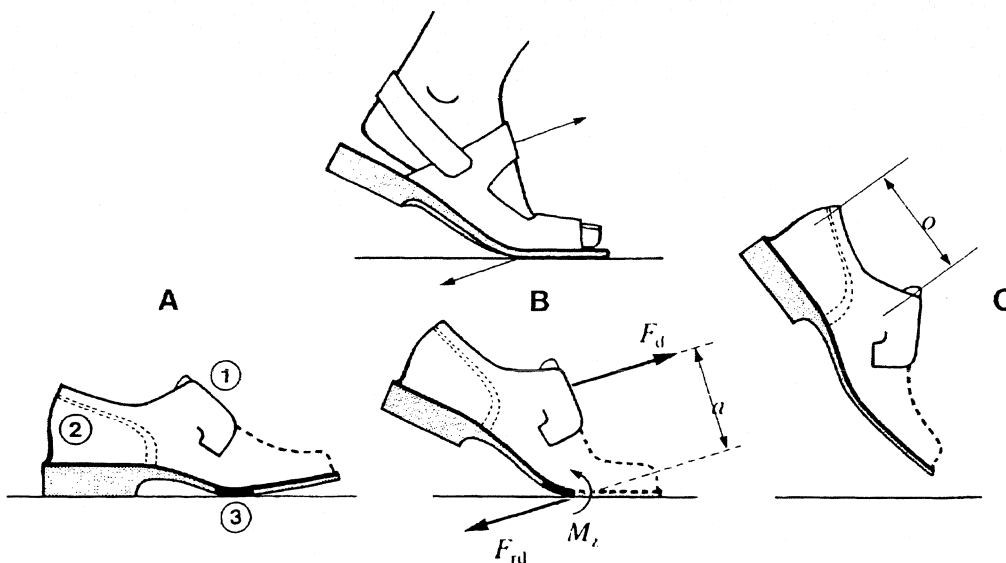
Voeten en schoenen vormen een fraai voorbeeld van het functioneren als één geheel van menselijk lichaam en industrieel produkt (Sniijders, 1991). Bij het ontwerpen moet men rekening houden met biomechanische, antropometrische en vele andere aspecten. Deze kunnen mutatis mutandis ook bij andere produkten met een lichaam-produkt interface een rol spelen.

Een groot deel van de mensheid draagt schoenen met als voornaamste doel bescherming tegen koude en beschadiging van de huid, en vanwege vering op een harde ondergrond. Die beschermende bekleding mag echter niet het lopen belemmeren of vochtophoping om de huid veroorzaken. Dit vereist een goede pasvorm, een goede constructie, en materialen van goede kwaliteit ten behoeve van vocht- en warmteregulatie en slijtvastheid. De bouw van een gesloten schoen is gegeven in figuur 6.4.



Figuur 6.4 Schoen in zijaanzicht. Het contrefort dient ter versteviging van de hielpartij, de cambreur ter versteviging van het geleng. De lengtetoegift is noodzakelijk in verband met het naar voren komen van de tenen tijdens de afwikkeling en biedt voor kinderen ook groei ruimte; de teensprong voorkomt struikelen.

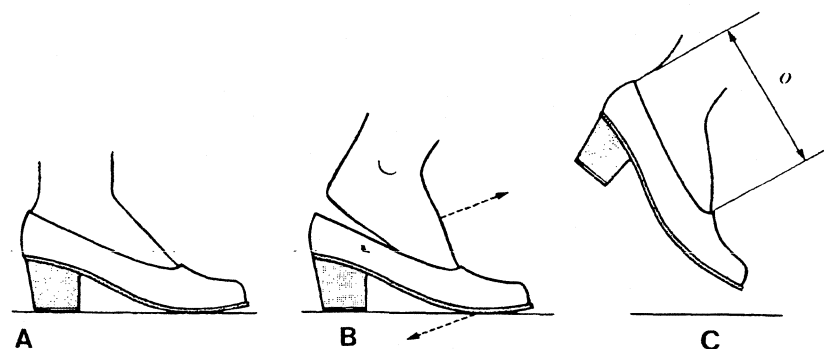
Een zekere hakhoogte is nodig voor vering en slijtage. Ter plaatse van de bal van de voet heeft een dunnere zool voordeel vanwege de buigzaamheid tijdens de afzet. Het hoogteverschil tussen de hiel en bal leidt tot een schuinstand die niet meer dan 10 à 14° zou moeten zijn. In de praktijk komt het neer op een hakhoogte van maximaal 3 à 4 cm, waarbij de kleinste mensen de laagste hakken zouden moeten dragen.



Figuur 6.5 Het functionele raamwerk van een goede schoen. Sluiting hoog op de wreef met veters of riempje (1), omsluiting van de hiel (2) en bal van de voet op het diepste punt van de schoen en ter plaatse een buigzame zool (3).

Tijdens de afzet komen belangrijke biomechanische eisen aan het licht (figuur 6.5). Buiging van de schoen is het gevolg van de kracht F_d die ontstaat door druk van de wreef op de veter- of riemsluiting. De reactiekracht F_{rd} werkt in de denkbeeldige doorsnede die aan de rand van het op de grond gedrukte deel van de zool is aangebracht. Hoe dikker en stugger de zool, hoe groter het tegenwerkende moment (M_z) moet hebben. Een loopzool van leer is prettig vanwege de buigzaamheid, en ook vanwege een betere isolatie dan rubber tegen een koude of hete ondergrond, zoals in de zon verhitte straattegels. De combinatie van wreef- en hielsluiting voorkomt het verlies van de schoen in de zwaai fase dankzij de kleine opening o . In figuur 6.6 ontbreekt de sluiting hoog op de wreef. Alhoewel de pumpschoen mooi is ontbreekt het koppel voor buiging tijdens de afzet zodat de hiel uit de schoen glipt. Het gevolg hiervan is dat men een kleinere -te kleinere- maat schoen neemt waarin de voet tussen neus- en hielpartij wordt ingeklemd.

Bij slippers ontbreekt de hielpartij. Om een slipper in de zwaai fase niet te verliezen moet men de tenen klauwen om grip te krijgen. Ernstig risico is, dat bij de heel strike het



Figuur 6.6A Schoen zonder wreefsluiting;

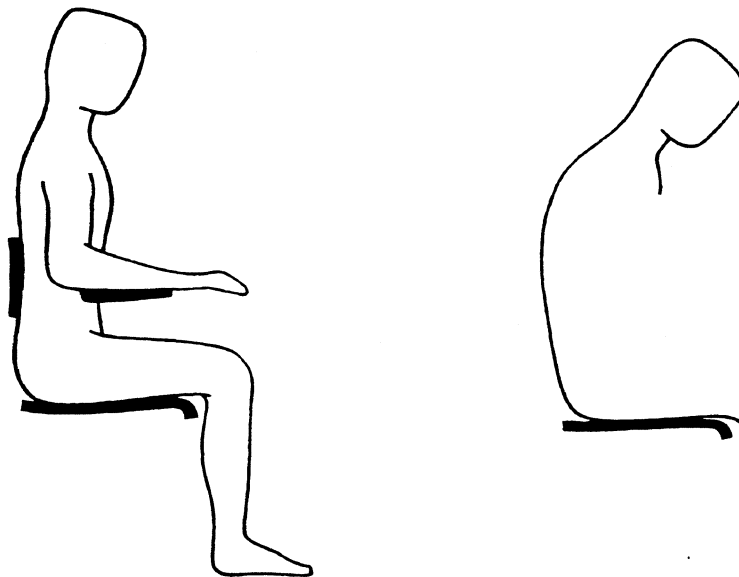
Figuur 6.6B Doordat het koppel ontbreekt om de schoen te buigen slipt de hiel uit de schoen;

Figuur 6.6C Door de grote opening O verliest men de schoen gemakkelijk. Hier is klemming noodzakelijk, zodat men in het algemeen een te kleine maat neemt.

hielbeen niet recht boven de hak van de schoen neerkomt, maar op de rand van de hak. Dit gebrek aan grip betekent risico bij o.a. traplopen en trappen op een rempedaal. Joggingschoenen worden ook gebruikt als dagelijks schoeisel. Aan biomechanische criteria wordt voldaan en bovendien kan men kiezen voor een brede schoen ter plaatse van de bal met vrije ruimte voor de tenen. Wel moet goed leer worden gekozen vanwege vocht- en warmte regulatie. Om die reden zijn ook katoenen sokken (met niet meer dan 30% à 40% kunststofvezel) of wollen sokken (voor de warmte) aan te bevelen.

6.2 Zitten

De vormgeving van een zitmeubel bepaalt in hoge mate de lichaamshouding. Een ongunstige houding kan vooral bij langdurig zitten als hinderlijk en vermoeiend worden ervaren (Oborne, 1987). Biomechanische ontwerpcriteria zijn erop gericht om te kunnen zitten met minimale spierspanning, het passief zitten. Bij het actief zitten streeft men juist naar spiergebruik, hetgeen men minder lang kan volhouden.



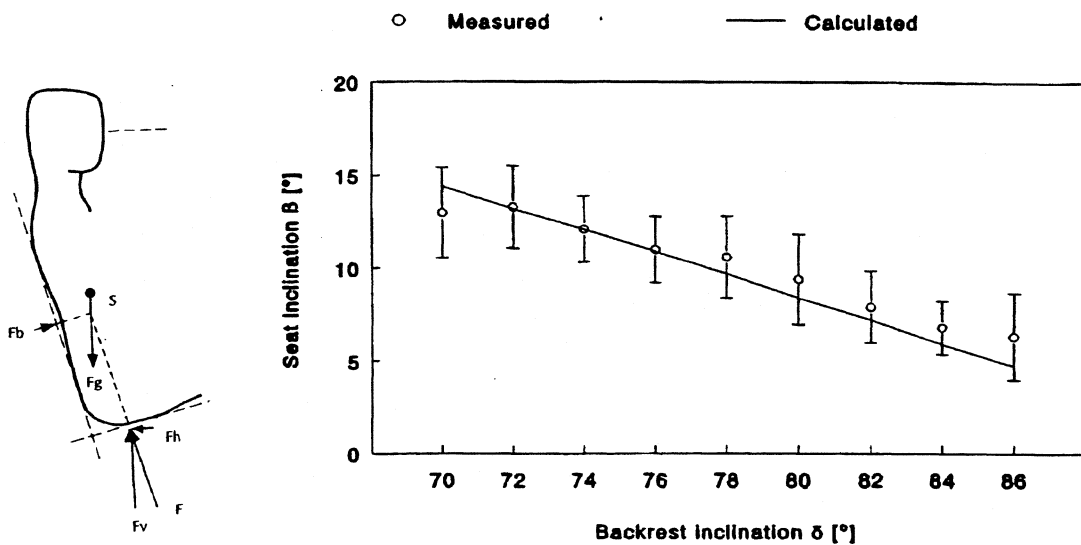
Figuur 6.7 Door de rugleuning behoudt de wervelkolom zoveel mogelijk een S-vorm en wordt stabiliteit gegeven aan de romp. Zonder rugleuning ontstaat doorgaans een ongunstige C-vorm. Dankzij de arMLEUNINGEN wordt de (nek-)wervelkolom aanzienlijk minder belast.

Het voordeel van arMLEUNINGEN is (figuur 6.7) dat daarmee de schoudergordel en wervelkolom worden ontlast. De armen vormen samen 10% van het totale lichaamsgewicht, hetgeen dus niet gering is. Bij stoelen zonder arMLEUNINGEN worden de armen al gauw op tafel gelegd, gekruist op de borst of anders in de schoot gelegd bij een ingezakte romp. Het is daarom treffend dat men in auto's doorgaans goede arMLEUNINGEN moet ontberen. Vaak ziet men de arm rusten op de rand van het portierraam en legt men de andere arm op de rugleuning van de passagiersstoel.

De rugleuning dient steun te geven aan de bovenrand van het bekken en de lendewervelkolom opdat de wervelkolom de normale s-vorm behoudt en stabiliteit wordt gegeven aan de romp. Zonder rugleuning, bijvoorbeeld zittend op een kruk (figuur 6.7B), zakt de wervelkolom door vermoeidheid altijd in een c-vorm, hetgeen ongunstig wordt geacht. De rugleuning moet aan de onderkant ruimte vrij laten voor de billen en aan de bovenkant niet hoger reiken dan tot onder de schouderbladen. Hoger is niet nodig, omdat de thoracale wervelkolom buigstijf is vanwege de ribben. Een hogere rugleuning drukt de

schouderbladen naar voren, belemmert het ter ontspanning strekken van de schouders naar achteren en verhindert het naar opzij draaien om iets te pakken. Het gevaar van de hoge rugleuning is bovendien dat de lendesteun wordt overruled waardoor toch het bekken achterover kantelt en een c-vorm ontstaat.

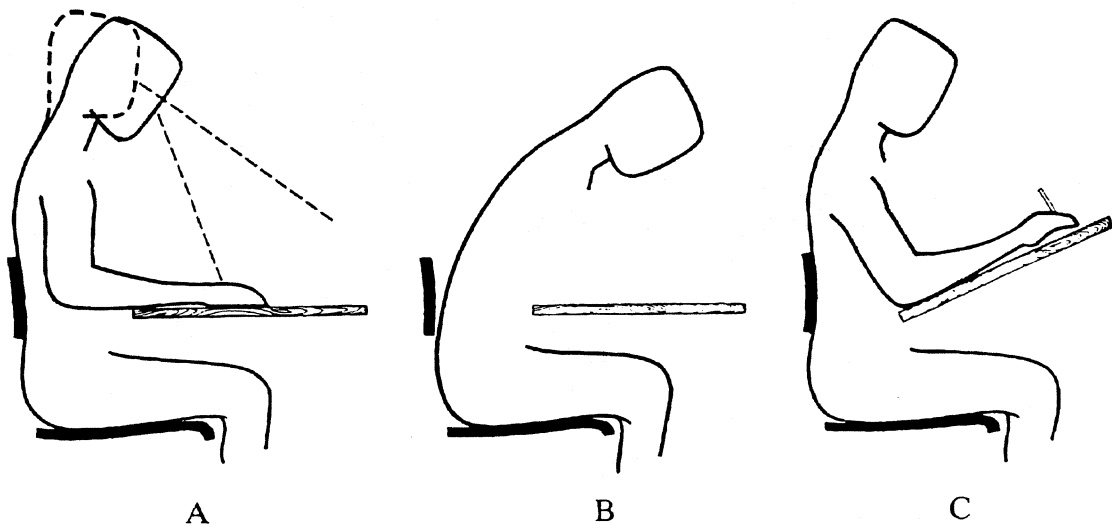
De hoogte van de zitting moet gelijk zijn aan de lengte van de onderbenen of lager, omdat anders overmatige druk ontstaat op de dijën waardoor vermoeidheid en slapende benen kunnen optreden. Ook wordt het dan moeilijker te gaan verzitten, hetgeen een essentiële eis is voor goed zitten.



Figuur 6.8A Ter voorkoming van een afschuifkracht tussen zitting en zitvlak moeten rugleuning en zitting steeds vrijwel loodrecht op elkaar staan.

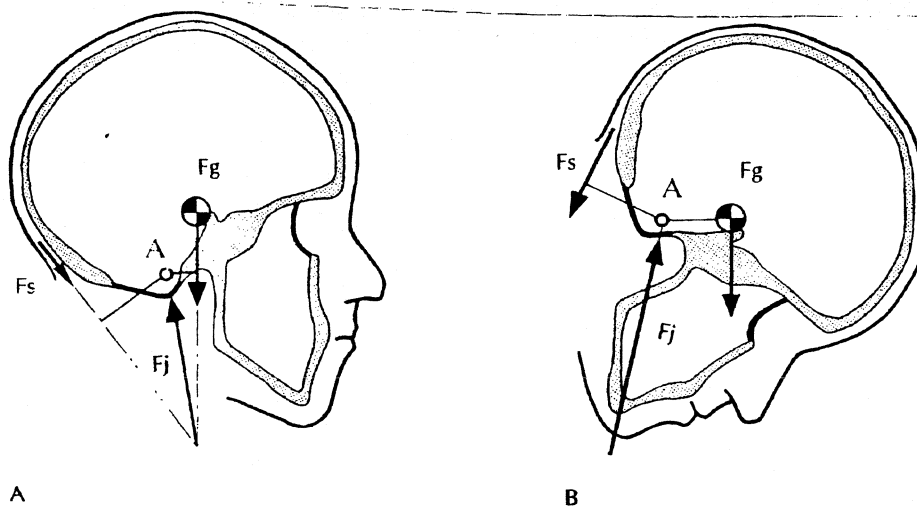
Figuur 6.8B Verband tussen stand t.o.v. de horizontaal van rugleuning en zitting waarvoor geldt dat de afschuifkracht tussen zitvlak en zitting nul is (Goossens, 1995).

Het gewicht van de romp, het hoofd en (voor een gedeelte) de armen worden vrijwel geheel gedragen door de zitbeenknobbels. Dit leidt tot het vrijlichaamsdiagram van het bovenlichaam in figuur 6.8A. De schuin staande zittingkracht kan men ontbinden in een verticale en een horizontale richting. De horizontale component is als schuifkracht voelbaar op de huid en onderliggende weefsels hetgeen na langere tijd als zeer hinderlijk wordt ervaren. Bij een gladde zitting glijdt men onderuit. Deze nadelen doen zich niet voor wanneer de zitting iets schuin staat en wel zo dat de zittingkracht loodrecht staat op de zitting. Dan is de component van de ondersteuningskracht in het vlak van de zitting nul, zodat geen glijden optreedt, al zou het vlak spiegelglad zijn. Anders gezegd, men glijdt niet gemakkelijk tegen een helling op. Kantelt de rugleuning meer naar achteren, dan komt de zittingkracht schuiner te staan zodat ook de helling van de zitting groter moet worden. Dit is te zien in de grafiek van figuur 6.8B met de conclusie, dat rugleuning en zitting ongeveer loodrecht op elkaar moeten staan (90° à 95°).



Figuur 6.9A Rechtop zitten en toch lezen vergt -gedwongen door de ogen- een hinderlijke knik in de wervelkolom; ook is de leesafstand nog te groot;
 Figuur 6.9B Daarom kromt men zich;
 Figuur 6.9C Schuin (en op een goede hoogte) stellen 'brengt het werk naar de ogen' in plaats van andersom.

Dat de lichaamshouding in grote mate wordt bepaald door de blikrichting in samenhang met het werk van de handen volgt uit figuur 6.9. Hoe ondanks een goede stoel toch een voorovergekromde houding ontstaat is als volgt te verklaren: In de ongedwongen houding volgens figuur 6.9A is bij geheven hoofd een normale blikrichting getekend, aldus kan men echter niet het schrift lezen dat op het horizontale tafelblad is gelegd. Daartoe moet het hoofd, gedwongen door de ogen, sterk worden gekanteld, waardoor als het ware een knik in de nekwervelkolom ontstaat, vlak onder het achterhoofd. Omdat zo'n knikstand maar enkele minuten kan worden volgehouden en de leesafstand bovendien groter is dan 25 à 35 cm buigen zowel kinderen als volwassenen zich altijd met een gekromde rug over de tafel. (figuur 6.9B). Goed bedoelde aansporingen om rechtop te gaan zitten kunnen dus onmogelijk effect hebben. Met een schuine lessenaar brengt men het werk naar de ogen, in plaats van andersom. Een helling van 10° heeft al gunstig effect terwijl bij die hoek papier niet van papier afglijdt. Een vrijlichaamsdiagram van het hoofd volgens figuur 6.10, in analogie met figuur 6.7 laat zien dat voorover gebogen werken gepaard gaat met veel grotere nekbelasting.



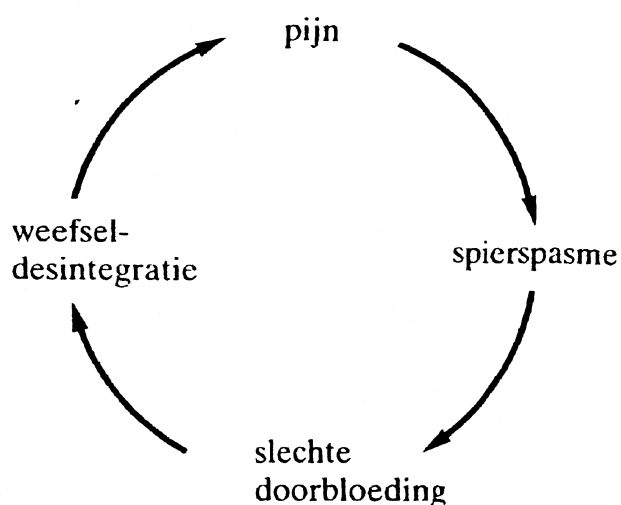
Figuur 6.10 Aanzienlijk meer belasting van spieren en ligamenten in de nek door vooroverbuigen. Kracht F_s in de nekspieren wordt ongeveer verdrievoudigd doordat de werkmarm van F_g ten opzichte van de gewrichtsas A groter wordt. F_j is de botcontactkracht in het gewricht.

In figuur 6.9A is het vrijlichaamsdiagram gegeven van het hoofd bij een blikrichting van ongeveer 15° naar beneden ten opzichte van de horizontaal. Omdat het zwaartepunt van het hoofd voor de gewrichtsas ligt is steeds spierkracht nodig om het hoofd omhoog te houden. Tijdens het voorover buigen (figuur 6.9B) neemt de hefboomarm van F_g ten opzichte van de gewrichtsas toe, zodat nog meer spierkracht nodig is (Snijders, 1991). In een langdurige gefixeerde houding kan dit leiden tot vermoeidheid, nekpijn en hoofdpijn (anteflexie hoofdpijn). Men kan dit tegengaan door het gebruik van een schuine lessenaar of door een beeldscherm te plaatsen op ooghoogte indien niet steeds naar het toetsenbord moet worden gekeken, zoals bij CAD/CAM werk (Wall, 1992)) of het gebruik van een concepthouder. In dit opzicht zijn de meeste microscopen ergonomisch gezien principieel fout ontworpen.

Draait men het hoofd naar achteren, dan komt het zwaartepunt van het hoofd boven of achter de gewrichtsas te liggen. Rust het hoofd dan tegen een hoofdsteun, dan kan men zonder spierkracht ontspannen. Veel hoofdsteunen zijn in dit opzicht volstrekt nutteloos, zo niet hinderlijk, omdat ze te ver naar voren staan, waardoor het hoofd niet ver genoeg achterover kan kantelen. Die ontwerpfout herkent men aan het knikkebollen. Men ziet dit ondermeer in treinen, waar het hoofd ook wel naar opzij wordt gelegd.

De belasting van de hals, die kan worden gezien als een vrij slanke staaf tussen hoofd en romp, is opmerkelijk waar vrouwen lasten dragen op het hoofd of waar straaljagerpiloten achterom kijkend scherpe bochten maken (Hoek van Dijke, 1993). In beide situaties moet de positie van de zwaartekracht van de last (helm) en het hoofd tezamen zoveel mogelijk in lijn liggen met de halswervelkolom.

Is een ongunstige houding door bepaald werk gefixeerd, min of meer statisch, dan wisselt de spierkracht niet en is er onvoldoende pompwerking, hetgeen kan leiden tot doorbloedingsstoornissen. Dit werkt de ophoping van afvalstoffen en weefsel-desintegratie in de hand. Het gevolg hiervan is pijn, wat leidt tot spierspasmen. Daarmee sluit zich een vicieuze cirkel, omdat zo'n spasme de oorzaak is van doorbloedingsstoornissen. (figuur 6.11). Men kan proberen de cirkel op verschillende plaatsen te doorbreken door middel van pijnstillende middelen, al dan niet via injecties, bestrijding van spasmen door de toediening van spierrelaxantia (valium) en vervolgens verbetering van de doorbloeding door warmtetraling en massage.



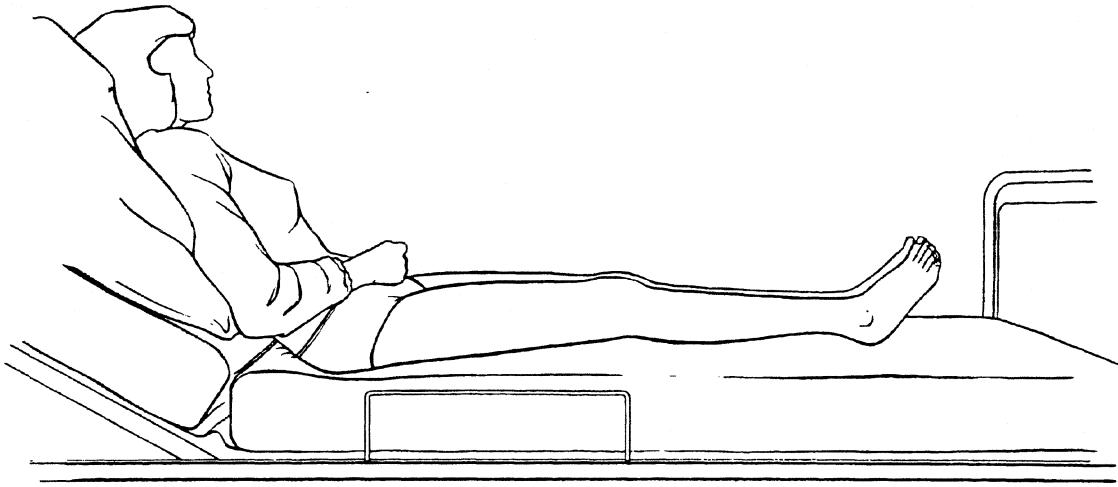
Figuur 6.11 Vicious circle

6.3 Liggen

Het bed, gezien als lichaamsondersteuningvlak waarop men langdurig volledige rust moet kunnen vinden, is een combinatie van een matras, matrasdrager en een ledikant. Er zijn drie soorten matrassen: polyether, schuimrubber en binnenvering. Er zijn zes soorten matrasdragers: spiraaldraadmat, gevlochten staal draadmat, boxspring, lattenbodem (met rechte latten, latten die een beetje bol staan of latten die bol staan en per lat kunnen kantelen), boardbodem, alsmede de eenvoudige en goedkope plankenbodem (afstand tussen de planken bij voorkeur 7 cm). Er zijn dus vele combinaties van matras en matrasdrager mogelijk, maar niet alle combinaties zijn geschikt. Aan een bed te stellen voorwaarden zijn: a. het vangt de lichaamsrondingen op, b. het blijft vlak, c. het heeft een prettige vering, d. het ventileert goed, en e. het is niet te warm of te koud. Bij a, b en c gaat het om de lichaamsondersteuning, die zodanig moet zijn dat druk op de uitstekende (bot)delen gelijkmatig wordt verdeeld, dat bij het op de rug liggen de wervelkolom de natuurlijke s-vorm behoudt en bij het op de zij liggen de wervelkolom enigszins recht blijft. De kans op een scoliotische vorm in zijligging is volgens de Stichting Vergelijkend Warenonderzoek groter bij een persoon met uitgesproken taille en een weinig bij schouder en heup inverende matras. Om dit getalmatig te kunnen beoordelen werd door deze stichting het begrip conformiteit ingevoerd: conformiteit is de inzakking van twee vierkante platen op 60 cm afstand van elkaar elk belast met 20 kg (schouder en heup), gemeten ten opzichte van een punt op de matras midden tussen beide platen. Hoe groter de inzakking, des te groter de conformiteit. In een vergelijkend onderzoek werd bij platen van 20 cm een niveau verschil van meer dan 3,5 cm als goed beoordeeld, een verschil van 2,5 à 3,5 cm als redelijk en minder dan 2,5 cm als matig. De hardheid van een ligvlak bepaalt mede de drukspanning op de huid en de onderliggende (bot)delen. Een te grote hardheid is aanleiding tot rusteloos gaan verliggen om overbelaste plaatsen met een verstoorde doorbloeding te ontlasten. Normaal wisselt men zo'n twintig maal per nacht van houding.

Voor afzonderlijke afsteuning van het hoofd is doorgaans nog een kussen nodig. De dikte van een hoofdkussen heeft bij rugligging te maken met de kromming van de rug: hoe krommer de borstwervelkolom (vooral bij oudere mensen), hoe dikker het kussen moet zijn. Bij een te dun kussen moet men immers het hoofd te ver achterover kantelen. Een te

dik kussen, of een te hard kussen dat als het ware lijkt op een kokosnoot is eveneens ongemakkelijk omdat daardoor een knik in de halswervelkolom kan ontstaan. Ook de nek moet dus steun ondervinden.



Figuur 6.12 Zitten in bed leidt tot afschuiving op onder meer het stuitbeen en de hielen. Dit is analoog aan een horizontale stoelzitting.

Zitten in een bed met een horizontale matras (figuur 6.12) heeft nadelige biomechanische aspecten. Ten eerste rust het lichaam niet op de zitbeenknobbels, maar op het verhoudingsgewijs meer drukgevoelige stuitbeen hetgeen doorliggen (decubitus) in de hand werkt. Ten tweede geldt voor deze houding het vrijlichaamsdiagram van figuur 6.8A: een horizontale zitting veroorzaakt een afschuifkracht op de huid en het daaronder liggende weefsel. De combinatie van druk en afschuiving vergroot het decubitusrisico aanzienlijk (Goossens, 1994). Ten derde geldt dat de romp, wanneer men langdurig in bed zit, langzamerhand over de kussens naar beneden glijdt, het nachthemd omhoog kruipt en ondergoed strak trekt in het kruis. Om dat tegen te gaan worden in ziekenhuizen wel dozen gezet tussen voeten en achterschot. Ook hier geldt, dat een kleine helling van de matras ter plaatse van het zitvlak problemen voorkomt die te maken hebben met afschuiving.

Bij het ontwerpen van anti-decubitusmatrassen is steeds het doel een zo groot mogelijk oppervlak van het lichaam bij het ondersteunen te betrekken. Dit vereist diep inzakken. Een waterbed is geschikt, maar vaker kiest men voor ondersteuning door lucht in kamers met regelbare druk (Holscher, 1994).

Literatuur

- Goossens RHM, Zegers R, Hoek van Dijke GA, Snijders CJ. (1994),
Influence of shear on skin oxygen tension. *Journal of Clinical Physiology*
1994;14:111-118.
- Goossens RHM, Snijders CJ. (1995),
Design criteria for the reduction of shear forces in beds and seats. *Journal of Biomechanics* 1995;28(2):225-230.
- Hoek van Dijke GA, Snijders CJ, Roosch ER, Burgers PICJ. (1993),
Analysis of biomechanical and ergonomic aspects of the cervical spine in F-16 flight situations. *Journal of Biomechanics* 1993;26(9):1017-1025.

- Holscher TG, Goossens RHM, Snijders CJ, Nieuwenhuis FJM, Joziassse F. (1994),
A new low-cost anti-decubitus mattress for home care: requirements and
development. *Journal of Rehabilitation Sciences* 1994;7(2):53-58.
- Osborne DJ. Seating and posture. In: Osborne DJ (ed.). (1987),
Ergonomics at work, second edition. John Wiley & Sons, New York, :206-221.
- Rozendal RH. (1968),
Inleiding in de kinesiologie van de mens. Stam, Culemborg.
- Snijders CJ. (1991),
Biomechanics of foot gear, hallux valgus and splay foot. In: Jahss MH (ed.). *The foot
and its disorders*, second edition. W.B. Saunders Company, Philadelphia.
- Snijders CJ, Hoek van Dijke GA, Roosch ER. (1991),
A biomechanical model for the analysis of the cervical spine in static postures.
Journal of Biomechanics 1991;24(9):783-792.
- Wall M de, Riel MPJM van, Aghina JCFM, Burdorf A, Snijders CJ. (1992),
Improving the sitting posture of CAD/CAM workers by increasing VDU monitor
working height. *Journal of Ergonomics* 1992;35(4):427-436.

7 Het hanteren van lasten

7.1 Nadere omschrijving van de product-subcategorie.

Het hanteren van lasten komt in het dagelijks leven zeer vaak voor. Het omvat het tillen, verplaatsen, duwen, trekken en vasthouden van lasten. Bijvoorbeeld het vullen en leegmaken van dozen en kisten in veilingen en fabrieken, het tillen van producten op en van lopende banden, het vullen van vakken in winkels, het tillen van patienten in ziekenhuizen en revalidatiecentra, het tillen van koffers, verhuisdozen, enz. Ook in dagelijkse huishoudelijke situaties komt veel tilarbeid voor: bij schoonmaken (tillen van emmers, stofzuigers), koken (pannen) en bij boodschappen doen.

De enorme gevarieerdheid aan fysieke bewegingen, die bij het tillen van lasten in diverse situaties door diverse personen optreden, blijkt onder meer uit de grote aantallen wetenschappelijke publicaties over arbeidshygiënische onderzoeken betreffende specifieke tiltaken. Tot voor kort hoorde het geven van tilinstructies vrijwel nergens tot het bedrijfscurriculum. Tegenwoordig wordt dergelijke begeleiding nog maar mondjesmaat gegeven, en dan nog slechts in situaties waar ernstige klachten zijn opgetreden. Toch wordt van bedrijfsgeneeskundige kant steeds meer aangedrongen op preventieve maatregelen en voorlichting. In zeer veel situaties kan door het besteden van serieuze ergonomische aandacht aan de dimensionering van te tillen producten, maar ook aan werkplekinrichting en arbeidslogistiek al een enorme reductie van vooral lage rugklachten en schouderklachten worden bewerkstelligd.

Ter oriëntatie en definiëring van het probleemgebied worden eerst enkele tilrelevante fysieke en productaspecten belicht, alsmede een kleine epidemiologie van tilklachten.

7.1.1 Fysieke aspecten

Het hanteren van lasten kan worden beschreven aan de hand van enkele fasen.

- 1 De last moet met de handen worden gepakt, hetgeen inhoudt:
 - bukken, omhoogreiken, naar voren of naar opzij reiken,
 - de vingers naar de daarvoor bestemde handvatten/grepen brengen, en
 - de handvatten/grepen vastpakken.
- 2 De last moet worden getild, hetgeen inhoudt:
 - kracht uitoefenen om de last van de ondersteuning vrij te maken, en
 - met minimaal discomfort naar draaghoogte verplaatsen.
- 3 De last moet worden verplaatst, hetgeen inhoudt:
 - lopen met de last, of
 - de last verplaatsen met een zwaaibeweging, of
 - de last naar een andere ondersteuningshoogte brengen.
- 4 Neerzetten van de last, hetgeen inhoudt:
 - 1 en 2 in omgekeerde volgorde.

Deze fasen kunnen snel in elkaar overvloeien, maar ook kan een fase lang duren (verplaatsen van de last, fase 3).

Aspecten, die naar aanleiding van deze procesboom worden onderscheiden, zijn:

- 1 Krachtdoorvoer-aspecten.

De kracht wordt geleid vanaf de vingertoppen of andere delen van de hand via de armen, schouders, romp naar het heupgewricht, en uiteindelijk via de voeten naar de vloer.

- 2 Temporele aspecten.
Het tijdsaspect komt tot uitdrukking in tijdvenster-aspecten zoals de duur van een tilbeweging en de frequentie, waarmee wordt getild, en in tijdafgeleide aspecten, zoals de dynamiek van het tillen (vlug versus langzaam tillen).
- 3 Ruimtelijke aspecten.
Het tillen kan op grote of op kleine afstand van het lichaam worden gedaan; bovendien speelt het tiltraject een rol (de begin- en eindhoogte van de tilbeweging) of de te overbruggen afstand bij langdurig meenemen.
- 4 Houdingsaspecten.
Bij het tillen van een last is enerzijds de houding van het lichaam een belangrijk gegeven. Zowel de vorm (de uitwendige maatvoering) als het gewicht van de last en de plaats van het massamiddelpunt zijn belangrijke bepalende factoren voor de houding van het lichaam. Met betrekking tot de houding van het lichaam kunnen worden onderscheiden: de strekking van de armen, voor/achteroverbuigen van de romp, rotatie van de romp, massamiddelpunt van het deel van het lichaam boven de heup ten opzichte van de voeten, buiging in de knieën, verplaatsing van de voeten, en de beschikbare werkruimte (bijvoorbeeld: kan de tiller rechtop staan?). Anderzijds is de houding van de hand een gegeven, waar bij het ontwerpen van een last rekening mee moet worden gehouden. De vorm en de locatie van een handvat of greep dienen een comfortabel grijpen te induceren.

7.1.2 Product aspecten

Tillen betreft een variëteit aan lasten. Typerende product- of lastgroepen zijn:

- Blokachtige producten (zoals verhuisdozen).
Dit type lasten wordt veelal gedragen door de handen onder de last te houden. Handvatten kunnen aangebracht zijn in de vorm van uitsparingen of grepen, in welk geval de kans bestaat dat de bewegingsvrijheid van de bovenbenen en/of de knieën wordt belemmerd.
- Zware gereedschappen (kettingzagen, drillhamers, zware slijpschijven).
Het tillen en hanteren van deze lasten gebeurt op zeer gevarieerde wijze, meestal tweehandig, met de positie van de handen binnen een "redelijk comfortabele" reikenvolop.
- Persoonlijke uitrusting (tas, rugzak). Tassen worden of met de hand gedragen, waarbij de arm gestrekt is, of over een schouder. Rugzakken steunen met een brede band op de bekkenrand, zodat de wervelkolom een minimale extra belasting ondergaat. Soms echter ontbreekt deze band en wordt het gewicht door de schouders opgevangen.
- Mensen (patiënten, kinderen).
Het tillen van patiënten is een van de zwaarste rugbelastingen uit het dagelijkse leven. In het algemeen moet ver voorover worden gebogen; bovendien zijn de lasten zwaar.
- Materiaalverplaatsers (spade, riek, kruiwagen).
Met dergelijke hulpmiddelen wordt materie verplaatst. Spitten en uitmesten zijn zware klussen, die veel van de rug vergen. Het rijden met aarde of puin gevulde kruiwagens gebeurt vaak over oneffen terrein.
- Sportartikelen (halter).
Aangezien het tillen bij bijvoorbeeld gewichtheffen het intrinsieke doel van de activiteit is, wordt in de sportwereld eigenlijk als enige plaats doelmatige instructie over tillen gegeven. Bij een juiste houding van het lichaam lijkt de belasting van de tussenwervelschijven lager dan bij het tillen van lichtere lasten als dozen met

bijvoorbeeld boeken. Dit wordt nog behandeld.

- Eigen lichaam (bijvoorbeeld bij bukken).
De mens draagt zijn eigen lichaam. Van boven naar beneden draagt elk opvolgend segment (horizontale doorsnede van het lichaam) een steeds groter wordend gewicht. Bijvoorbeeld de cervicale wervels ondersteunen het hoofd, maar de lumbale wervels het hoofd, de armen en het bovenste deel van de romp. (N.B. anatomische terminologie uit ide130 wordt bekend verondersteld). Als bovendien de romp naar voren of naar opzij is gebogen, moeten momenten rond verschillende gewrichten worden opgevangen door spierspanningen, hetgeen weer extra reactiekrachten in de desbetreffende gewrichten oproept.

7.1.3 Epidemiologie van klachten, die aan tillen zijn gerelateerd

Bij het hanteren van lasten kunnen verschillende klachten optreden, die zich zowel op korte termijn als op lange termijn manifesteren.

Korte termijn effecten van het hanteren van lasten op de gezondheid kunnen zijn:

- verwondingen,
- vermoeidheid
- acute rugklachten.

Verwondingen

Verwondingen zijn meestal snijwonden, bloeditstortingen of breuken. Zij worden in het algemeen veroorzaakt door:

- scherpe of ruwe plaatsen aan de te tillen last,
- vallende lasten,
- het worden getroffen door lasten, die buiten de aandacht liggen, zoals zwaaiende of anderszins buiten controle zijnde, bewegende lasten,
- uitglijden of vallen,
- botsen met voorwerpen, die niet werden gezien,
- krachten, welke leiden tot het scheuren van spieren of het beschadigen van gewrichten.

Vermoeidheid

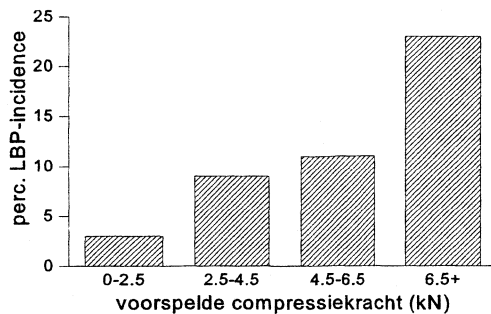
Vermoeidheid (zie ook ide 130) is een korte termijn effect, dat in het algemeen echter vlugger herstelt dan verwondingen. Symptomen van vermoeidheid zijn: snelle ademhaling, hoge hartfrequentie en spiervermoeidheid. Problemen kunnen optreden bij mensen met chronische ademhalingsproblemen met als gevolg kortademigheid, maar ook is het mogelijk dat de te hanteren last te veel op de borstkas drukt, waardoor de ademhaling wordt bemoeilijkt.

Symptomen van belasting van het cardiovasculaire systeem zijn vaak een verhoogde hartfrequentie en/of verhoogde bloeddruk. Vooral wanneer met een hoge frequentie tillende bewegingen moeten worden uitgevoerd, treden deze problemen op. In zo'n geval moet vooraf rekening worden gehouden met eventuele hartklachten.

Spiervermoeidheid is een algemeen optredend effect van tillen en andere aspecten van het hanteren van lasten. De mate van en de duur van de symptomen hangen niet alleen af van het gewicht van de last en de tilfrequentie, maar ook van persoonlijke factoren, zoals getraindheid of conditie. Een zeer veel voorkomend gevolg van spierarbeid en van discomfort op de werkplek is een toegenomen spanning van de posturale spieren (houdingsspanning) en spierpijn (accumulatie afvalstoffen). In ernstiger gevallen treden pees- of peesschedeontstekingen op.

Acute rugklachten

Acute rugklachten zijn vaak het gevolg van onverwacht zware, maar ook van onverwacht lichte lasten, van lasten die vast blijken te zitten, van klappen op de rug of van uitglijden en vallen. Acute rugklachten leiden vaak tot chronische handicaps en dienen mede hierom zeer serieus te worden genomen.



Figuur 7.1 Compressiekrachten en vóórkomen van lage rugklachten (uit Badger, 1981).

Lange termijn effecten van het hanteren van lasten kunnen zijn:

- chronische rugpijn (vaak door vermoeidheid en houdingsspanning),
- ischias (pijn in het innervatiegebied van de nervus ischiadicus, heuppijn, jicht)
- degeneratie (ontaarding) van de wervelkolom.

Een significante factor voor lage rugklachten blijkt de compressiekracht op de L5/S1-tussenwervelschijf te zijn. In figuur 7.1 is het percentage lage rugklachten (LBP, Low Back Pain)

weergegeven als functie van de (volgens een biomechanisch model) voorspelde L5/S1-compressiekracht. Beneden een belasting van 2.5 kN treedt minder dan 5% lage rugklachten op. Verhoging tot 4.5 kN geeft al een toename van 10%.

7.2 Mens-, Product-, Omgevings- en Interactiefactoren

Zoals voor de meeste productontwerpen dienen voor te tillen lasten én de hieraan inherente tilbelastingen mens-, product, omgevings- en interactiefactoren te worden meegenomen. Mensfactoren, die de kwaliteiten en kwantiteiten van menselijke capaciteiten aangeven, zowel in lichamelijk als in psychisch opzicht. Productfactoren, welke betrekking hebben op producteigenschappen, zoals massaverdeling, grootte, handvatten, enz. Omgevingsfactoren, refererend aan temperatuur, licht, lawaai, e.d. En tot slot interactiefactoren, die iets zeggen over bijvoorbeeld tilfrequentie, werkdruk en af te leggen weg.

7.2.1 Mensfactoren

1. De biomechanische benadering van het tillen.

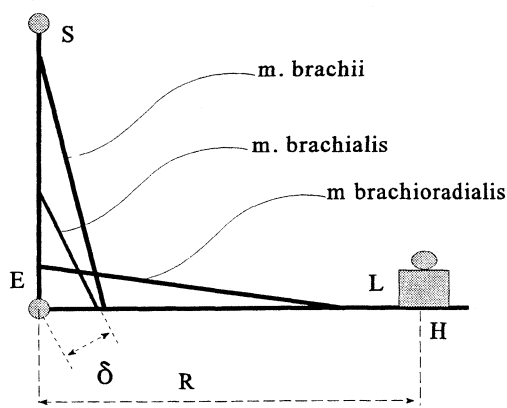
De grootste en tevens meest frequente klachten die het gevolg zijn van het hanteren van lasten, en met name van het tillen van lasten, hebben betrekking op de rug. Van deze klachten komen lage rugklachten het meeste voor. Na een korte beschouwing over krachten in elleboog en schouder zullen wij ons daarom op de rug concentreren bij de biomechanische benadering van mensfactoren. Spanningen in dit gebied worden veroorzaakt door een combinatie van het getilde gewicht en de daarvoor gebruikte houding. Zowel het getilde gewicht als de lichaamsmassa van diverse segmenten (wanneer de zwaartekracht er op werkt) wekken ten opzichte van vele gewrichten momenten op. Compenserende tegenmomenten worden meestal door de skeletspieren geleverd. Helaas zijn deze spieren zodanig gepositioneerd, dat hun werkarmen klein zijn en de op te brengen krachten groot. Voordeel is echter dat ze met kleine

contracties grote bewegingen kunnen bewerkstelligen. N.B. In deze paragraaf wordt het woord *musculus* (spier) afgekort met *m.* en in het meervoud: *mm.*

Belasting rond het ellebooggewricht

Het contact met het te tillen product vindt meestal plaats met de handen. Als we eerst kijken naar de belasting rond het ellebooggewricht (zie figuur 7.2), dan zien we, dat bij een horizontale onderarm het moment, dat het gewicht F_L van de last L uitoefent rond het gewricht gelijk is aan $M_L = F_L \cdot R_L$.

De belangrijkste buigers zijn de *m. biceps brachii*, de *m. brachialis* en de *m. brachioradialis* (de laatste heeft een sterk stabiliserende functie door bijvoorbeeld de centripetale kracht te leveren bij onderarm-rotatie). Reële waarden voor R_L en δ zijn



Figuur 7.2 Schematische voorstelling van de belangrijkste spieren, die een buiging in het ellebooggewricht bewerkstelligen. Tevens zijn enkele momentarmen weergegeven.

35 cm en 5 cm, zodat de kracht, die door de spieren moet worden opgebracht, zeven keer het gewicht van de last is. Bovendien komt daar nog het gewicht van de onderarm en van de hand bij, welke in de geschetste houding een moment uitoefenen van ongeveer $0.2 \cdot 20 = 4 \text{ Nm}$ (afstand elleboog tot massamiddelpunt $\approx 20 \text{ cm}$ en hand-armmassa $\approx 2 \text{ Kg}$). Als de last een flink gevulde koffer zou zijn (bijv. 200 N) dan wordt het moment:

$$M_L = 0.35 \cdot 200 = 70 \text{ Nm}$$

Samen dus 74 Nm. De totaal opgebrachte spierkracht moet dan, om krachtenevenwicht te krijgen, gelijk zijn aan:

$$F_s = M_L / \delta = 74 / 0.05 = 1480 \text{ N}$$

het gewicht van een lichte piano. Ongeveer deze zelfde kracht komt ook op het gewricht en het kraakbeen te staan.

Belasting rond het schoudergewricht

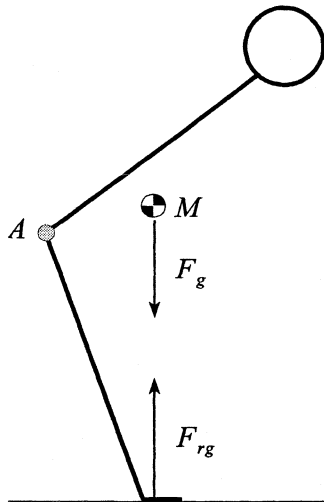
In de praktijk komt het ver naar voren reiken met een last in de hand nog erg vaak voor. Denk aan het stenen sjuwen in de bouw, het tillen van baby's, kinderen en patiënten, het tilwerk van verhuizers en, niet te vergeten, van stukadoors. Als we kijken naar de belasting van de schouder spieren, dan is de momentarm van het gewicht van de last ongeveer twee keer zo groot (ong. 63 cm) ten opzichte van de momentarm bij de elleboog. Als bijvoorbeeld een massa van 20 kg (10 kg per hand) met horizontaal gestrekte armen wordt getild, geeft dat een moment ten opzichte van het schoudergewricht van $100 \cdot 0.63 = 63 \text{ Nm}$, waar het moment van het gewicht van de arm nog bij komt: ongeveer $0.3 \cdot 35 = 10 \text{ Nm}$. Samen dus 73 Nm. Dit moment kan slechts door weinig mensen worden opgebracht.

Belasting rond het lumbo-sacrale gewricht

Bij tillen komen in de hele rug spanningen voor. De grootste belasting treedt in de lage rug op. Bovendien is het grootste deel van de diverse onderzoeken, normen en richtlijnen met betrekking tot rugklachten gebaseerd op het L5/S1- gewricht. Daarom

zal de aandacht daar vooral op worden gericht.

Aan de hand van vrij-lichaamsdiagrammen (VLD) is eenvoudig in te zien dat bij een houdingsverandering zoals vooroverbuigen een moment op L5/S1 wordt uitgeoefend. In figuur 7.3 staat iemand voorover gebogen. Ingetekend zijn de twee krachten, die door de omgeving worden uitgeoefend.



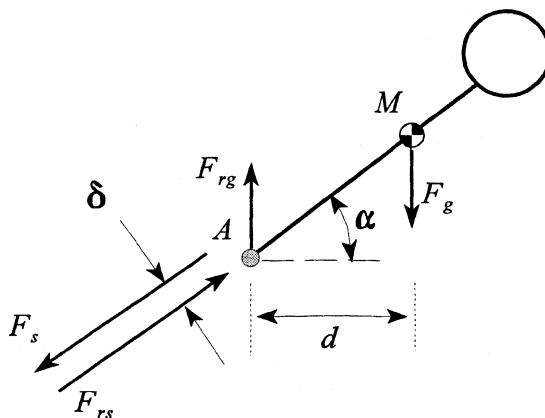
Figuur 7.3 Als het hele lichaam als een vrij lichaamsdiagram wordt gezien, werken er slechts twee krachten op: het gewicht en de vloerondersteuningskracht.

De eerste kracht is het totale lichaamsgewicht F_g , dat aangrijpt in het massamiddelpunt (M) van het lichaam. De tweede kracht, die hiermee evenwicht moet maken, is de kracht, die de grond op de voeten uitoefent (F_{rg}). Deze twee krachten hebben dezelfde werklijn, maar zijn tegengesteld gericht, zodat:

$$F_g + F_{rg} = 0$$

Aangezien hier het hele lichaam als VLD is genomen, is het hiermee onmogelijk een uitspraak te doen over krachten en momenten binnen het lichaam.

Om de belasting ter hoogte van het lumbo-sacrale gewricht L5/S1 (A) te weten te komen, beschouwen we het vrij lichaamsdiagram van dat deel van het lichaam, dat boven dit gewricht ligt. Dit is weergegeven in figuur 7.4.

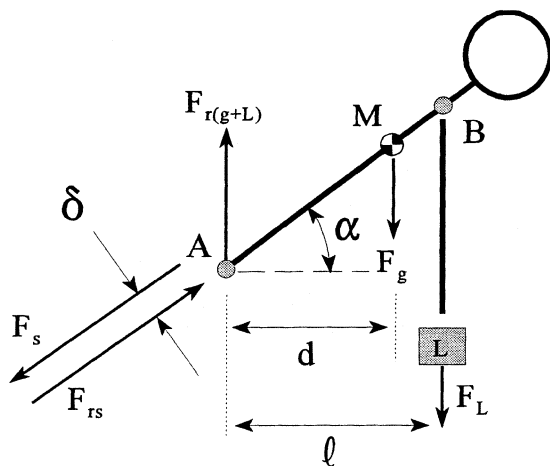


Figuur 7.4 Als het bovenlichaam als VLD wordt gekozen, kan het moment in de buurt van de onderrug worden geschat. Het moment van het gewicht van het bovenlichaam wordt gecompenseerd door een moment dat door de dorsale lumbale spieren wordt geleverd.

Nu stelt F_g het gewicht van het lichaam boven A voor, en F_{rg} is de reactiekracht, die het onderste deel op het bovenste uitoefent. Beide krachten zijn nu natuurlijk kleiner dan in figuur 7.3, en het massamiddelpunt ligt meer naar craniaal. Aangenomen wordt, dat deze krachttransmissie plaatsvindt via het L5/S1-gewricht, en met name via de tussenwervelschijf. Deze twee krachten vormen samen een rechtsdraaiend koppel. Omdat het lichaam stil staat, en dus niet roteert, is er momentevenwicht. Het benodigde tegenkoppel wordt in de betreffende doorsnede van L5/S1 geleverd. Dit bestaat uit een kracht F_s en een reactiekracht F_{rs} . Deze laatste kracht wordt overgebracht via de tussenwervelschijf. De kracht F_s kan tot stand komen door een aantal mechanismen:

1. spieren, die aan de dorsale zijde van het bekken en de wervelkolom lopen

- zoals de mm. erector spinae,
- 2. ligamenten tussen de verschillende botuitsteeksels van L5 en het sacrum,
- 3. ligamenten aan de dorsale zijde van het wervellichaam.
- 4. fascia thoracolumbalis.



Figuur 7.5 Een gewicht, dat met de handen wordt getild, zorgt voor een vergroting van het moment rond het L5/S1-gewricht. De rugspieren moeten dus een groter moment compenseren.

De krachten F_s en F_{rs} vormen samen een linksomwerkend koppel. Momenten-evenwicht levert dan:

$$F_g d = F_s \delta \quad \text{of} \quad F_s = F_g d / \delta$$

De grootte van F_s neemt toe met de verhouding d/δ . Bij rechtop staan is d erg klein of zelfs nul, en daarmee F_s . Hoe verder voorover wordt gebogen, des te groter d/δ wordt, en evenredig hiermee F_s .

Voorbeeld: laat de massa van het lichaam boven A (romp + hoofd + armen) gelijk zijn aan 40 kg, de afstand \overline{AM} gelijk aan 30 cm en de voor-achterwaartse afstand δ (geprojecteerd in het sagittale vlak) tussen het midden van de L5/S1-tussenwervelschijf en de werklijn van de rugstrekkers gelijk aan 5 cm. Als de romp

een hoek van 30° met de horizontaal maakt, dan wordt (fig. 7.4):

$$F_s = \frac{d \cos 30^\circ}{\delta} * F_g = \frac{0.3 \cos 30^\circ}{0.05} * 400 = 2080 \text{ N}$$

hetgeen het gewicht van een zware piano benadert.

Laat nu diezelfde persoon in dezelfde houding een last L met een gewicht van 200 N optillen. Dan geldt (figuur 7.5):

$$F_g d + F_L l = F_s \delta$$

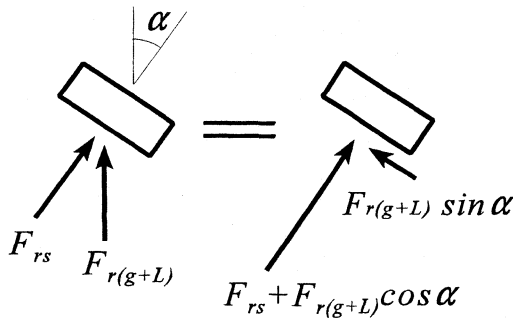
Als nu de afstand tussen A en het schoudergewricht B gelijk is aan 50 cm, wordt de grootte van F_s :

$$\begin{aligned} F_s &= \frac{F_g d + F_L l}{\delta} = \frac{F_g \cdot \overline{AM} \cos \alpha + F_L \cdot \overline{AB} \cos \alpha}{\delta} \\ &= \frac{400 * 0.3 \cos 30^\circ + 200 * 0.5 \cos 30^\circ}{0.05} = 3808 \text{ N} \end{aligned}$$

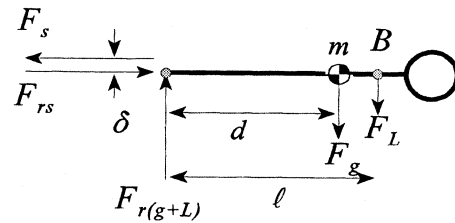
Hoe groot zijn nu de schuif- en de compressiekracht op de tussenwervelschijf? In figuur 7.6 is weergegeven hoe F_{rs} en $F_{r(g+L)}$ worden vervangen door een axiale en een radiale component, waarbij we hebben aangenomen, dat de tussenwervelschijf onder 30° met de verticaal staat.

Dan is de axiale compressiekracht gelijk aan:

$$F_{rs} + F_{r(g+L)} \cos \alpha = 5282 \text{ N}$$



Figuur 7.6 De reactiekrachten worden ontbonden in een compressie- en een afschuif-component.



Figuur 7.7 Bij ver voorover buigen wordt het moment dat het gewicht uitoefent maximaal.

en de afschuifkracht:

$$F_{r(g+L)} \sin \alpha = 300 \text{ N}$$

Als hij nog verder voorover gebogen staat, met het bovenlichaam horizontaal, dan geldt (figuur 7.7):

$$S = \frac{F_g d + F_L \ell}{\delta} = \frac{F_g \cdot \overline{AM} \cos \alpha + F_L \cdot \overline{AB} \cos \alpha}{\delta}$$

$$= \frac{400 \cdot 0.3 + 200 \cdot 0.5}{0.05} = 4400 \text{ N}$$

hetgeen te vergelijken is met het gewicht van twee zware piano's.

De invloed van de intra-abdominale druk op de stabiliteit van de romp tijdens het tillen en op de compressie van de wervelkolom

Als een zware last wordt getild spannen de buikspieren aan, waardoor de druk in de buikholtte, de intra-abdominale druk (iad) stijgt. De iad oefent op het diafragma (middenrif) een naar boven gerichte kracht uit en op de bekkenbodem een neerwaartse kracht. Door aldus de bekkenbodem en het diafragma uit elkaar te duwen werkt dit als een extensiekracht, die tijdens het tillen nodig is voor de rompstabiliteit (anders zou de romp makkelijk naar voren buigen, waardoor de rugstrekkingen nog meer zouden moeten spannen, en de compressiekrachten in de wervelkolom nog groter zouden zijn). Deze stabiliserende werking berust op het ontwikkelen van een subtiel samenspel tussen enerzijds de kracht die door de buikspieren wordt uitgeoefend en die de ribben, en daarmee het diafragma, naar beneden trekt zodat een buigend moment op de wervelkolom wordt uitgeoefend, en anderzijds de drukkracht die het diafragma naar boven duwt en daarmee een strekkend moment op de wervelkolom uitoefent.

Biomechanische criteria

Criteria voor maximale belasting van de wervelkolom betreffen 1) maximale compressiekracht van tussenwervelschijven, 2) afschuifkrachten en 3) intra-abdominale druk, en zijn voor een groot deel afkomstig van onderzoeken naar de sterkte van tussenwervelschijven en wervellichamen. De resultaten van een aantal van deze onderzoeken zijn door Jager en Luttmann (1991) gecombineerd tot een regressieformule. Zij vonden correlaties tussen de maximale compressiekracht en een aantal factoren. Het hoogst gecorreleerd is de leeftijd (A ; $r = -0.48$; 3 voor 30 jaar, 4 voor 40 jaar, enz.), waarna volgen geslacht (G ; 0 voor ♀, 1 voor ♂), dwarsdoorsnede van het wervellichaam (C ; cm^2), lumbaal niveau (L ; 0 voor S1/L5, 1 voor L5/L4, enz.) en tot slot structuur (S ; 0 voor tussenwervelschijf, 1 voor wervellichaam) welke met $r = -0.20$ is gecorreleerd. De maximale L5-compressiekracht (C in kN) kan worden afgeleid uit:

$$F_C = (7.65 + 1.18G) - (0.502 + 0.382G)A + 150 + (0.035 + 0.1276G)C - 0.176L - 0.89S \text{ kN}$$

Gemiddeld bezwijken mannelijke lendewervels bij een compressiekracht van 5700 N ($S = 2600$ N) en vrouwelijke bij 3900 N ($S = 1500$ N). Op basis van deze en van epidemiologische gegevens adviseren Mital et al. (1993) werkzaamheden zodanig te ontwerpen, dat voor mannen een maximale compressiekracht van 4000 N en voor vrouwen van 2700 N niet wordt overschreden. Men dient zich echter te realiseren, dat bij deze grenzen een aanzienlijk deel van de bevolking, en met name mensen ouder dan 60 jaar, toch nog gevaar loopt. Bovendien staat 4000 N, indien van een normale verdeling wordt uitgegaan, bij mannen voor P_{26} , en 2700 bij vrouwen voor P_{21} !!! Op het gebied van schuifkrachten in de wervelkolom zijn nog maar weinig studies verricht. Kumar (1980) toonde aan dat, in vergelijking met sagittaal tillen, asymmetrisch tillen veel belastender is in termen van activiteit van de mm. erector spinae (lange rugstrekken) en de mm. obliquus abdominus externus (buitenste schuine buikspieren), en door de intra-abdominale druk. In zulke gevallen is volgens Mital en Kromodihandju (1986) de schuifkracht wellicht kritischer dan de compressiekracht. Toch zijn er nog steeds geen ontwerpcriteria ontwikkeld met betrekking tot schuifkrachten. Alleen Farfan et al. (1970) bevelen een maximale schuifkracht van 1735 N aan.

Men dient zich te realiseren, dat de richtlijnen voor maximale compressie en schuifkracht zijn gebaseerd op eenmalige tilbewegingen en dat andere belastende factoren zoals de tilfrequentie en de totale werkduur niet zijn meegenomen. Ayoub en Mital (1989, MMH) geven een aanpassing voor het maximaal te tillen gewicht als functie van de tilfrequentie. Indien de tilfrequentie toeneemt van één keer per minuut naar twaalf keer per minuut wordt de maximaal te tillen last ongeveer evenredig verminderd met 25%.

De intra-abdominale druk is de derde factor uit de biomechanische benadering. Davis en Stubbs (1980) vonden dat bij beroepen, waar een intra-abdominale druk van 13 kPa (100 mm Hg) regelmatig wordt overschreden, significant meer lage rugklachten optraden. Zij hebben een gids (idem) samengesteld, waarin maximale tilactiviteiten zijn opgesteld zodat de intra-abdominale druk een waarde van 12 kPa (90 mm Hg) niet overschrijdt.

2. Fysiologische benadering van het tillen

De fysiologische benadering beschouwt het tillen vanuit de belasting van onder meer het hart-bloedvatstelsel en leidt hieruit richtlijnen af voor het tillen. Met name fysiologische responsies op spierarbeid zoals O_2 -opname, hartslag, bloeddruk en

melkzuuraccumulatie zijn sterk gerelateerd aan (til)arbeid en goed meetbaar (dit is al behandeld in ide130, maar wordt hier kort herhaald en op tillen toegespitst). Ook hangen deze responsies duidelijk samen met de uit te voeren taak en van omgevingsvariabelen. Bovendien variëren ze naar gelang de persoon die de taak uitvoert (ide130: belastingsgraad als percentage van de maximale individuele belastbaarheid).

Zuurstofopname en geleverd vermogen

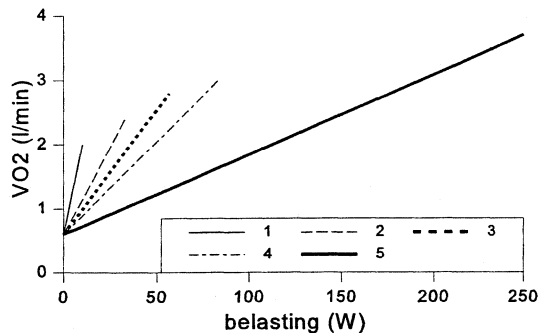
Bij het verrichten van arbeid nemen gewoonlijk de diepte en de frequentie van de ademhaling toe. Dit wordt uitgedrukt in het ademminuutvolume VE (aantal liters ingeademde lucht per minuut, Minute Ventilation). Door deze toename zijn de longen in staat meer zuurstof uit de ingeademde lucht aan het bloed af te staan. Met name bij repetitief tillen (langdurig, als voorbeeld van aërobe activiteit) is de beschikbaarheid van zuurstof een zeer belangrijke factor. Het blijkt zelfs dat, in stationaire toestand, de zuurstofopname (VO_2 in l/min) lineair samenhangt met het geleverde vermogen.

Bij een bepaalde taak is een mens niet in staat meer zuurstof te verwerken dan een bepaald maximum. Deze grens wordt de maximale zuurstofopname ($VO_{2,max}$) genoemd (zie ook ide130). Het maximaal te leveren vermogen (P_{max}) hangt dus ook samen met de $VO_{2,max}$. De waarde voor $VO_{2,max}$ varieert van ongeveer 3.5 l/min voor mensen van 20 jaar tot ongeveer 2 l/min voor mensen van 70 jaar.

$VO_{2,max}$ hangt af van verschillende factoren. Er bestaat een negatief gecorreleerd verband met de leeftijd; blijkbaar vermindert het maximaal leverbaar vermogen naarmate men ouder wordt. Men kan, slechts kijkend naar de leeftijd, dan dus ook minder lang en minder zwaar tillen. Maar er is een positieve correlatie met de lichaamslengte en -gewicht. Dit zou kunnen doen vermoeden, dat dat langere of zwaardere mensen meer of langer zouden kunnen tillen. Men dient zich echter te realiseren, dat langere mensen een hogere biomechanische belasting hebben dan kleinere. De leeftijd draagt, binnen de grenzen van 21 tot 70 jaar ongeveer 1.5 l/min bij, de lengte met ongeveer 0.3 l/min, en het gewicht ook met ongeveer 0.3 l/min. Het maximale aërobe vermogen wordt meestal vastgesteld door een proefpersoon een oefening te laten doen met opklimmende zwaarte; bijvoorbeeld op een fietsergometer. De belasting begint heel laag, waarna hij wordt opgevoerd tot aan bepaalde criteria is voldaan. Een zo'n criterium is bijvoorbeeld, dat de VO_2 niet verder toeneemt, als de belasting nog wel wordt opgevoerd. Dan begint een deel van het vermogen anaëroob geleverd te worden. Een ander criterium, dat nauw met het vorige samenhangt is een toename van de melkzuurconcentratie in het bloed. Deze grens wordt het maximale aërobe vermogen genoemd.

De samenhang tussen VO_2 en het uitwendig geleverde vermogen of krachtsinspanning hangt af van omstandigheden zoals wat voor type arbeid geleverd wordt (tillen, fietsen, schoonmaken), de wijze van arbeid leveren (inzet ledenketting; tilhoogte, -traject), en de dynamiek van het proces (snelheid, frequentie). In fig 7.9 (naar Petrofsky en Lind, 1978) is hier een voorbeeld van gegeven. In een experiment werden de werkbelasting (in watt) en het VO_2 (in liters/minuut) gemeten. De curves 1 t/m 4 hebben betrekking op tillen van lasten van respectievelijk 0.9, 6.8, 22.7 en 36.4 kg. Teneinde een vergelijkbaar extern geleverd vermogen te krijgen, werd elke last met verschillende frequenties getild. Iedere curve geeft het VO_2 als functie van het (uitwendig) geleverde vermogen. De vijfde curve geeft (als vergelijk) het VO_2 als functie van het geleverde vermogen op een fietsergometer. De eindpunten van de curves geven de hoogste waarden van VO_2 voor de verschillende belastingen. Duidelijk is te zien dat de hoogste O_2 -opname bij het fietsen werd gevonden ($VO_{2,max}$),

maar dat bij een bepaald extern geleverd vermogen meer O_2 werd vereist bij het tillen dan bij het fietsen.



Figuur 7.9 Zuurstofopname (in l/min) voor vier tiltaken (zie tekst) en fietsergometer (rechts, getrokken lijn). Van links naar rechts gelden de vier lijnen voor het tillen van een steeds zwaarder gewicht (9 tot 364N). Bij deze tiltaken wordt duidelijk het maximaal aërobe vermogen (gemeten met de fietsergometer) niet gehaald. Bij lagere gewichten is de frequentie verhoogd om vergelijkbare uitwendige belasting te krijgen in vergelijking met de hogere gewichten. Waarschijnlijk komt de hogere VO_2 tot stand door het feit, dat ook arbeid moet worden verricht om het lichaam zelf te tillen. In het bronartikel wordt hier niet op ingegaan (Petrofsky en Lind, 1978).

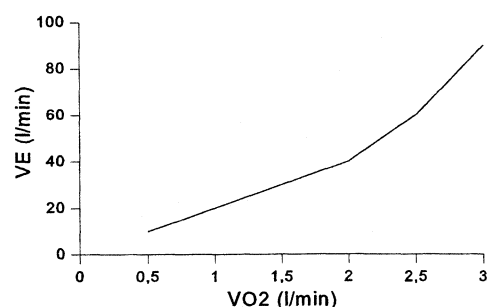
Dynamische, isometrische en semi-dynamische activiteiten

Met betrekking tot de mechanische arbeid, die gedurende de tilactie wordt verricht, kunnen drie typen spiercontracties worden onderscheiden: isometrische, concentrische en excentrische contractie. Een dynamische activiteit is een activiteit, waarbij de lengte van de spieren wordt veranderd, concentrisch of excentrisch (concentrisch: de spierlengte wordt kleiner; excentrisch: de spierlengte wordt groter). Hierbij verrichten de spieren positieve of negatieve mechanische arbeid. Bij een isometrische contractie daarentegen verandert de lengte niet bij contractie en wordt de spier dus aangespannen zonder uitwendig mechanische arbeid te verrichten.

Voorbeelden van een dynamische contractie: lopen, rennen, fietsen, of het met een hoge frequentie optillen of laten zakken van lasten.

Voorbeelden van een isometrische contractie: het dragen van dozen en koffers, het voorover gebogen staan, of het vasthouden van een tang.

Veel activiteiten bevatten zowel dynamische als isometrische componenten, en worden semi-dynamisch genoemd. Bijv.: het niet te vlug tillen/verplaatsen van lasten.



Figuur 7.10 Tot aan 40 tot 60% van $VO_{2,max}$ voor een bepaalde taak neemt VE lineair toe met VO_2 . Daarboven neemt VE vlugger toe (naar Ayoub en Mital, 1989).

Dynamische activiteiten

Bij typerende dynamische activiteiten hangen het ademminuutvolume (VE) en de zuurstofopname (VO_2) af van, of bepalen, het geleverd vermogen. Tot de VO_2 -grens van 40 tot 60% van $VO_{2,max}$ neemt VE ongeveer evenredig toe met het geleverd vermogen. Boven deze grens stijgt VE sterker dan het, in VO_2

uitgedrukte, geleverde vermogen (figuur 7.10), hetgeen samenhangt met de meer dan evenredige toename van de behoefte aan zuurstof voor het metabolisme. Dit hangt onder meer samen met de bij anaërobe energieproductie optredende melkzuurproductie in het geval van hoge fysieke arbeidsprestaties.

Isometrische activiteiten (zie ook ide130)

Bij een isometrische activiteit verandert de spierlengte niet tijdens contractie, en wordt er geen uitwendige mechanische arbeid geleverd. Maar de spieren hebben toch behoefte aan voedingsstoffen en gebruiken, als het beschikbaar is, zuurstof. Warmte en afvalstoffen (CO₂, water, melkzuur) worden gevormd en moeten worden afgevoerd. Fysiologische reacties op isometrische contractie zijn verschillend van de reacties op dynamische contractie. Vermoeidheid bijvoorbeeld, treedt reeds op bij 15 tot 20% van maximale vrijwillige contractie (Åstrand en Rodahl, 1977), terwijl dit bij dynamische contractie pas bij 40 tot 60% van VO_{2max} gebeurt (zie boven). In het geval van bijvoorbeeld verhuizers kan vaak worden gesproken van een min of meer isometrische activiteit, als zware dozen en meubels over een langere afstand moeten worden verplaatst. Maar ook als een gereedschap langdurig in een bepaalde positie moet worden gehouden (zoals bij het werken boven schouderhoogte: witten, stucadoors, liggend werken onder een auto) kan van een zware isometrische activiteit worden gesproken.

Semi-dynamische activiteiten

Bij semi-dynamische activiteiten worden de fysiologische reacties van de isometrische component opgeteld bij die van de dynamische activiteit. Bij tiltaken is de isometrische component in het algemeen tamelijk groot, afhankelijk van de tilhoogte en de uitgangshoogte.

Fysiologische reacties op het tillen

De fysiologische benadering van het tillen richt zich op hiervoor beschreven grootheden zoals hartfrequentie bij hogere tilfrequenties en bij verschillende tilgewichten. Dit in tegenstelling tot de biomechanische benadering, die eigenlijk slechts zinvol is tot een frequentie van vier tilbewegingen per minuut (Ayoub en Mital, 1989, pag. 99). De fysiologische benadering gaat er van uit dat het te tillen gewicht binnen biomechanisch veilige grenzen en onder de maximale fysieke tilkracht van de tiller ligt, maar dat door de hogere tilfrequentie fysiologische responsies optreden, die het tillen gaan bemoeilijken door bijvoorbeeld vermoeidheid. Gedurende dergelijke belastingen wordt het tillend vermogen van de tillende persoon voornamelijk beperkt door de capaciteit van het zuurstof-transportstelsel. Als spieren langere tijd actief zijn, vraagt het toegenomen metabolisme een verhoogde aanvoer van zuurstof en voedingsstoffen. Bovendien treedt accumulatie van afvalstoffen op (melkzuuraccumulatie). Voor tiltaken zijn echter het energieverbruik en de hartfrequentie de meest onderzochte grootheden om fysiologische grenzen voor tilarbeid vast te leggen.

Fysiologische vermoeidheid

Iedereen heeft zijn grenzen voor de zwaarte van een inspanning, voor de te leveren hoeveelheid arbeid en voor de lengte van de werktijd. Worden deze grenzen overschreden, dan treedt vermoeidheid op, ofwel een vermindering van taakuitvoering. Bij het tillen van lasten worden spieren aangespannen. Vermoeidheid in spieren hangt samen met onder meer accumulatie van melkzuur, verlaging van concentraties aan

ATP, hoog-energetische fosfaten en spierglycogeen, en met een tekort aan zuurstof, dat via het bloedvatstelsel wordt aangeleverd.

Bij aëroob verrichtte arbeid wordt zuurstof gebruikt om ADP weer om te zetten in ATP. Dit proces levert veel meer ATP op dan in het geval van anäroob verrichtte arbeid (factor 20). Bij een tekort aan zuurstof wordt bovendien melkzuur gevormd, hetgeen in de spieren ophoopt en nog lange tijd nodig heeft om te worden afgevoerd en te worden omgezet in nieuwe brandstof. Na een korte, maar hevige inspanning (dus anäroob) is in de spieren geen energiebron meer aanwezig om substantieel te kunnen contraheren. Dit heeft een noodzakelijke hersteltijd tot gevolg. Zie verder: ide130.

Fysieke fitheid om te kunnen tillen

Tegenover een beschrijving van de grenzen voor fysieke vermoeidheid staat het fysieke vermogen dat iemand kan opbrengen om te tillen. Met andere woorden, welk vermogen kan iemand opbrengen gedurende bijvoorbeeld een werk- (of vrije) dag, maar ook gedurende situaties van urgentie. Dit vermogen hangt af van verschillende grootheden, waaraan in de vorige paragrafen reeds is gerefereerd. Gewoonlijk worden twee typen fysiek vermogen onderscheiden: aëroob en anäroob.

Volgend Åstrand en Rodahl (1977, pag. 451) hangt het fysieke vermogen af van een complex aan factoren, waaronder:

- aard van het werk: intensiteit, duur, techniek, houding, ritme en werkschema;
- somatische factoren: leeftijd, geslacht, lichaamsafmetingen, constitutie en gezondheid;
- training en adaptatie;
- omgevingsfactoren: temperatuur, lawaai, hoogte.

Dergelijke factoren determineren samen de individuele capaciteit om brandstof en zuurstof op te nemen, op te slaan en te gebruiken, en daarmee het niveau van fysiek vermogen om arbeid te verrichten. Het criterium is dus weer $VO_{2,max}$. Aangezien $VO_{2,max}$ sterk varieert van persoon tot persoon, kan een bepaalde taak voor de één relatief licht zijn, maar voor iemand anders zeer zwaar. Bijvoorbeeld: twee mensen voeren dezelfde tiltaak uit, die een O_2 -vermogen vraagt van 2 l/min. De eerste werkt op $\frac{1}{3}$ van zijn maximale aërobe vermogen en kan deze taak dus in principe de hele werkdag volhouden zonder vermoeid te worden. De tweede doet een beroep op zijn volledige aërobe vermogen, en kan dit daarom slechts enkele minuten volhouden. Het moge dus duidelijk zijn dat de zwaarte van een taak ook moet worden uitgedrukt als percentage van het individuele $VO_{2,max}$. Bovendien is statische spierarbeid veel minder gerelateerd aan VO_2 , terwijl andere aspecten zoals fysieke belasting van pezen en ligamenten, en warmtebelasting al helemaal geen verband te zien geven.

Nu is het dus zaak voor verschillende typen arbeid te weten te komen welk vermogen hiervoor wordt gevraagd. In zeer globale termen geven Åstrand en Rodahl (1977,p454,462) voor diverse activiteiten het vereiste vermogen (figuur 7.11).

De zwaarte van werk, zoals uit figuur 7.11 volgt, heeft betrekking op de fysiologische inspanning. Zo is bijvoorbeeld het met een last van 15 kg de trap op lopen zwaarder dan een last van 50 kg tillen en dragen. Bedenk echter, dat de biomechanische belasting, zoals in de vorige paragraaf werd beschreven, de beperkende factor kan zijn. Als het werk zo zwaar wordt dat het lichaam niet meer in staat is voldoende O_2 aan te voeren, begint melkzuur zich in de spieren op te hopen, dat door het bloedcirculatiesysteem moet worden afgevoerd. Kennelijk worden nu anäerobe processen voor de energieleverantie aangesproken. De "anäerobe drempel" (AT, Anaerobic Threshold) is gedefinieerd als dat vermogen, waar melkzuur zich in de bloedbaan begint te

accumuleren (Ayoub en Mital,1989). Beneden de AT kan het werk dus langere tijd worden volgehouden, zodat het ook een maximale aërobe drempel is.

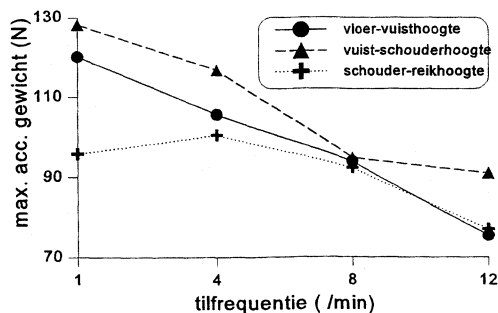
type activiteit	P(VO_2 , l/min)	P (in Watt) op basis van vergelijking met fietsergometrie
wandelen (5 km/uur) licht werk in huis	0.9	50
bedden opdekken	1	70
tillen en dragen, 10-22 kg	1.2	85
duwen van kruiwagen	1.4	100
tillen en dragen, 22-32 kg	1.6	110
tillen en dragen, 32-42 kg	2	140
fietsen (21 km/uur) traplopen hout hakken	2.1	150
tillen en dragen, 42-50 kg	2.3	160
traplopen met last van 15 kg hardlopen (13 km/uur)	3.5	250
wedstrijdhardlopen, wedstrijdzwemmen, enz voor vrouwen	4.2	300
wedstrijdhardlopen, wedstrijdzwemmen, enz voor mannen	5.0	350

Figuur 7.11 Diverse activiteiten met vereiste vermogen.

3. De psychofysiologische benadering van het tillen

De derde benadering om criteria voor tilrichtlijnen vast te kunnen stellen is de psychofysiologische benadering. Volgens Ayoub en Mital (MMH,1989) zijn criteria op basis van deze benadering het meest van toepassing hiervoor. Bij taken in psychofysiologische tilonderzoeken wordt een proefpersoon gevraagd het te tillen gewicht zodanig te kiezen of in te stellen tot het maximum van hun kunnen, maar onder de voorwaarde dat zij inschatten de taak gedurende een bepaalde tijd te kunnen volhouden zonder dat buitensporige vermoeidheid, krachtinspanning, oververhitting, e.d. optreden. Het psychofysiologische criterium is dus een maat voor de subjectief beleefde spanning. De uiteindelijke belasting, zoals vastgesteld door de proefpersoon, is dan de maximaal acceptabele belasting.

Het psychofysiologische ontwerpcriterium voor tillen gaat er van uit dat in een tiltaak zowel biomechanische als fysiologische spanningen aanwezig zijn, en dat deze spanningen leiden tot de subjectief waargenomen stress. Deze relatie is door Ayoub en Karwowski (1984) met behulp van de fuzzy set theorie gekwantificeerd en gevalideerd.



Figuur 7.12 Tilfrequentie mannen voor één gewicht en één formaat last

Als voorbeeld van een psychofysiologisch onderzoek kan het onderzoek van Mital (1984) dienen. Hij liet mannen en vrouwen lasten tillen. Onder controle van de experimentator waren onder meer tilhoogte, tilfrequentie, dimensies van de last en gewicht. De, vrijwillige en terdege op het experiment voorbereide, proefpersonen werd gevraagd zich voor te stellen dat zij bezig waren een acht-urige werkdag te vervullen. Vervolgens moesten zij het gewicht van de te tillen

last zodanig maximaliseren, dat zij voelden dat het tillen op comfortabele wijze, zonder erg moe te worden, gedurende de werktijd zou kunnen worden volgehouden. Drie verschillende tilhoogtes werden gebruikt. Eerst vanaf de grond tot aan vuisthoogte, dan vanaf vuisthoogte tot aan schouderhoogte, en tot slot van schouderhoogte tot aan reikhoogte. Het experiment zelf duurde 20 tot 25 minuten per onderdeel. Verder werden tijdens deze inspanningstest VO_2 en hartslag gemeten. De resultaten zijn samengevat in figuur 7.12. Duidelijk is te zien, dat het maximaal acceptabele gewicht (voor langdurig tillen) afhangt van frequentie en tiltraject.

Conclusie

Deze paragraaf geeft, gezien vanuit het perspectief van menselijke capaciteiten, enig inzicht in achtergronden, die een rol spelen bij het tot stand komen van normen voor het tillen en verplaatsen van lasten. Het is zeker geen uitputtende verhandeling. Daarvoor wordt verwezen naar onder meer de inleiding tot deze materie door Ayoub en Mital (1989). Bovendien worden hierin vele referenties gegeven.

Voor biomechanische beschouwingen omtrent gewrichten, en vooral over het lumbale deel van de wervelkolom wordt Nordin en Frankel (1989) aanbevolen. Biomechanica van het tillen, alsmede beroepsmatige risico's, meetmethoden en aanbevelingen kunnen worden gevonden in Chaffin en Andersson (1984).

Zoekt men een beschouwing over de fysiologie van het tillen, dan bestudere men Åstrand en Rodahl (1977). Dit werk is eigenlijk een verhandeling over inspanningsfysiologie in het algemeen, maar het besteedt ruime aandacht aan het tillen. Over de psychofysiologische benadering van het tillen is voornamelijk gepubliceerd in de vorm van artikelen in tijdschriften. Een goed uitgangspunt is weer het standaardwerk van Ayoub en Mital (1989).

Tot slot nog de aandacht voor een boek, samengesteld door "The Ergonomics Group" van Eastman Kodak Company (Rodgers et al., 1983, part 2), waarin een schat aan concrete gegevens uit en voor de praktijk wordt gegeven, maar ook vele experimentele onderzoeksmethoden zijn beschreven.

7.2.2 Productfactoren

Aan de te tillen last zijn drie relevante aspecten te onderscheiden:

1. de omvang van de last,
2. de vorm van de last,
3. de aanwezigheid, de vorm en de plaats van handvatten.

Omvang van de last

De omvang van een last omvat drie ruimtelijke dimensies: lengte, diepte en hoogte. In aansluiting op Ayoub en Mital (1989) is de lengte (l) de dimensie van de last in sagittale richting, de breedte (b) in transversale richting, en de hoogte de dimensie in verticale richting.

In een onderzoek van Mital en Ayoub (1981) bleek de hoogte van de last geen invloed te hebben op de verbruikte energie. Overwegingen omtrent de hoogte van een last refereren aan praktisch-ergonomische zaken zoals bijvoorbeeld de armlengte in relatie tot het zicht.

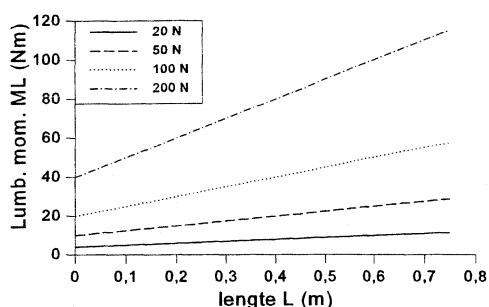
Veranderingen in de breedte en de lengte van een last hebben echter wel gevolg. Bij een toename van deze maten verhogen het energieverbruik en de belasting van de wervelkolom, terwijl het maximaal geaccepteerde gewicht vermindert.

Tichauer (1973) heeft een model ontwikkeld om een indicatie te krijgen voor het opgewekte moment (M_L in Nm) in de lumbale wervelkolom bij een bepaald gewicht

(W in N) van de last en een bepaalde lastlengte (L in m):

$$M_L = W \cdot \left(\frac{L}{2} + 0.20 \right)$$

Voor enkele gewichten (20, 50, 100 en 200 N) is in figuur 7.13 het lumbale moment (L5/S1) M_L weergegeven als functie van de lengte. In deze figuur is te zien dat een klein



Figuur 7.13 Het lumbale moment als functie van gewicht en sagittale dimensie van de last, berekend volgens de formule van Tichauer(1973).

gewicht een groter moment kan uitoefenen dan een groot gewicht met een kleinere lengte. Het is dus zaak te streven naar minimalisering van de dimensies van de last door deze zo compact mogelijk te ontwerpen.

Als een last erg groot is, worden vaak zwakkere, voor het doel minder geschikte, spieren ingezet, zodat van een optimale spierinzet geen sprake meer is. In een psycho-fysiologische studie van Ciriello en Snook (1978) resulteerde een toename van de tilfrequentie van 1 min^{-1} tot 6 min^{-1} in 15% reductie van het acceptabele gewicht.

Vorm van de last

Over de vorm van een last in relatie tot tilgrenzen is zeer weinig onderzoek gedaan. Ayoub en Mital (1989) vonden dat in een vervormbare tas-achtige vorm 10% meer gewicht kan worden gedragen dan een in doosvorm. Als er vloeistoffen moeten worden verplaatst gaven proefpersonen de voorkeur aan cilindrische containers.

Handvatten

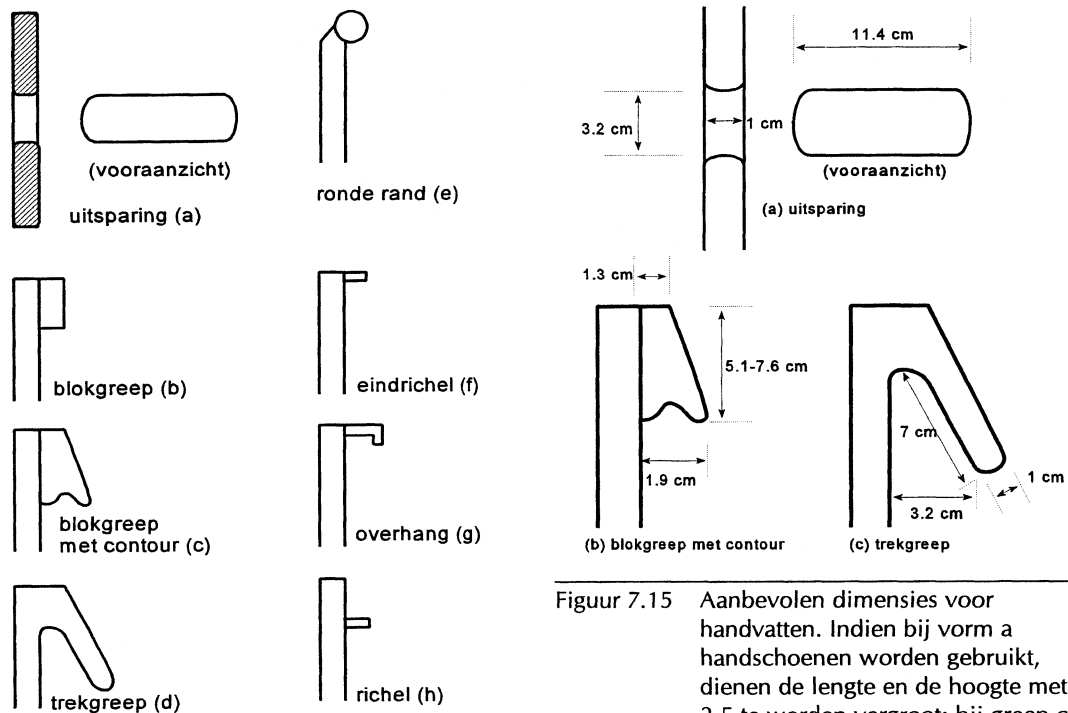
Om het tillen, dragen en neerzetten van een last te vergemakkelijken kunnen handvatten worden aangebracht (zie ook ide130). Gebeurt dit niet, dan moet men dieper bukken om de last op te pakken en neer te zetten (als de last op de grond staat). Ook is de efficiëntie van de krachtoefening lager, omdat bijvoorbeeld schuifkrachten moeten worden opgevangen door grotere normaalkrachten, zodat meer spierinzet en -arbeid wordt vereist. Het is gebleken dat na het aanbrengen van handvatten aan dozen of kisten, die van de grond moesten worden getild, het maximaal acceptabele gewicht met 10% was toegenomen en het metabole energieverbruik met 10% was afgenomen (Mital en Ayoub (1981a); Garg en Saxena (1980)). Dit laatste is ook gevolg van het feit dat men met handvatten minder diep hoeft te bukken bij tillen en neerzetten.

De aanwezigheid van handvatten voorziet ook in een meer stabiele interface met de tiller, omdat de kracht (nodig om de last te kunnen vasthouden) gereduceerd wordt. In figuur 7.14 zijn enkele greepvormen weergegeven, die als handvat voor een doosvormige last kunnen dienen (Rodgers et al., 1989).

Deze vormen zijn onderzocht op comfort bij het tillen (Nielsen, 1987). Uit dit onderzoek bleek dat de linker vier vormen de voorkeur verdienen boven de rechter vier. Bij de vormen a en d wordt de hand als een soort haak gebruikt. De krachtoverdracht vindt hierbij plaats via de proximale vingerkootjes. Bij de vormen b en c gebeurt dit via de vingertoppen of de distale kootjes. De vormen e, f en h vereisen een "pinch"-greep (vinger-knijpgreep) en vorm g oefent een hoge lokale druk uit op de vingers, die als oncomfortabel of zelfs als pijnlijk wordt ervaren. Als er hoog moet

worden getild verdient c de voorkeur boven b, omdat deze vorm een betere grip verschaft. Voor hoge tilbewegingen (hoger dan de schouder) zijn a en vooral d minder geschikt dan b en c. Met name de richelvorm h werd als slecht beoordeeld, omdat de pols tijdens het tillen moet worden gerooteerd, terwijl de vingers een grote knijpkracht ("pinch") moeten uitoefenen.

Voor algemeen gebruik kwam de blokgreep met contour (c) als beste naar voren. Nielsen (1978) adviseert de drie beste grepen te dimensioneren als weergegeven in figuur 7.15.



Figuur 7.14 Enkele greepvormen, die in de praktijk worden gebruikt bij het tillen van diverse lasten (Rodgers, 1986, pag. 365)

Figuur 7.15 Aanbevolen dimensies voor handvatten. Indien bij vorm a handschoenen worden gebruikt, dienen de lengte en de hoogte met 2.5 te worden vergroot; bij greep c moet dan de helling iets(?) flauwer zijn en de onderste dimensie ongeveer 1 cm groter. Bij greep b dient de onderkant een vloeiend verloop te hebben om discomfort aan de vingertoppen te voorkomen. De hoogte van de blokgreep mag niet groter zijn dan 7.6 cm, zodat de grijpkracht voor mensen met kleine handen niet wordt gereduceerd. (Rodgers, 1986, Nielsen, 1978)

Bovendien geeft hij de volgende richtlijnen:

- aan beide zijden van de last dienen grepen te worden aangebracht;
- Voor tilhoogten lager dan 1 meter dienen uitsparingen in de last (a) of trekgrepen (d) te worden aangebracht;
- boven 1 meter dient een blokgreep te worden gebruikt;
- zorg dat ten behoeve van de duimoppositie minstens 1.3 cm beschikbaar is;
- teneinde wegglijden van de vingers te voorkomen, dient het contactvlak van niet-slijpend materiaal te worden vervaardigd, eventueel voorzien van textuur;
- het oppervlak dient van een contour te worden voorzien en over 1 cm (in dwarsdoorsnede) met de vingers contact te maken;
- vermijdt scherpe randen;
- breng de handvatten aan ter hoogte van het massamiddelpunt van de beladen

- container of iets hoger;
- laat handvatten opvallen (bijvoorbeeld door kleur).

7.2.3 Omgevingsfactoren

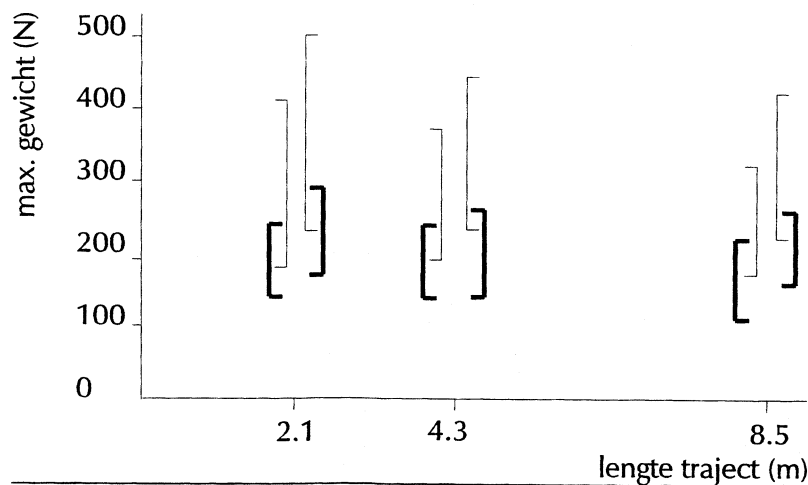
Ruimtelijke beperkingen

Als iemand niet rechtop kan staan en lopen, moet hij dus met gebogen rug lopen. Voor langere duur is dit zeker onacceptabel. Bovendien blijkt door het werken onder dergelijke beperkingen de intra-abdominale druk te worden verhoogd (Ridd, 1983). Voor kortdurende tilbelastingen dient per graad buiging van de romp het gewicht van de last met 1% te worden verminderd (Ridd, 1991).

Wanneer een last door een smalle gang moet worden gedragen, neemt het maximaal acceptabele tilgewicht (MAWL, maximal acceptable weight of load) ook af. Mital (1986) vond een afname van 13% bij een passage van 56cm breedte. De reden voor deze afname lag onder meer in de heroriëntering van de last (anders vasthouden) en in het feit dat men voorzichtiger en langzamer bewoog.

Loopafstand en helling van de loopweg

Uit een psychofysiologisch onderzoek bleek dat het MAWL afhangt van de te lopen afstand. Bij een toename van de loopafstand blijkt het MAWL af te nemen (Snook, 1978). Dit blijkt uit figuur 7.16, welke is samengesteld aan de hand van gegevens van Snook (1978). Horizontaal is de af te leggen afstand weergegeven, en verticaal te MAWL. De lijnen stellen het traject voor hoogfrequent en laagfrequent tillen. Voor de afstand van 2.1 m is de hoogfrequente tilbeweging een keer per zes seconden; voor de afstanden 4.3 en 8.5 m eens per tien, resp. en eens per 18 seconden. Verder stellen de linker lijnen een grotere tilhoogte weer en de rechter een lagere tilhoogte (zie bijschrift).



Figuur 7.16 De maximaal acceptabele last hangt af van het af te leggen traject. Vooral voor mannen (dunne lijnen) treedt een vermindering op. Voor vrouwen (dikke lijnen) blijkt de afname kleiner te zijn. Zowel bij mannen als bij vrouwen blijkt de afname het sterkst te zijn gedurende de eerste vijf meter. De linker lijnen zijn voor tilhoogte van 111 cm en 105 cm (resp. voor mannen en vrouwen). De rechter lijnen zijn voor een tilhoogte van 79 cm en 72 cm respectievelijk. Deze grafiek geeft de gemiddelden weer. De werkelijke spreiding is groter. Daarvoor wordt verwezen naar het bronartikel. (Grafiek is samengesteld aan de hand van gegevens uit Snook, 1978).

Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

Het werken onder warmtebelasting (hoge luchttemperatuur en stralingswarmte) heeft invloed op het welbevinden. Dergelijke omstandigheden gaan vaak gepaard met een hoge luchtvochtigheid. Bij milde belasting voelt men zowel fysiek als psychisch discomfort, hetgeen resulteert in gereduceerde werkprestaties. Ook blijken onder dergelijke omstandigheden vaker ongelukken op te treden (diverse referenties in Ayoub en Mital, 1989).

Fysiologische gevolgen zijn: een snellere hartslag en een verhoging van de lichaamstemperatuur. Deze effecten blijken bij mannen iets sterker te zijn dan bij vrouwen. Bovendien blijken vrouwen het werken in dergelijke omstandigheden langer vol te houden dan mannen (Shapiro et al., 1980). Snook en Ceriello (1974) vonden bij een temperatuur-verandering van 17.2°C naar 27°C een afname van de MAWL van 20%. Bij het werken en tillen in koude kunnen handblessures worden gereduceerd door het dragen van handschoenen. Men dient dan wel rekening te houden met een verlaagde gripstabiliteit. Ook blijkt de werkduur in koude omstandigheden af te nemen met de leeftijd. Ayoub en Mital (1989) adviseren een grens van 40% van de totale werkduur. Onder deze grens zou geen onacceptabel risico of discomfort optreden. Deze grens kan worden verhoogd door een toename van fysieke inspanning.

Lawaai, verlichting en trillingen

Naar de invloed van lawaai, verlichting en trillingen op het MAWL is geen onderzoek bekend. Wel is het bekend dat deze factoren fysiologische en veiligheidsproblemen induceren.

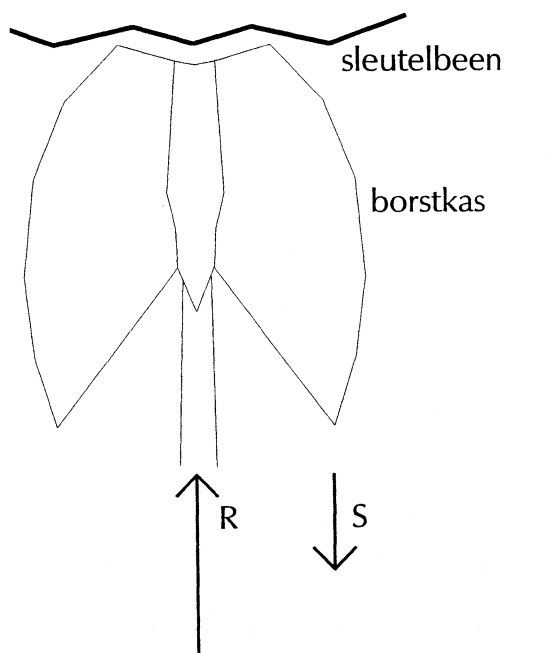
7.2.4 Interactiefactoren

In het algemeen worden lasten niet langer dan enige seconden gedragen. Als iemand

een last over een grote afstand moet dragen komt deze inspanning boven de inspanning, die nodig is om de last op te tillen. Het is dus logisch dat er dan een reductie van de MAWL optreedt. Deze reductie blijkt toe te nemen met de lengte van het traject. Bovendien is de wijze van dragen van invloed. Volgens Datta en Ramanathan (1971) is het dragen met de hand de minst efficiënte van de door hen onderzochte draagwijzen (met de hand, rugzak, op de schouders, op de schouders met een juk, en op het hoofd).

Ook het aspect van één of tweezijdig dragen is een factor. Biomechanisch is eenvoudig in te zien (figuur 7.17) dat een enkelzijdige belasting (bijvoorbeeld het dragen van een zware koffer met gewicht L) een mechanisch moment ten opzichte van de wervelkolom opwekt.

Dit moment wordt gecompenseerd door de kracht S, opgewekt door het aanspannen van onder meer de schuine buikspieren en spieren tussen de ribben



Figuur 7.17 Door enkelzijdige belasting ontstaat een moment ten opzichte van de wervelkolom

en het bekken. De som van deze krachten wordt gecompenseerd door een reactiekracht R in de wervelkolom. Aangezien de spierkrachten over een kleinere arm werken dan de last zijn ze evenredig groter dan het gewicht van de last. Het is dus zeker voordeliger aan elke hand bijvoorbeeld een koffer te dragen.

7.3 Ontwerpoverwegingen en -richtlijnen

Bij het ontwerpen van tiltaken dient men verschillende overwegingen met betrekking tot het menselijk welbevinden te maken. Door een verstandig, ergonomisch verantwoord ontwerp, waarin de menselijke component terdege in beschouwing is genomen, kan niet alleen veel leed worden voorkomen; ook efficiëntie en comfort veranderen mee in positieve zin. In deze paragraaf worden drie aspecten hieromtrent behandeld:

- 1 welke ontwerpoverwegingen liggen ten grondslag aan een verantwoord taak-ontwerp/herontwerp,
- 2 hoe kunnen werknemers voor tiltaken worden geselecteerd en welke criteria horen hierbij,
- 3 hoe kunnen ontwerpvoorstellen en praktijksituaties worden beoordeeld? Deze paragraaf volgt in grote lijnen het hoofdstuk «Job Design/Redesign and Screening Procedure» uit Ayoub en Mital (1989).

Ontwerpoverwegingen

Als eerste dient men zich af te vragen of een zware tiltaak niet kan worden geëlimineerd. In een keuken is het bijvoorbeeld mogelijk het tillen van zware pannen op een fornuis, van de ene pit naar de andere, te elimineren door een keramische kookplaat te gaan gebruiken. Daarop kunnen pannen worden geschoven. Wellicht is het mogelijk het tillen door mechanische hulpmiddelen te laten overnemen (takel, heftafel, heftruck, kraan, transportband, enz.). Een andere mogelijkheid is het op gelijke hoogte brengen van de verschillende activiteiten door óf de werkhoogte aan te passen óf de positie (hoogte) van de werknemer te variëren.

Als eliminatie niet mogelijk of realistisch is, dient taakverlichting te worden overwogen.

- Het te tillen gewicht kan worden verlaagd door met meer mensen te tillen, door het gewicht over meer containers te verdelen, of door het gewicht van de container te verlagen.
- Taakverlichting kan ook worden bereikt met een aanpassing van de tiltijd (breng de begin en eindpositie dicht bij elkaar) en het tilritme (tilfrequentie, rust/werkschema).
- Gedacht kan worden aan het minimaliseren van belastende tilbewegingen: pas de werkruimte aan functionele reikenvoloppen aan, vermijd buigen en roteren van de romp, geef voldoende werkruimte, denk aan verrijdbare en roterende stoelen (maar blijf rekening houden met stabiliteit), lokaliseer objecten zo dicht mogelijk bij het lichaam.
- Breng handvatten aan, zorg voor een stabiel massamiddelpunt van de last, zorg dat het massamiddelpunt op een goede plaats ligt en zorg voor niet-deformeerbare containers.
- Zorg voor een voldoende wrijving tussen de schoenen en de vloer, zodat stabiel staan en lopen mogelijk is.

Methoden en criteria voor personele selectie

Soms is het werkelijk noodzakelijk dat zwaar tilwerk door mensen wordt verricht. Dan lijkt het een juiste gedachte potentiële werknemers te onderzoeken op geschiktheid voor dat specifieke werk. Al sedert enkele decennia zijn hiervoor verschillende methoden toegepast. Elk van deze methoden meet andere aspecten. Samen zouden ze een soort totaalbeeld voor geschiktheid kunnen indiceren.

- Met behulp van röntgenonderzoek van de lumbale wervelkolom kunnen eventuele anatomische afwijkingen worden opgespoord. Een relatie tussen op een dergelijke wijze vastgestelde abnormaliteiten en later opgetreden klachten is echter niet aangetoond.
- Door het meten van krachttuioefening krijgt men een indruk over de, voor de persoon in kwestie, zwaarte van de tiltaak. Hierbij mag men echter niet voorbij gaan aan het gegeven dat mensen met sterkere spieren een (biomechanisch) vergelijkbare rugbelasting ondergaan als minder sterke mensen. Training en spierontwikkeling veranderen namelijk niets aan de moment-armen, zoals beschreven in de biomechanische benadering. Hetzelfde geldt voor de fysiologische belastingsgraad.
- Medische onderzoeken zijn nog altijd gebruikelijk. Het is echter belangrijk dat de arts een goed beeld heeft van de eisen, die de taak stelt aan de werknemer. Het is gebleken dat een uitgebreid en op het doel toegespitst medisch onderzoek, gecombineerd met een lumbosacrale radiografische analyse, ongeveer 10% van de lage rugklachten in een bepaalde arbeidssector kan voorspellen.
- Met behulp van een psychologische test wordt een indruk verkregen omtrent motivatie, rijpheid en geschiktheid voor aspecten van specifieke taken. Het is gebleken, dat persoonseigenschappen van invloed zijn op de risicofactor voor lichamelijke klachten. Een psychologische test mag echter nooit als enig criterium worden gebruikt; men meet hiermee tenslotte geen lichamelijke krachten en fysieke conditie.
- Verschillende kwalificatiemethoden zijn ontwikkeld om aan de hand van een aantal afzonderlijke, fysieke en psychologische, aspecten een algemeen beeld te krijgen voor een bepaald type werk. Een zo'n methode is de GULHEMP-methode (General physique, Upper extremities, Lower extremities, Hearing, Eyesight, Mentality and Personality type, zie Ayoub en Mital, 1989). De hierin gebruikte onderzoeksmethoden en onderzoeksprocedures, alsmede de bijbehorende criteria, horen altijd te worden gebaseerd op en afgeleid van een relevante taakanalyse. Zij wordt meestal uitgevoerd door een bedrijfsarts, die op subjectieve wijze de verschillende aspecten categoriseert. Deze methode plaatst de totale taak op een schaal, en definiëert aldus fysieke taakeisen. Met dergelijke methoden is in de praktijk al vaker succes geboekt. Nadeel én gevaar is het in de praktijk blijvende gebrek aan objectiviteit.

Criteria

Aangezien we met mensen te maken hebben, die in een maatschappij leven, dienen selectieprocedures in ieder geval aan de heersende medische, sociale, ethische, en juridische criteria te voldoen. Bovendien bestaan er per bedrijf(stak) nog verschillende economische criteria. Een van de belangrijkste standaardwerken op gebied van tilarbeid geeft een uitwerking van enkele criteria voor het hanteren van selectieprocedures van mensen, die tiltaken moeten gaan verrichten.

- Is het uitvoeren van de test veilig?
Gedacht wordt aan het gevaar van röntgenstraling, of aan het feit dat iemand, die de baan graag wil hebben, bereid is boven zijn kracht te presteren tijdens de test (wat

dit betreft is het beter een isometrische krachttest af te nemen). Alvorens een dergelijke test wordt uitgevoerd, dient eerst een beeld van het medische verleden van de kandidaat te worden verkregen.

- Geeft de test betrouwbare en kwantitatieve resultaten, en zijn ze herhaalbaar? Zonder voorbij te gaan aan het belang van een algemeen medisch beeld, dienen specifieke testen een kwantitatieve score te geven. Stereotypen, gebaseerd op leeftijd, geslacht en lichaamsgewicht, zijn alle gebleken slechts laag te correleren met de fysieke mogelijkheden grote krachten uit te kunnen oefenen. Herhaalbaarheid kan in de praktijk worden getoetst met de variatiecoëfficiënt: als de standaardafwijking kleiner is dan 15% van het gemiddelde, mag van een redelijke herhaalbaarheid worden gesproken.
- Is de test valide met betrekking tot de specifieke taakeisen? Het is belangrijk relevante grootheden te meten. Zo is knijpkracht bijvoorbeeld een matige indicator voor andere vormen van krachtuitoefening (Daams, 1994). Afhankelijk van de bedoelde taak zal men bijvoorbeeld tillen boven het hoofd meten, of duwen en trekken van lasten. Men zal dus een nauwkeurig beeld moeten hebben van de taak.
- Is de test praktisch goed uitvoerbaar? Elke test vereist een hoeveelheid hardware, taaksimulatie, tijd en instructie- en leertijd.
- Voorspelt de test het risico op toekomstige klachten? Het moeilijkste criterium! Hier is altijd een epidemiologisch studie voor nodig. Elke selectie- en plaatsingsprocedure hoort te worden ondersteund door verzamelde gegevens over klachten en ziekte. Het effect van de uitkomsten van een selectieprocedure op ziektegegevens dient zorgvuldig te worden geëvalueerd. Bovendien hoort een dergelijke evaluatie niet op te houden, maar longitudinaal te worden voortgezet.

Richtlijnen

NIOSH: het Amerikaanse «National Institute of Occupational Safety and Health» (NIOSH) heeft een richtlijn voor tilarbeid samengesteld, welke is gebaseerd op de resultaten van de vier benaderingen, zoals die in dit hoofdstuk zijn gegeven: de epidemiologische, de biomechanische, de fysiologische en de psychofysiologische benadering. Deze richtlijn wordt in de praktijk zeer vaak gebruikt en zal mede daarom in deze paragraaf worden beschreven. In 1981 verscheen de eerste richtlijn en in 1991 volgde een herziening (Badger, 1981; Waters et al., 1993). De oude richtlijn wordt nog veel gebruikt. Hier wordt echter de nieuwe beschreven. Enkele verschillen met de oude richtlijn zijn de iets grotere veiligheidsmarge en het introduceren van een factor voor romprotatie.

Uitgegaan wordt van de volgende randvoorwaarden:

- a geen schokkende bewegingen;
- b tweehandig tillen;
- c geen ruimtelijke beperkingen voor de houding;
- d gunstige omgevingsfactoren (temperatuur, vochtigheid, lawaai, licht, enz.).

Verder wordt aangenomen dat andere, verwante activiteiten zoals duwen, trekken en dragen van lasten zijn geminimaliseerd, en dat buiten de tilactiviteiten rust wordt genoten. De betreffende werknemer heeft een goede fysieke conditie en is gewend aan het verrichten van lichamelijk werk.

Dit lezende dient men zich te realiseren, dat weinig praktijksituaties exact aan al deze eisen voldoen. Het is dus altijd zaak, welke norm men ook gebruikt, de resultaten

kritisch te beschouwen voor men conclusies trekt!

N.B. De richtlijn bevat geen veiligheidsfactoren, zoals die bijvoorbeeld door ingenieurs in een mechanisch ontwerp worden toegepast in verband met onvoorziene omstandigheden.

Dan nu de NIOSH-richtlijn zelf. De volgende grootheden worden gebruikt:

1	gewicht van de last	L	(Newton)
2	horizontale locatie: de horizontale afstand tussen de enkels en de handen bij het begin van de tilbeweging	H	(meter)
3	verticale locatie: de verticale afstand tussen de vloer en de handen bij het begin van de tilbeweging	V	(meter)
4	verticale verplaatsing: de verticale afstand, die de last aflegt tussen begin en eind van de tilbeweging	D	(meter)
5	asymmetrie: hoek van de plaats van de last met het sagittale vlak	A	(graden)
6	tilfrequentie en tilduur	FM	(zie figuur 7.19)
7	koppelfactor	CM	(zie figuur 7.18)

kwaliteit-koppeling	factor CM	
	V < 0.75 m	V ≥ 0.75 m
goed	1.00	1.00
redelijk	0.95	1.00
slecht	0.90	0.90

Figuur 7.18 Koppelings factor CM voor de kwaliteit van het handvat van de last bij verschillende tilhoogtes.

verticale locatie	tiltijd		
	< 1 uur	1-2 uur	2-8 uur
V ≤ 0.75 m	330	260	220
V > 0.75 m	230	190	155

Figuur 7.19 Taak-afhankelijke grenzen voor het metabole energieverbruik bij frequent tillen (Watt).

De richtlijn geeft de RWL (Recommended Weight Lift). Belastingen lager dan RWL voldoen in ieder geval aan de volgende criteria:

- a de kans op beschadigingen aan het botspierstelsel is acceptabel;
- b de compressiekracht in de L5/S1 tussenwervelschijf is lager dan 3400 N, hetgeen

- bij de meeste jonge, gezonde werknemers ruimschoots wordt getolereerd;
- c het metabole energieverbruik is in ieder geval lager dan de waarden volgens figuur 7.19;
- d lasten, zoals beschreven door de RWL zijn acceptabel voor de sterkste 90% van de mannen en voor 75% van de vrouwen.

Natuurlijk is de grens tussen acceptabel en onacceptabel geen scherpe overgang. Daarom werd bovendien de tilindex (LI, Lifting Index) gedefinieerd als:

$$LI = \frac{\text{gewicht van de last}}{RWL}$$

Als $LI > 1$ neemt het risico op klachten en blessures toe, maar veel mensen zullen nog veilig kunnen blijven werken. Wanneer echter $LI > 3$ wordt het risico voor iedereen onacceptabel.

De NIOSH-richtlijn gebruikt de volgende formule voor de berekening van de RWL:

$$RWL = LC \cdot \left(\frac{0.25}{H} \right) \cdot (1 - 0.3 |V - 0.75|) \cdot \left(0.82 + \frac{0.045}{D} \right) \cdot (1 - 0.0032A) \cdot FM \cdot CM \quad (N)$$

De uitgangswaarde voor de tilformule is LC, een gewichtsconstante. Deze is gelijk aan 230 N. De maten voor H, V en A moeten zowel in de begin- als in de eindpositie worden vastgesteld. Er worden namelijk twee waarden berekend: RWL in het begin en RWL op het einde van de tilbeweging.

Bovenstaande formule kan ook met zes factoren worden gegeven:

$$RWL = LC \cdot h \cdot v \cdot d \cdot a \cdot f \cdot k$$

$$h = 0.25 / H$$

$$v = 1 - 0.3 |V - 0.75|$$

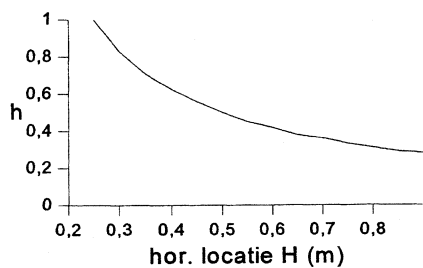
$$d = 0.82 + 0.045 / D$$

$$a = 1 - 0.0032 \cdot A$$

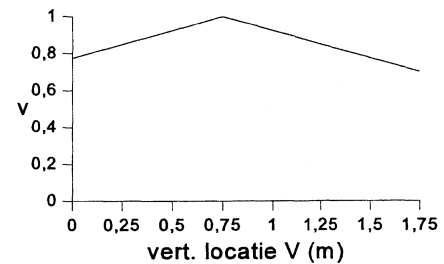
$$f = (\text{zie figuur 7.20})$$

$$k = (\text{zie figuur 7.18})$$

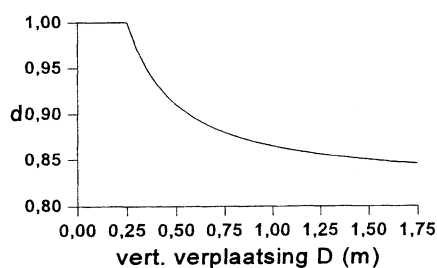
waarin h, v, d, a, f en k dus overeenkomen met de zes factoren uit de NIOSH-formule. In figuren 7.18 tot 7.20d zijn deze factoren grafisch weergegeven voor de relevante domeinen. De grafiek voor de factor f geeft de waarde van f voor werktijden tot een uur, van een tot twee uur, en van twee tot acht uur. Waar de grafieken stijl naar beneden gaan, liggen de grenzen voor $V < 0.75$ m. Als er lager dan 0.75 m getild moet worden, wordt het toegestane gewicht lager dan wanneer $V \geq 0.75$ m.



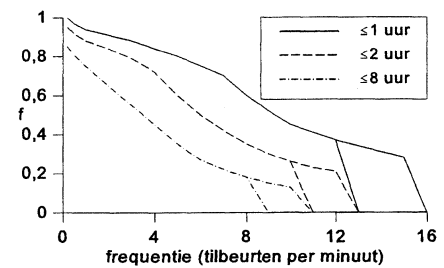
A



B



C



D

Figuur 7.20a De factor h voor de horizontale positie. De minimale waarde voor H (de horizontale afstand tussen voeten en handvat) is 0,25 m. Met toename van H neemt h af, hetgeen reductie van RWL inhoudt.

Figuur 7.20b De verticale factor v als functie van de hoogte van de handvatten V . Bij 0,75m hoogte is $v = 1$ (\approx vuisthoogte staand); hoger of lager dan 0,75 m betekent een grotere belasting, en daarmee een reductie van de RWL.

Figuur 7.20c De verticale verplaatsingsfactor d als functie van de verticale verplaatsing D . Voor verticale verplaatsingen tot 25 cm is D gelijk aan één. Daarboven vindt een afname plaats, waardoor de RWL daalt.

Figuur 7.20d De frequentiefactor f als functie van de tilduur (≤ 1 , ≤ 2 , en ≤ 8 uren). De op het eind van de grafieken steil naar beneden lopende lijnen geven f voor tilhoogtes kleiner dan 75 cm.

In deze figuren kan de reductie van de tillast per aspect worden beoordeeld, en toegepast met betrekking tot de te evalueren werkomstandigheid. Wie zelf situaties wil beoordelen kan een klein computerprogrammaatje te schrijven, waarin de NIOSH-formule wordt berekend. Voor verdere informatie dient Waters et al (1993) te worden geraadpleegd.

Voorbeeld: in een fabriek, waar vuurvaste tegels worden vervaardigd, moeten tegels met een gewicht van 100 N vanaf een lopende band (50 cm hoogte) op een ovenwagen (80 cm hoogte) worden gelegd. Het hoogteverschil bedraagt dus 0,3 m. Een werknemer doet dit gedurende acht uren per dag. Daarbij moet hij vier tegels per minuut op de wagen leggen. De tegels zijn redelijk goed vast te pakken, alhoewel ze geen uitsparingen of iets anders hebben, dat als handvat kan dienen. Verdere gegevens staan in figuur 7.21.

Duidelijk wordt de RWL overschreden, vooral in de eindsituatie ($(LI = 100/56 = 7/4)$). Men kan nu per factor bekijken, wat een verandering voor invloed heeft. Als de horizontale positie van de eindsituatie naar 30 cm kan worden teruggebracht door aanpassing van de handvatten, van de vorm van de last, of door een aanpassing van de

werkplek, neemt h toe van $0.25/0.4 = 0.625$ naar $0.25/0.3 = 0.83$. Dit geeft een RWL van 76 N, en een LI van $1/3$. Kijken we naar de frequentiefactor FM, dan lijkt het niet reëel de frequentie zelf te verlagen, vanwege redenen van productiesnelheid. Maar wel kan bijvoorbeeld worden gedacht aan afwisseling van werk. Meer mensen kunnen, afwisselend, dit tilwerk doen gedurende twee uren per dag. Als dit de enige maaregel zou zijn, zou de frequentiefactor toenemen tot 0.72 en de RWL in de eindsituatie tot 89 N. Als het mogelijk is de handvatten vijf cm lager aan te brengen, zodat de tilhoogte in de eindsituatie 0.75 m wordt, dan is het RWL gelijk aan 57 N; hiermee valt dus niet veel verbetering te bereiken (uit de formule blijkt al een optimale hoogte van 75 cm). Brengen we echter alle vermelde verbeteringen aan, dan wordt de RWL gelijk aan 121 N (reken na!), en de problemen zouden in principe voorbij moeten zijn.

	begin	eind	factor begin	factor eind	
LC (N)	230	230	230	230	uitgangsgewicht
H (m)	0.3	0.4	0.83	0.625	horizontale positie
V (m)	0.5	0.8	0.93	0.99	verticale positie
D (m)	0.3	0.3	0.97	0.97	verticaal traject
A (graden)	30	30	0.90	0.90	romprotatie
FM (min^{-1})	0.45	0.45	0.45	0.45	8 uren per dag, 4 keer per minuut
CM	0,95	1.0	0.95	1.0	koppelfactor
RWL (N)			66	56	

Figuur 7.21 De berekening van het RWL voor tillen vuurvaste tegels met behulp van de NIOSH-formule.

Een tweede voorbeeld is het werk van vuilophalers, die zakken met een gewicht van gemiddeld 100 N (geschat) van straat moeten pakken en in de verzamelbak werpen. Aannemende, dat dit ongeveer zes keer per minuut gebeurt, en acht uren per dag, hoe groot is dan the RWL? Verdere gegevens zijn: hoogteverschil is 1 m, horizontale beginpositie en eindpositie 0.5 m, verticale eindpositie 1.5 m, en de koppelfactor 0.9 (slecht in beide posities. De hoekverdraaiing van de romp wordt verwaarloosd. De gegevens zijn weer samengevat in figuur 7.22.

	begin	eind	factor begin	factor eind	
LC (N)	230	230	230	230	uitgangsgewicht
H (m)	0.5	0.5	0.5	0.5	horizontale positie
V (m)	0.5	1.5	0.925	0.775	verticale positie
D (m)	1	1	0.87	0.865	verticaal traject
A (graden)	0	0	1	1	romprotatie
FM (min^{-1})	0.35	0.35	0.35	0.35	8 uren per dag, 4 keer per minuut
CM	0.9	0.9	0.9	0.9	koppelfactor
RWL (N)			29	24	

Figuur 7.22 De berekening van het RWL voor vuilophalers met behulp van de NIOSH-formule. Het blijkt, dat het RWL met een factor drie tot vier wordt overschreden (LI), dit werk dus volkomen onverantwoord is.

Als eerste moet worden geconstateerd, dat niet wordt voldaan aan alle voorwaarden, waaronder de NIOSH-richtlijn mag worden toegepast. Het tillen gebeurt meestal niet met twee handen, de omgevingscondities zijn erg veranderlijk (regen, zon, vorst). Als we denken aan de koppelfactor, die iets zegt over de kwaliteit van de handvatten, dan komt deze last er wel erg slecht af, zodat CM eigenlijk veel lager zou moeten zijn dan wat in figuur 7.18 wordt aangegeven. Toch komt het in de praktijk vaak voor, dat desondanks zo'n richtlijn wordt gebruikt als een indicatie voor de zwaarte van het werk. We zullen dit voorbeeld dan ook verder uitwerken.

Ons beperkend tot de eindsituatie constateren we een LI van $100/24 \approx 4(!)$. Om hier verbetering in aan te brengen, dient allereerst te worden overwogen de tiltaak af te schaffen. Bijvoorbeeld door mechanische hulpmiddelen te ontwerpen, of een ander vuilafvoersysteem. Daar dit in veel gevallen niet realiseerbaar is, dient te worden gekeken naar andere factoren. Het werk kan bijvoorbeeld in ploegendienst worden gedaan, zodat de tijdsduur wordt gehalveerd en de factor f gelijk is aan 0.4. De RWL wordt dan 33 N, resp. 28 N. Als iets aan de verticale verplaatsingsfactor (d) wordt gedaan, kan een maximale winst van 13% worden gehaald ($1-0.87$). RWL zou dan gelijk worden aan 28 N. Zou het mogelijk zijn goede handvatten aan te brengen, dan werd CM gelijk aan 1, en de RWL 27 N. Werden op een of andere manier handvatten erop aangebracht, zodat het tillen dicht bij het lichaam plaatsvindt, bijvoorbeeld $H=0.3\text{m}$, dan $RWL=40\text{ N}$. Worden alle veranderingen tegelijk aangebracht, dan wordt $RWL=77\text{ N}$, en $LI=100/77=1.3$, een zeer aanzienlijke reductie, en een vrijwel acceptabele belasting.

Literatuur

- Åstrand P.-O., Rodahl K., (1977)
Textbook of Work Physiology, Physiological basis of exercise McGraw-Hill
Book Company, New York, London, enz.
- Ayoub M.M., Mital A., (1989)
Manual Materials Handling. Taylor and Francis, London.
- Badger D.W., (1981)
Work Practices guide for manual Lifting. National Institute for Occupational
Safety and Health, Cincinnati, Ohio
- Chaffin D.B., Andersson G.B.J., (1984)
Occupational Biomechanics. John Wiley & Sons, New York.
- Ciriello V.M., Snook S.H., (1978)
The effects of size, distance, height and frequency on manual handling
performance. In Proceedings of the 22nd Annual Meeting of the Human Factors
Society, 318-322.
- Daams, B.J., (1994)
Human force exertion in user-product interaction. Delft University Press, Delft
- Datta S.R., Ramanathan N.L., (1971)
Ergonomic comparison of seven modes of carrying loads on the horizontal
plane. Ergonomics, 14(2):269-278.
- Davis J.A., Vodak P., Wilmore J.H., Kurtz P., (1976)
Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise.
Journal of Applied Physiology, 41, 544-550
- Garg A., Saxena U., (1980)
Container characteristics and maximum acceptable weight of lift. Human
factors, 22, 487-495.

- International Labour Organization.
Manual Lifting and Carrying. Sheet 3, Geneve
- Mital A., Ayoub M.M.,(1981a)
Effect of task variables and their interactions in lifting and lowering loads.
American Industrial Hygiene Association Journal, 42, 134-142.
- Mital A.,(1986)
Subjective estimates of load carriage in confined and open spaces. In: Trends in Ergonomics/Human Factors III, edited by W. Karwowski (pag. 827-833).
Amsterdam, North Holland.
- Nielsen, (1978)
Eastman Kodak Company. Aan gerefereerd in Rodgers et al.(1986), Meer gegevens ontbreken
- Nordin M., Frankel V.H.,(1989)
Basic biomechanics of the musculoskeletal system. Lea & Febiger, Philadelphia, London.
- Poll, K.J.,(1984)
Normen voor tillen. De Veiligheid, 60(5):281-285
- Ridd J.F.,(1991)
Physical work capacity in stooped and asymmetric postures. In: Designing for Everyone, edited by Y. Queinnec and F. Daniellou, pp 81-83, London, Taylor and Francis.
- Ridd J.F.,(1983)
Spatial restraints and intra abdominal pressure. In: *Proceedings of Seminar on Prevention of Low Back Pain*, Commission of the European Communities, Edited by P.R. Davis and J.D.G. Troup, London, Taylor and Francis.
- Rodgers S.H. (Principal Author and Technical Editor),(1986)
Ergonomic Design for People at Work, Vol. 2, Van Nostrand Reinhold Company, New York
- Shapiro A.K., Randolph K.B., Avellini B.A., Pimental N.A., Goldman R.F.,(1980)
Physiological responses of men and women to humid and dry heat. Journal of Applied Physiology, 49,1-8.
- Snook S.H.,Ciriello V.M.,(1974)
The effects of heat stress on manual handling tasks. American Industrial Hygiene Association Journal, 35,681-685.
- Snook S.H.,(1978)
The design of manual handling tasks
Society lecture, proc. Ergonomics Society, Bedfordshire, U.K.
- Tichauer E.R.,(1973)
Ergonomic aspects of biomechanics in the industrial environment: Its evaluation and control. NIOSH, Superintendent of Documents, Washington, D.C.
- Waters T.R., Vern Putz-Anderson, Garg A., Fine L.J.,(1993)
Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. Ergonomics,36,7,749-776.
- Weeda H.W.H., Sluijs H.v.d., Schrobbe M.G.,Bink B.,(1975)
Tabellen, formules voor de berekening van de maximale zuurstofopname, de watts, het basaal metabolisme en het energieverbruik voor mannen. Universitair Medisch Centrum, Leiden.

8 Persoonlijke uitrusting

Samenvatting

Een algemene definitie van persoonlijke uitrusting zou kunnen zijn: hetgeen nauw en langdurig op of in het lichaam wordt megedragen ter ondersteuning (orthese) of vervanging (prothese) van delen of functies van het lichaam. We geven hierbij dus een ruimere betekenis aan orthesen en prothesen dan te doen gebruikelijk. In dit hoofdstuk wordt voor het bespreken van de MPOI-factoren een onderscheid gemaakt tussen enerzijds buiten het lichaam en anderzijds binnen het lichaam, omdat er bij deze laatste groep nog extra eisen zijn, vanwege allerlei complicaties die kunnen optreden door processen in het lichaam. Buiten het lichaam kunnen orthesen en prothesen, zowel voor de gezonde gebruiker als voor de "zieke gebruiker" (pathologische redenen) worden gebruikt, denk daarbij aan een stofbril (orthese voor een gezonde gebruiker), luier of kniebrace (orthese wegens een pathologie), een nepduim voor goochelaars (prothese voor een gezonde gebruiker), een kunstarm (prothese wegens pathologie).

Inleiding

In hoofdstuk 5 werden kleine verblijfsruimten behandeld. Zij worden opgevoerd als materiële afscheidingen voor het bevorderen van bescherming en afzondering van één of enkele individuen. Een soortgelijke functie, maar dan nog dichterbij het lichaam, wordt vervuld door de persoonlijke uitrusting. Hier zal ingegaan worden op de verschillende functies van deze persoonlijke uitrusting en op de ergonomisch relevante eisen die eraan gesteld kunnen worden.

Na het bestuderen van dit hoofdstuk moet de student:

- weten wat met het begrip persoonlijke uitrusting wordt bedoeld;
- weten wat de begrippen prothese, orthese en endothese inhouden;
- weten welke ontwerpoverwegingen (MPOI-factoren) een rol spelen;

Allereerst volgt een nadere beschrijving van de produksubcategorie, daarna worden de MPOI-factoren besproken, vervolgens worden enkele speciale componenten en enkele ontwerpvoorbeelden genoemd.

8.1 Nadere omschrijving van de produksubcategorie

Een algemene definitie van persoonlijke uitrusting zou kunnen zijn: hetgeen nauw en langdurig op of in het lichaam wordt megedragen ter ondersteuning (orthese) of vervanging (prothese) van delen of functies van het lichaam. We geven hierbij dus een ruimere betekenis aan orthesen en prothesen dan te doen gebruikelijk. In dit hoofdstuk wordt voor het bespreken van de MPOI-factoren een onderscheid gemaakt tussen enerzijds buiten het lichaam en anderzijds binnen het lichaam, omdat er bij deze laatste groep nog extra eisen zijn, vanwege allerlei complicaties die kunnen optreden door processen in het lichaam. Buiten het lichaam kunnen orthesen en prothesen, zowel voor de gezonde gebruiker als voor de "zieke gebruiker" (pathologische redenen) worden gebruikt, denk daarbij aan een stofbril (orthese voor een gezonde gebruiker), luier of kniebrace (orthese wegens een pathologie), een nepduim voor goochelaars (prothese voor een gezonde gebruiker), een kunstarm (prothese wegens pathologie).

Daarnaast vinden we steun en vervanging van lichaamsdelen binnen het lichaam (endothesen), deze worden voornamelijk om pathologische redenen toegepast. Denk

hierbij bijvoorbeeld aan een pacemaker (ondersteuningsfunctie binnen het lichaam) en kunstmatige gewrichten (vervanging binnen het lichaam). Tabel 1 toont een overzicht van de mogelijkheden met enkele produktvoorbeelden.

	buiten het lichaam		binnen het lichaam (endothesen)	
	orthese (onderst.)	prothese (vervang.)	ondersteuning	vervanging
gezond	stofbril kleding rugzak kam	nepduim	tampon haarimplantatie	siliconen borsten siliconen lippen
pathologie	luier voor volwassenen knie brace frame na trauma	kunstbeen stomazakje	pacemaker	kunstgebit kunst gewricht siliconen borst

Tabel 1. Indeling van persoonlijke uitrusting met enkele produktvoorbeelden.

In de volgende paragrafen worden de MPOI-factoren van de persoonlijke uitrusting buiten het lichaam en binnen het lichaam apart behandeld.

8.2 Persoonlijke uitrusting buiten het lichaam

Men kan op vele manieren kijken naar deze vorm van persoonlijke uitrusting. Kleding bijvoorbeeld heeft naast afscherming van de buitenwereld in de zin van bescherming tegen koude, warmte of vochtigheid en dergelijke (temperatuurregulatie) de functie het lichaam af te schermen zodat het niet zichtbaar is voor anderen (sociaal decoratieve functie). Verder spelen zaken zoals de status van de drager, diens maatschappelijke functie en ook mode een rol. Deze laatste functies van kleding vallen echter buiten de aandachtssfeer van de ergonomie en zullen daarom hier niet besproken worden. In de praktijk zullen industrieel ontwerpers zelden te maken krijgen met het ontwerpen van kleding, als het gaat om de puur sociaal decoratieve functie. Hun inbreng zal veeleer liggen in de sfeer van professionele uitrusting en beschermingsmiddelen. Hoewel de beschermingsfunctie vaak dominant is, kan ook hygiëne (zakdoek), of het dragen van informatie (pas, geld, agenda) of een ander doel (kam, mes, sleutels) worden gediend. Onze 'portable world' wordt tegenwoordig ver uitgebreid, zoals met een walkman of een draagbare telefoon. Of men denke aan de uitgebreide uitrusting van een alpinist, brandweerman of frontsoldaat.

Bespreking van de voornaamste M-, P-, O- en I-factoren

De omgeving en de eisen en wensen van de gebruikers spelen voortdurend en in wisselwerking met elkaar een rol bij het ontwerpen van persoonlijke uitrusting. Daarnaast zijn er ook produktenmerken zoals de massa(toename) doordat elk produkt een bepaalde massa heeft en, wegens het gedragen worden, aan een of meer ledenmaten toevoegt en interactiefactoren zoals comfort, dat ook bij het ontwerpen de nodige aandacht verdient.

Hierna zullen deze groepen van factoren afzonderlijk besproken worden.

8.2.1 M-factoren

Aangezien het hier om produkten gaat die op of aan het lichaam gedragen worden, is het logisch dat de lichaamsafmetingen van de gebruikers een grote rol spelen bij het ontwerpen ervan.

Onderscheid dient gemaakt te worden tussen statische en dynamische kenmerken. Welke lichaamsafmetingen zijn relevant, welke waarden horen daarbij? Direct hieraan gekoppeld is de vraag welk ontwerptype gekozen moet worden: moeten er verschillende varianten ontworpen worden (zoals bijvoorbeeld het maatsysteem bij kleding), of moet het produkt in- of verstelbaar zijn.

Dynamische aspecten, zoals de te verwachten bewegingen die de gebruiker zal maken tijdens het gebruik van het produkt, kunnen een grote rol spelen. Voor een deel zullen deze bewegingen specifiek zijn voor het produkt. Te denken valt aan het gebruiken van een rugzak: het inpakken, dragen en uitpakken, plus alle bijkomende handelingen zijn bewegingen die specifiek zijn voor het gebruik van de rugzak. Op het moment dat de gebruiker de rugzak draagt, kan deze nog allerlei andere bewegingen willen maken, zoals het strikken van schoenveters.

De bewegingen van de gebruiker mogen het functioneren van het produkt niet belemmeren (de spullen zullen niet uit de rugzak moeten vallen op het moment dat de veters gestrikt worden) en aan de andere kant moet het produkt zo weinig mogelijk belemmerend werken op de bewegingsvrijheid van die gebruiker (hij moet zijn veters wel kunnen strikken en niet in een soort harnas gevangen zitten).

Andere aandachtsgebieden:

- leeftijd, geslacht;
- lichamelijke conditie en vaardigheden van de gebruiker;
- gewoonten/ te verwachten gedrag van de gebruiker (bijvoorbeeld zonder uitrusting);

8.2.2 P-factoren

Een produkt heeft altijd massa en volume. Bij het ontwerpen zal daarom rekening gehouden moeten worden met de invloed van de massatoename en van de volumetoename. Als het tot de mogelijkheden behoort, is verdeling van massa en volume, inclusief de afstand van het produkt tot het massamiddelpunt van het lichaam c.q. van het lichaamssegment, een mogelijkheid om de interactie met het produkt zo weinig mogelijk te belemmeren.

Speciale aandacht daarbij moet ook uitgaan naar het contactvlak met het lichaam. Persoonlijke uitrusting wordt nou eenmaal altijd op of aan het lichaam gedragen, dus is er altijd sprake van een fysiek contactvlak tussen het produkt en het lichaam. In hoofdstuk 7 wordt uitvoerig ingegaan op het ontwerpen van lasten en handvatten.

Een mogelijke functie van deze categorie produkten is afscherming tegen vocht, warmte, chemicaliën, bacteriën, gassen, straling, kracht of druk. Voor de verschillende invloedsfactoren gelden specifieke eisen die gesteld moeten worden aan het produkt. Voor veel van deze produktsoorten bestaan richtlijnen en normen. Zo bestaat er bijvoorbeeld een publicatieblad van de EEG (89/C 328/02) waarmee veiligheidshelmen beoordeeld kunnen worden. Ook bestaan er verschillende normen waarin de manier van beproeven van een produkt vastgelegd is, zodat onderlinge vergelijking van die produkten mogelijk is (bijvoorbeeld ISO 4869-1, 1990).

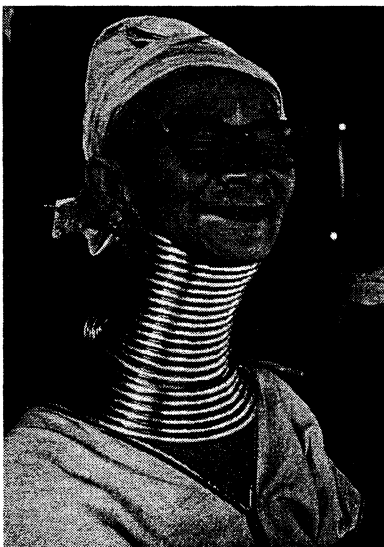
Door het gebruiken van persoonlijke uitrusting is het mogelijk dat bepaalde zintuiglijke functies afgeschermd of verminderd worden. Zo vermindert de tastzin meestal door het dragen van werkhandschoenen, waardoor werkzaamheden soms minder goed uitgevoerd kunnen worden. Een ander voorbeeld is het minder kunnen horen door het dragen van een helm. Als deze situatie zich voordoet, zal onderzocht moeten worden welke mogelijkheden ter beschikking staan om de achteruitgang van de zintuiglijke

waarneming te compenseren. In figuur 8.1 staat een voorbeeld van een gehoorbeschermingsmiddel dat gecombineerd is met een headset, zodat communicatie toch mogelijk is.



Figuur 8.1 Combinatie van VOX-headset en Actieve gehoorbescherming

Zoals reeds genoemd, is de vormgeving een belangrijke produktfactor in verband met onder andere mode, status en verwachtingen. In verschillende culturen kan hieraan op uiteenlopende manieren uiting gegeven worden, getuige figuur 8.2.



Figuur 8.2 Vrouwen hebben doorgaans een langere nek dan mannen. Dit verschil kan overdreven worden door de nek op te rekken en de bovenromp toe te spitsen met behulp van ringen, om zodoende de vrouwelijkheid te benadrukken (uit: Morris, Bodywatching, 1985).

8.2.3 O-factoren

Het is belangrijk te realiseren dat dé omstandigheden niet bestaan. In de tijd gezien wisselen ze bij voortdurend en ook voor de verschillende gebruikers kan dezelfde omgeving een totaal verschillende betekenis hebben.

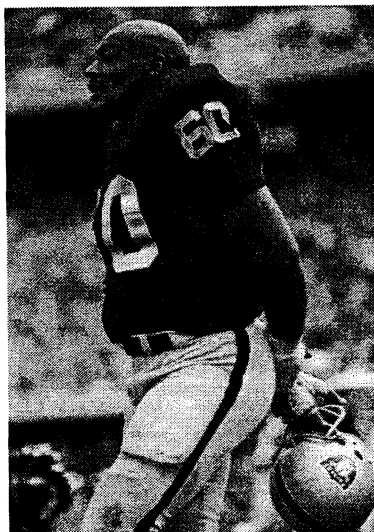
Tot de persoonlijke uitrusting van een werknemer op een bouwterrein behoort naast de (werk)kleding onder andere een veiligheidshelm. Die helm is noodzakelijk in de gegeven omstandigheden, namelijk het bestaan van de mogelijkheid van vallende objecten, zoals hamers. Op dezelfde manier moet een brandweerman kleding dragen die hittebestendig is, zodat hij zijn werk kan doen. (Die omgeving was even daarvoor nog helemaal niet levensbedreigend.)

De omgeving bepaalt in hoofdzaak welke eisen gesteld moeten worden aan het produkt. Hierbij moet gedacht worden aan de volgende invloeden:

- temperatuur (het uitvoeren van reparatiewerkzaamheden aan een zendmast in een sneeuwstorm op Nova Zembla stelt bepaalde eisen aan de te dragen kleding);
- vochtigheid (het afschermen tegen bijvoorbeeld regen of zeewater);
- licht; getint glas van een motorhelm tegen felle zon;
- geluid; gehoorbeschermers voor bedieners van pneumatische drilboren
- chemicaliën; handschoenen van rubber voor bij het hanteren van bijtende stoffen
- straling; het loodschoort om de voortplantingsorganen van radiologen te beschermen
- lichtsnelheid/luchtdruk; een schaatspet tegen koude oren

8.2.4 I-factoren

Om op het gras te lopen heb je niet veel meer nodig dan de normaal gangbare kledij. Als je ondertussen ook nog tegen een bal wilt schoppen, waarbij er meerdere mensen zijn die op hetzelfde moment tegen dezelfde bal willen schoppen, dan is ander schoeisel (en andere kleding) efficiënter. Gaat het er nog ruiger aan toe, dan kunnen helmen en schouderbeschermers een uitkomst bieden. Hier zijn de omstandigheden dezelfde, maar wijkt het gedrag van de personen af, waardoor andere uitrusting vereist is, zie figuur 8.3.



Figuur 8.3 Een voorbeeld van persoonlijke uitrusting.

Er is ook een onderscheid te maken tussen noodzakelijke uitrusting en gewenste uitrusting. Om langere tijd onder water te kunnen verblijven, is toevoer van zuurstof noodzakelijk. Het dragen van een duikersbril echter niet. Die is weer wel noodzakelijk als de activiteiten bestaan uit het onder water uitvoeren van reparaties. Er is dan ook altijd een wisselwerking tussen de omgeving en de activiteiten. De zwemvliezen bieden de duiker de mogelijkheid zich op efficiënte wijze door het water te bewegen, evenals de luchtflessen die de mogelijkheid bieden onder water te ademen. Deze produkten scheppen voor de gebruiker derhalve de voorwaarde om in de gegeven omstandigheden op een efficiënte, veilige en comfortabele manier de handelingen te verrichten die gewenst of noodzakelijk zijn.

In het bovengenoemde spelen twee begrippen een belangrijke rol: de gegeven omstandigheden en de gewenste of vereiste handelingen.

De volgende factoren hebben invloed op het ontwerp van de persoonlijke uitrusting:

- de aard van de activiteit (duiken, sporten, koken, wandelen op de maan);
- bevuiling (slager, kok, monteur, chirurg);
- bewegingsvrijheid/ -behoefte;
- ventilatie (bijvoorbeeld in een regenpak op de fiets met tegenwind niet net zo nat worden als zonder regenpak);
- ontbreken van discomfort;
- samenwerken tussen gebruikers (communicatie-hulpmiddelen in de helm bijvoorbeeld)
- gebruiksintensiteit;
- gebruiksduur;

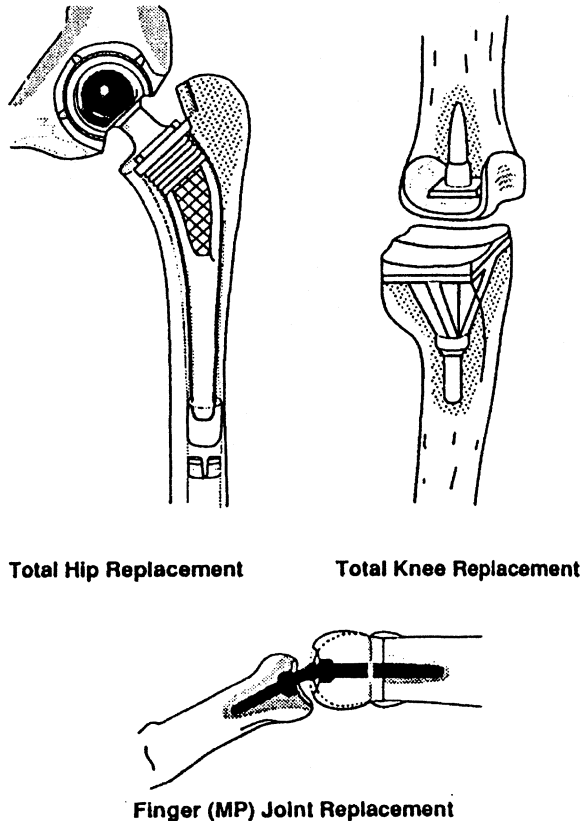
8.3 Persoonlijke uitrusting binnen het lichaam (endothesen)

Bij deze vorm van persoonlijke uitrusting komen de disciplines biomechanica en biochemica nauw met elkaar in contact. Immers het produkt moet in een zeer reactieve en corrosieve omgeving stand weten te houden, waarbij er ook nog eens sterk rekening moet worden gehouden met sterk veranderende eigenschappen in de tijd.

Ook voor dit gebied geldt dat er aanzienlijke uitdagingen voor de toekomstige ontwerpers liggen. Bijvoorbeeld ten aanzien van het vervangen van het gehele gewricht (figuur 8.4) wordt verwacht dat zich rond het jaar 2000 totaal nieuwe produkten zullen aandienen, met sterk verbeterde mechanische eigenschappen.

Bespreking van de voornaamste M-,P-,O- en I-factoren

De (interne) omgeving speelt bij deze produkten de hoofdrol. Het materiaal om met behoud van eigenschappen gedurende vele jaren in de reactieve omgeving van het lichaam te blijven, is nog niet gevonden. Metingen die in vitro (in de reageerbuis) op de materialen worden gedaan, blijken soms geen stand te houden in vivo (in het levende mens). Hieronder worden de belangrijkste factoren besproken.



Figuur 8.4 Enkele voorbeelden van het vervangen van het gehele gewricht.

8.3.1 M-factoren

Als we een gewricht willen vervangen door een kunstgewricht, wordt het oude gewricht verwijderd, en moet het nieuwe gewricht worden verbonden met de botten. De vorm van de botten is in dat geval een belangrijke factor, omdat het nieuwe gewricht hier op zo'n manier moet aansluiten, dat krachtenoverdracht zo geleidelijk mogelijk gaat. Een berekening van de te verwachten spanningen met behulp van een biomechanisch model biedt mogelijkheden.

De mobiliteit van het gewricht speelt een belangrijke rol. We willen niet dat het nieuwe gewricht een lagere mobiliteit geeft, omdat daarmee het functioneren van de patiënt achteruit gaat.

Evenzo spelen de kinematische vrijheidsgraden een grote rol (zie hoofdstuk 3). Het gewricht geeft het liefst dezelfde vrijheidsgraden, volgens dezelfde veranderende assen. Het kniegewricht is daar een goed voorbeeld van. Het kniegewricht roteert niet om één as, maar om verschillende assen, afhankelijk van de stand (poolbaan, zie Hoofdstuk 3). De eerste versies van een bekende knieprothese (Gschwend, 1987) hadden geen rekening gehouden met deze poolbanen, dit resulteerde in klachten zoals pijn.

Tenslotte de functionaliteit van de persoon. We willen niet dat het functioneren achteruitgaat met het implanteren van lichaamsvreemde materialen. Zo moet een persoon die bijvoorbeeld 100 m kan lopen, niet na de operatie nog maar slechts 10m kunnen lopen (welke beperking een enkele keer weleens gebeurt).

8.3.2 P-factoren

De materialen die langdurig in het lichaam kunnen worden geplaatst zijn: metalen of -legeringen, polymeren en keramiek. De volgende mechanische eigenschappen van deze materialen zijn van belang:

- elasticiteit (E)
- maximale rekspanning
- plastische vervormingsspanning
- vermoeidheid
- kruip
- hardheid
- slijtage

Voor een duurzame bevestiging aan het bot moeten de eigenschappen van de implantaten, zowel biomechanisch als biochemisch, hetzelfde zijn als die van bot. Op dit moment is zo'n materiaal nog niet gevonden.

Vooraf naar slijtage wordt veel onderzoek gedaan, omdat de deeltjes die ontstaan door slijtage op één of andere manier moeten worden afgevoerd door het lichaam. Het komt dan ook wel voor dat gevaarlijke infecties ontstaan door overgevoeligheid van het lichaam voor deze deeltjes. Het gebied van de biochemica bestudeert of de implantaten leiden tot vergiftiging of overgevoeligheid van het weefsel.

Een andere factor, die wel gebruikt wordt om implantaten te beoordelen, is de loslaatfactor. Zo blijft bij een goed bekend staande knieprothese in ongeveer 48% van de gevallen langer dan 13 jaar in het lichaam zitten. (Dat betekent dat 52% er eerder uit moet).

Het loslaten heeft veel te maken met het botcement waarmee het implantaat wordt vastgezet. PMMA (polymethylmethacrylaat) staat goed bekend, omdat het dezelfde treksterkte heeft als bot en een ongeveer tweemaal zo lage elasticiteitsmodulus. Desalniettemin is men op zoek naar betere materialen.

8.3.3 O-factoren

De reactieve en corrosieve omgeving van het lichaam vormt de belangrijkste bedreiging voor een implantaat die gedurende vele jaren zijn functie moet blijven vervullen. Vaak is dit in veranderende en onvoorspelbare omstandigheden. Zo verandert de vorm van het bot door de jaren heen. Bijvoorbeeld een kunstgebit moet steeds opnieuw passend worden gemaakt aan de slinkende kaak.

8.3.4 I-factoren

De interactie van de drager met het implantaat is idealiter alsof het een perfecte vervanger/ondersteuner is en dus een volmaakte fysiologische functionaliteit heeft. Een heel belangrijke I-factor voor de chirurg, is het gemak waarmee de chirurg het implantaat kan implanteren (en verwijderen), omdat sommige lokale chirurgen dit slechts enkele keren per jaar doen.

De belangrijkste interactiefactoren van het implantaat met zijn directe omgeving betreffen biomechanische interacties. Hiervoor worden vaak dynamische modellen gebruikt, omdat er bijvoorbeeld in het kniegewricht dynamisch wordt bewogen gedurende vele duizenden cycli.

Ook met chemische inzichten probeert men te voorspellen hoe het lichaam zal reageren. Eerst in de reageerbuis, dan op proefdieren, en tenslotte op menselijke proefkonijnen.

8.4 Ontwerpoverwegingen en -methoden

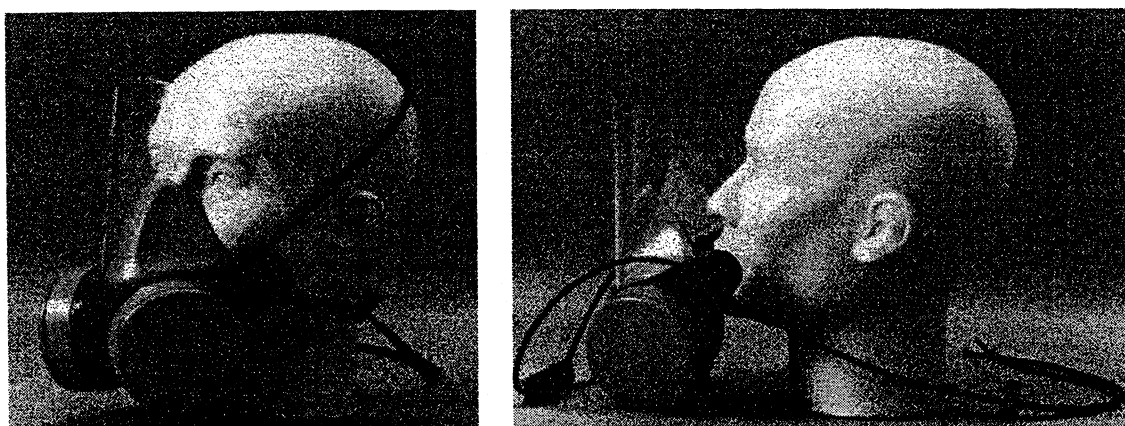
Het ontwerpen van persoonlijke uitrusting is sterk antropometrisch getint. Persoonlijke uitrusting wordt meegedragen, neemt volume in, heeft massa en die dienen derhalve beperkt te worden. Vooral als het om beschermingsmiddelen gaat, zal er alles aan gedaan dienen te worden om te voorkomen dat een dergelijk produkt nodig is. De volgorde is daarom: eliminatie van het risico door opheffing van de gevaarbron; technische beheersing, door afscherming; organisatorische beheersing, door de volgorde van werkzaamheden aan te passen en pas in de laatste plaats het toepassen van persoonlijke beschermingsmiddelen (zie ook hoofdstuk 26).

In het geval van beschermingsmiddelen zal onderzocht moeten worden wat de aard van het risico is waartegen het lichaam beschermd moet worden. Het handboek persoonlijke beschermingsmiddelen hanteert de volgende indeling van risico's:

- totaal gevaar (o.a. verdrinking, gegrepen worden door machine)
- mechanische inwerking (o.a. stoten, slaan, vallen);
- zware mechanische inwerking (o.a. extreem scherpe delen);
- elektrische inwerking (o.a. hoogspanning, statische lading);
- thermische inwerking (o.a. contactwarmte, gloeiende delen);
- inwerking door vocht (druppelende of spuitende vloeistoffen, binnendringen van water);
- contact met chemicaliën (o.a. stofvormig, gassen en dampen);
- akoestische inwerking (continugeluid, impulsgeluid);
- inwerking door straling (o.a. IR, UV, laserstralen);
- gevaarlijke stoffen (o.a. vezels, rook en ook bacteriën, virussen en schimmels);
- zichtbaarheid (onvoldoende waarneembaarheid).

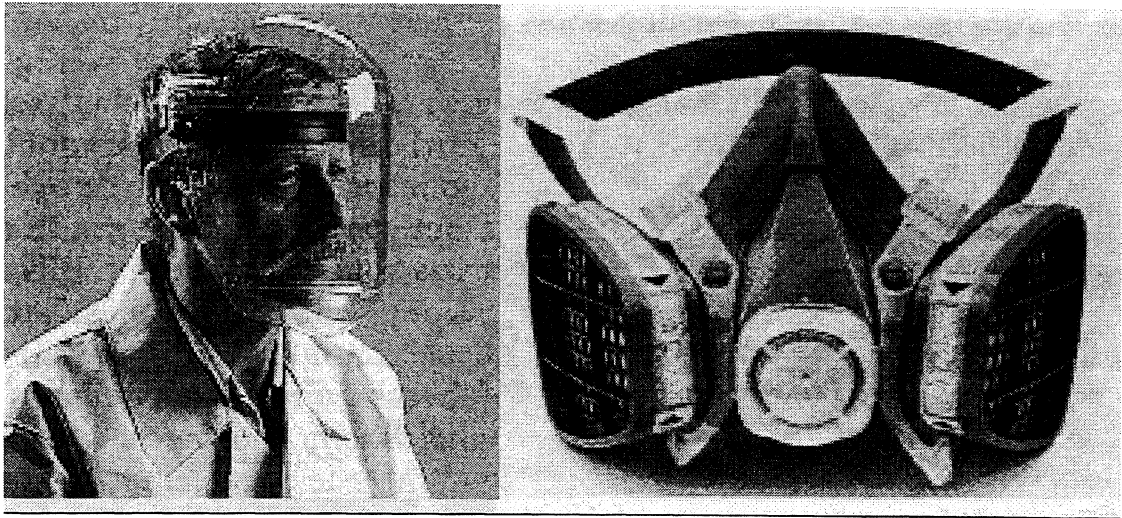
8.5 Enkele voorbeelden

Een voorbeeld van een persoonlijk beschermingsmiddel is een halfmasker tegen gas en stof zoals in figuur 8.5 (Waals, 1991).



Figuur 8.5 Combinatie van een masker tegen gas en stof.

Bij dit masker is ervoor gekozen een combinatie te maken van het beschermen tegen gas en tegen stof in één produkt. Een alternatief hiervoor zou een combinatie van een gelaatscherm met een gas- en dampmasker kunnen zijn (zie figuur 8.6).



Figuur 8.6 Een gelaatscherm en een masker.

De veiligheidshelm is een zeer veel gebruikt beschermingsmiddel. Belangrijke eigenschappen van een veiligheidshelm zijn:

- schokabsorptie (Ennorm 397);
- weerstand tegen indringen (de hoofdvorm mag niet geraakt worden);
- vlamweerstand (na een bepaalde tijd in contact te hebben gestaan met een vlam al dan niet vlam vatten);
- kinbandweerstand (om te voorkomen dat de helm te makkelijk losschiet);
- bestand tegen zeer lage temperaturen;
- elektrische isolatie;
- weerstand tegen gesmolten metalen spatten.

Een voorbeeld van een orthese na een trauma is de bekkenfixateur. Dit is een frame dat zo snel mogelijk na een bekkenfractuur in de bekkenkammen moet worden geschroefd, om het bekken te stabiliseren en de bloedingen te stoppen. Belangrijkste uitdaging bij het ontwerpen van een nieuwe fixateur door ten Veldhuis (1994) lag in het verbeteren van de mechanische eigenschappen. Hiertoe werden een aantal bestaande en de nieuw te ontwikkelen fixateur uitgebreid getest in een testopstelling.

Begrippen

orthese

prothese

endothese

kinematische vrijheidsgraden

biomechanica

biochemica

Literatuur

Hoftijzer, R. (red.), 1991.

Handboek persoonlijke beschermingsmiddelen. Samsom, Alphen aan den Rijn.

Morris, D., 1985.

Bodywatching. Jonathan Cape Ltd, London.

Slagter, R.R., 1991.

Draadloze hoofdtelefoon. Afstudeerrapport Technische Universiteit Delft, faculteit van het Industrieel Ontwerpen, Delft.

Veldhuis ten S. 1994

Verhoogde prestatie met externe fixatie. Afstudeerrapport Haagse Hogeschool, Bewegingstechnologie, Den Haag.

Waals. S. van der, 1991.

Halfmasker, ontwerp van een halfmasker tegen gas en stof. Afstudeerrapport Technische Universiteit Delft, faculteit van het Industrieel Ontwerpen, Delft.

9 Ontwerpen van handwerktuigen; bedieningsmotoriek

Inleiding

Een kleine historie

Gereedschappen of handwerktuigen (deze termen worden hier door elkaar gebruikt) zijn verlengstukken van de mens om bewerkingen te kunnen doen, die normaal gesproken niet of zeer moeilijk met de handen alleen kunnen worden volbracht. In deze zin zijn gereedschappen dus een vorm van orthosen. Slechts een enkel dier gebruikt een of andere vorm van gereedschap (zeeotter, meeuw, mensapen, olifanten). Van alle levende wezens doet alleen de mens dit zo uitgebreid, vanaf het allervroegste niveau van ontwikkeling. Onophoudelijk is de mens bezig geweest de hem omringende wereld te doorgronden en te beheersen. De opgedane kennis werd praktisch gebruikt om het leven comfortabeler te maken. Zo konden woonsteden ontstaan, waar hij in gemeenschap met anderen kon leven, en taken konden worden verdeeld. Nauw hiermee verbonden staat de eerste ambachtsvorming, en daarmee de werktuigen, die hij in de loop der tijden jaren heeft ontwikkeld. De oudste werktuigen dienden voor primaire behoeften als voedselvoorziening, vuur, wonen en kleding. Vuur werd opgewekt door middel van wrijving van licht ontbrandbare materialen zoals zeer droog hout of gras. Vaak waren werktuigen slechts gevonden voorwerpen zoals stenen, takken en beenderen, die zonder verdere vormgeving werden gebruikt, en weer weggedaan nadat ze hun functie hadden vervuld. Schaarse producten werden langer bewaard, bijvoorbeeld in gebieden, waar stenen schaars zijn. Een volgende stap was de voorwerpen te bewerken. Men ontdekte dat men een vuursteen door splijten en wrijven gladder of scherper kon maken, takken van punten kon voorzien, zodat ze bij de jacht en andere toepassingen beter konden worden gebruikt, en in een uitgehold stuk hout iets kon bewaren. Bovendien kon men door bewerking de voorwerpen beter in de hand laten liggen, en/of er nauwkeuriger mee werken, zoals bij het richten met speren. Door de tak langer en gladder te maken kon men bovendien verder werpen. Een volgende stap was, verschillende voorwerpen te combineren. Zo kreeg de steen een houten steel, en kon daarmee veel doelmatiger én comfortabeler worden gebruikt. Pijlen werden met behulp van een boog geschoten. In heel vroege stadia werden deze gereedschappen al met grote perfectie en duurzaamheid vervaardigd.

Zodra metalen hun intrede deden, werd een grote sprong gemaakt in toepassing en duurzaamheid. Aanvankelijk werden gevonden metaalrijke ertsen bewerkt door polijsten, snijden en hameren. Maar later ontdekte men, dat de zuivere metalen konden worden gewonnen uit de ertsen, en dat ze konden worden gesmeed. Nadat bewerkingsproblemen waren overwonnen, vinden we gereedschappen, die een rijkdom aan vorm en decoratie vertonen (Klemm, 1858).

Dat men in oude tijden een sterke band had met zijn gereedschap, dat vaak ook door de gebruiker zelf werd vervaardigd, moge blijken uit het aantreffen van gereedschappen in vele graven. Men was zo sterk aan zijn gereedschappen verbonden dat ze mee naar het hiernamaals werden genomen. Ook tegenwoordig is trouwens menig professioneel en amateur verknocht aan zijn gereedschap.

Met behulp van gereedschappen worden vele materialen bewerkt. Elk materiaal stelt zijn eigen eisen aan het gereedschap en aan de bewerker. Hout en metaal vragen bijvoorbeeld verschillende boren of zagen, en bij het bewerken van hout moet de bewerker, anders dan bij metalen, rekening houden met de nerfrichting.

Een volgende fase in de geschiedenis van gereedschappen is het gebruik maken van een andere krachtbron dan het lichaam zelf. Wind en waterkracht werden gebruikt om schepen te laten varen en later (1000 AD) molens te laten draaien. Paardekracht deed haar intrede om roterende bewegingen te laten maken aan een tredmolen, welke door middel van overbrengingen kon worden getransformeerd naar bewegingen met van de oorspronkelijke verschillende richtingen, maar ook (dit is echter geen gereedschaps-toepassing) om voer- en vaartuigen te trekken.

In de laatste eeuwen werden bovendien elektrische, pneumatische en hydraulische krachtbronnen in gereedschappen toegepast, terwijl verbrandingsmotoren in de twintigste eeuw hun weg vonden naar gereedschappen, vooral die een groot vermogen moesten kunnen leveren. Later (20-ste eeuw) had men bij dergelijke krachtbronnen de keus de krachtbron in te bouwen in het gereedschap, of het ergens anders te plaatsen, en de opgewekte energie via leidingen naar het gereedschap te transporteren. Vooral als het gewicht te groot zou worden met een intern aangebrachte krachtbron, werd externe plaatsing toegepast. Voorbeelden zijn de slag- en boorwerktuigen, die een tandarts gebruikt; nauwkeurige positionering en krachtdosering zijn hier fundamentele eisen, die niet met een hoog gewicht, en daarmee samenhangende hoge lichamelijke belasting, zijn te verenigen. Een drillboor, die gebruikt wordt door grondwerkers en wegenbouwers, zou te zwaar om te hanteren worden, indien de krachtbron intern was geplaatst. Maar niet alleen het gewicht is een reden voor een extern geplaatste krachtbron. Ook trillingen kunnen een indicatie daarvoor zijn.

Wanneer het gewicht toch erg hoog is, omdat de krachtbron noodzakelijkerwijs intern moet worden aangebracht (zoals bij een motorkettingzaag voor gebruik in bossen), werden hulpmiddelen aangebracht om het gewicht niet alleen maar door armen en schouders te laten tillen, waarbij bovendien een grote rugbelasting optreedt. De zaag wordt met een band om bijvoorbeeld de schouders gehangen, zodat bij momenten van rust de handen ontlast zijn en de zaag dicht langs het lichaam hangt.

De in deze eeuw optredende epidemiologische sprong van klachten als gevolg van het gebruik van gereedschappen gaf aanleiding tot een groei van ergonomisch onderzoek en van ergonomische kennis. Onderzoekers als Mital, Ayoub, Greenberg, Chaffin, Napier, Karwowski, Solf en Fraser hebben een enorme kennis vergaard over de interactie met werktuigen, over werkplekinrichting, en over de fysiologische belasting. Door dergelijke onderzoeken konden richtlijnen worden opgesteld, die ontwerpers handvatten verstrekten om klachten door gebruik van ondoelmatig gereedschap en ten gevolge hiervan werkverzuim en verlies van arbeidsvreugde, te verminderen of te voorkomen.

Nieuwe gereedschappen

Regelmatig worden nieuwe werktuigen ontwikkeld. Soms als een soort herontwerp van een al bestaand gereedschap, maar vaak ook vraagt een hedendaagse arbeidsbehoefte (bedoeld wordt: een behoefte aan een door een mens te verrichten bepaald type mechanische arbeid) een zeer specifiek en nog niet bestaand mechanisch hulpmiddel of werktuig.

Voor beide typen ontwerpen geldt dat ze door mensen gebruikt gaan worden. Dan moet dus rekening worden gehouden met een aantal mensfactoren; er wordt een hoeveelheid ergonomische kennis gevraagd. Gebeurt dit niet, fout of onvolledig, dan kunnen problemen ontstaan. Deze kunnen zich manifesteren in een gebrek aan doelmatigheid, in lichamelijke klachten, of in het ervaren van discomfort. Het moge duidelijk zijn dat bij een zo nauwe relatie tussen mens en product, als bij

handgereedschappen optreedt, het van het grootste belang is het ontwerp te bezien als een systeemontwerp, waarin verschillende fasen al dan niet iteratief worden doorlopen, zoals het specificeren van de met het werktuig te bereiken actie, het uitwerken van taakallocaties, het analyseren van de relevante menselijke factoren, het ontwerpen van de interface (zoals een handvat), het samenstellen van een gebruiksaanwijzing, en het uitvoeren van een evaluatie in de vorm van bijvoorbeeld een gebruiksonderzoek (Sanders en McCormick, 1992; zie ook hoofdstuk gebruiksonderzoek in dit dictaat (Kanis)). Soms zal dan blijken dat het ontwerpen van een in ergonomisch opzicht juist en optimaal functionerend microsysteem een macro-inspanning kan vergen.

Indeling gereedschappen

Gereedschappen worden gebruikt om een hoeveelheid uitwendige mechanische arbeid te verrichten, en/of een kracht uit te oefenen. Wanneer het doel is het verrichten van arbeid, kan dit zijn: destructief of constructief. We spreken van destructief, wanneer materiaal moet worden verwijderd of wanneer een materiaal moet worden gedeeld (slijpen, zagen, snijden, schrapen). We spreken van constructieve arbeid, wanneer materiaal al dan niet tijdelijk moet worden verenigd (spijkeren, schroeven). Wanneer geen arbeid hoeft te worden verricht is het doel een houdfunctie (klemmen, samenbinden).

Gereedschappen kunnen op verschillende wijzen worden ingedeeld: naar soort aandrijving, arbeidsverrichting, wijze van bedienen, functie, of beroepsuitoefening. Een vaak geciteerde indeling is die van Fraser (1980), waar onderstaand schema (figuur 9.1) op is gebaseerd.



Figuur 9.1 Indeling gereedschappen

Een aparte categorie handwerktuigen wordt gevormd door muziekinstrumenten. In principe dienen ze om een hoeveelheid uitwendige mechanische arbeid te verrichten. Altijd wordt, door kinetische energie aan een resonator toe te voeren, deze resonator in trilling gebracht. Het zijn, vooral in de beroepssector, gereedschappen waarbij aan de ergonomie bijzonder hoge eisen gesteld mogen worden, aangezien ze een groep gereedschappen vormen, die een zeer hoge gebruiksfrequentie en gebruiksduur hebben. Van oudsher is er vaak al veel ergonomie (onbewust?) in verwerkt. Maar gezien het groot aantal klachten bij beroepsmatig musiceren, aan ellebogen, schouders, en de rug, én gezien het groot aantal muzikanten dat bij fysiotherapeuten onder behandeling is, mag de ergonomische kwaliteit van een aantal muziek-instrumenten ernstig ter discussie worden gesteld. Veel onderzoek is op dit gebied echter nog niet gedaan. De wereld van de muziekinstrumenten blijkt een zeer conservatieve te zijn. Waar mogelijk zullen beschouwingen in dit hoofdstuk echter ook op deze klasse van gereedschappen worden betrokken.

soort werk	vermogen (W)
werken met een aks	665 - 805
werken met een bijl	259 - 322
ijzer vijlen	140 - 294
werken met een hamer	469 - 574
hout zagen	630 - 840
metselen	192 - 212
met een schep zand opnemen en wegwerpen	441 - 728
schroeven indraaien	35 - 112
graven	525 - 609

Figuur 9.2 Verschillende werktuigen vereisen een verschillend vermogen. Weergegeven is het vermogen bij gebruik van enkele gereedschappen (Lehmann, 1962).

9.1 Nadere omschrijving van de product-subcategorie.

9.1.1 Enkele relevante begrippen

Energieverbruik

Enkele grondbegrippen omtrent fysieke inspanning zijn al behandeld in het hoofdstuk over het tillen van lasten. Net als bij het tillen van lasten wordt bij het werken met gereedschappen fysieke arbeid verricht. Voor enkele typerende vormen van arbeid met gereedschappen geeft Lehmann (1962) op basis van diverse onderzoeken (Spitzer en Hettinger, 1958) het energieverbruik (figuur 9.2).

Spierinzet

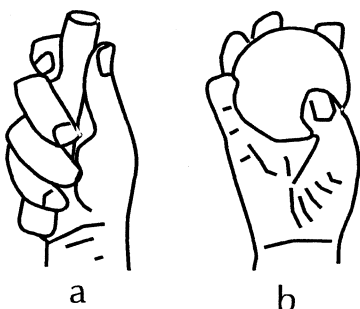
Bij het hanteren van gereedschappen zijn vrijwel altijd twee verschillende typen spiercontracties werkzaam, afhankelijk van de op dat moment relevante spierfunctie: isometrisch of dynamisch. Zoals al eerder is gebleken, is het wenselijk statische spierspanning zo veel mogelijk te vermijden. Als bijvoorbeeld een zwaar langwerpige werktuig moet worden gehanteerd (kettingzaag), dat relatief ver van het lichaam wordt gebruikt, dient men voor een draagband te zorgen, zodat de arm- en schouderspieren minder worden belast. Als spieren ritmisch contraheren en weer ontspannen, krijgt de bloedcirculatie tijdens deze micropauzes kans afvalstoffen af te voeren, en zuurstof en voedingsstoffen aan te voeren. Zodoende kan een bepaalde spierfunctie langer worden volgehouden dan in het statische geval. Het is bijvoorbeeld minder vermoeiend met

een elektrische boor 100 gaten in een uur tijd te boren dan 25 gaten in enkele minuten tijd. Een schroevendraaier kan bijvoorbeeld zo worden ontworpen, dat de grip niet tot stand hoeft te komen door een langdurige isometrische contractie van de spieren in de vingers en de hand.

Greepsoorten

Volgens Napier(1956) kunnen handbewegingen worden verdeeld in twee hoofdgroepen:

1) prehensile movements. Bewegingen om te grijpen. Hiermee wordt een voorwerp vastgepakt en geheel of gedeeltelijk vastgehouden binnen de omvang van de hand, en 2) non-prehensile movements. Bewegingen waar geen grijpen of vasthouden plaatsvindt, maar waarmee voorwerpen worden gemanipuleerd door duwende of tillende bewegingen van de gehele hand of van de vingers apart.



Figuur 9.3 Krachtgreep (A) en precisiegreep (B).

De grijpbewegingen (prehensile movements), waar het hier om gaat, worden weer verdeeld in een krachtgreep en een precisiegreep. Bij een krachtgreep wordt een, in de regel min of meer cilindervormig, object geklemd tussen de gebogen vingers en de palm van de hand, waarbij de duim een extra stabiliserende kracht kan uitoefenen (figuur 9.3.a). Bij een precisiegreep wordt het object geklemd tussen de flexorzijden van de vingeruiteinden en van de duim (figuur 9.3b).

Bullinger en Solf (1979) onderscheiden de contactgreep (Kontakt-Griff), de houdgreep (Zufassungs-Griff) en de omsluitings- of omvattinggreep (Umfassungsgriff). Hier wordt verder in dit hoofdstuk op ingegaan

Vermoeidheid

Veel taken, waarbij gereedschappen worden gebruikt, vergen een zekere scholing en bekwaamheid om er mee om te gaan. Dan is niet alleen fysieke inspanning een veroorzaker van vermoeidheid. Deze kan zelfs minimaal zijn. Voortdurende hoge concentratie eist na zekere tijd ook zijn tol. Een belangrijke vermoeidheidsfactor kan in afleiding door de omgeving liggen. Verder is vermoeidheid een gevolg van vele andere factoren. Naast fysieke en mentale zwaarte van het werk, kunnen ritme van werk en rust, gebrek aan slaap, voeding, omgevingscondities en de structurele organisatie van de werkplek belangrijke factoren zijn. Ook sociale en persoonlijke problemen spelen vaak een rol.

Het uitvoeren van mentaal belastend werk op zich is al vermoeiend. Dit kan zich uiten in verveeldheid, zich niet meer fris voelen, vermindering van motivatie en in een algemeen gevoel van onbehagen. De kwaliteit van het werk gaat significant achteruit. Persoonlijke normen kunnen de objectieve gaan overheersen, en gaan meer en meer

van toevallige omgevingsvariabelen afhangen. Hetzelfde geldt voor aspecten als timing en perifere aandachtsvelden, visueel en anderszins (Fraser, 1980, pag. 19).

9.1.2 Nadelige gevolgen van het gebruik van gereedschappen

Sedert de mens gereedschappen gebruikt heeft hij te maken met vervelende gevolgen van het gebruik er van. Ergonomische verbeteringen van vrijwel alle producten, die in de loop der tijden zijn gemaakt, werden waarschijnlijk pas aangebracht na het optreden van dergelijke klachten, én na het vaststellen, dat deze klachten door de eigenschappen van het product en/of de wijze van gebruik werden veroorzaakt. Bedoelde gevolgen kunnen weefselaanpassingen zijn, zoals de vorming van eelt, maar ook blaren en andere typen verwondingen. Volgens Fraser (1980) worden blaren, eeltvorming, en gewrichtsdeformaties veroorzaakt door:

- a) excessieve druk op de hand,
- b) druk, die wordt uitgeoefend op daartoe ongeëigende plaatsen van de hand, zoals waar botten door slechts weinig weefsel worden bedekt,
- c) schuifspanning (waarbij de druk niet loodrecht op het handoppervlak staat),
- d) glijden van het handvat over het oppervlak van de hand.

In bepaalde beroepen kan dit zelfs leiden tot beroepsstigmata.

Een epidemiologische analyse van deze gevolgen levert gegevens aan de ergonomisch onderzoeker én aan de ontwerper van gereedschappen. Deze gegevens betreffen veelal vorm en stand van het handvat, gewicht, massaverdeling, oppervlaktestructuur van het handvat, maar ook aspecten van de werkplek en werkomstandigheden. Zonder het belang van de laatste twee aspecten te onderschatten, zullen wij ons in dit hoofdstuk vooral concentreren op de ergonomische ontwerpaspecten van het gereedschap zelf.

Epidemiologie

In het ide130-dictaat is al ingegaan op mogelijke nadelige gevolgen van het gebruik van werktuigen. Hier volgen enige aanvullingen. Mital en Karwowski (1991) onderscheiden twee typen verwondingen: acute en chronische verwondingen. Acute verwondingen treden onmiddellijk op na de oorzaak. Voorbeelden: snijwonden, schaafwonden, verbrandingen, bloeduitstortingen, breuken en verrekkingen. Chronische verwondingen (die ook ziektes mogen worden genoemd), zoals ontstekingen van pezen en peesschedes, of verminderde innervatie, zijn het gevolg van 1) een hoge gebruiksfrequentie, 2) extreme gewrichtsexcursies, en 3) krachtoefening.

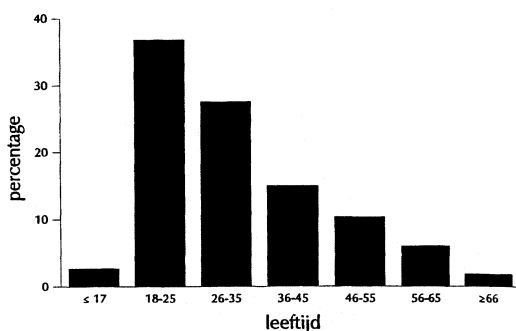
Acute verwondingen

In 1984 werd in de USA een uitgebreid inventariserend onderzoek gehouden naar acute verwondingen, die gerelateerd zijn aan het gebruik van handgereedschappen in de industrie (Mital en Karwowski, 1991). In dit onderzoek werden gedetermineerd: 1) het vóórkomen (frequentie), de ernst en de kosten, en 2) probleemgebieden: gereedschapstype, type ongeval, aard van de verwonding, de betrokken lichaamsdelen, tak van industrie, en enkele karakteristieken van de verwondde medewerker. Enkele resultaten uit dit onderzoek worden hier gegeven (fig. 9.4). Het bleek, dat 9% van alle verwondingen, tijdens het werk opgelopen, werd veroorzaakt door het gebruik van handgereedschappen. Dit vormde op nationale jaarbasis een totale schadepost van US\$10 miljard. De meeste verwondingen bleken, bij met handkracht aangedreven gereedschappen, voor te komen bij het gebruik van messen, gevolgd door hamers en sleutels. Bij motoraangedreven gereedschappen blijkt vooral bij het gebruik van zagen

vaak iets mis te gaan. Het meest voorkomende type verwonding is de snijwond (messen), zowel bij handgereedschappen als bij motoraangedreven gereedschappen. Bij handgereedschappen zijn de bovenste extremiteiten en de rug de meest getroffen lichaamsdelen. Bij motorgereedschappen komen daar de onderste extremiteiten bij. In fig. 9.5 is het aantal letsels naar leeftijd weergegeven. Het blijkt dat bij de jonge werknemer, van tussen 18 en 25 jaar, meer dan een derde van alle ongevallen plaatsvindt. Het is echter niet bekend, of deze leeftijdscategorie bijvoorbeeld meer dan gemiddeld gevaarlijk werk verricht, of dat deze groep meer dan gemiddeld vertegenwoordigd was in de steekproef, zodat het moeilijk is hier conclusies uit te trekken.

type gereedschap	percentage	type ongeval/blootstelling	percentage
<i>handkracht</i>		<i>handkracht</i>	
mes	44.3	getroffen door of gestoten tegen	71.2
hamer	10.0	bovenmatige inspanning	24.8
steek/ringsleutel	8.9	geklemd in of tussen	2.0
schop	5.7	val	0.7
touw/ketting	3.4		
koevoet	3.0		
schaar	2.4		
schroevendraaier	2.1		
tang	1.0		
bijl	0.8		
<i>motorkracht</i>		<i>motorkracht</i>	
zaag	33.6	getroffen door of gestoten tegen	62.6
boor	17.6	bovenmatige inspanning	27.9
slijpmachine	8.3	geklemd in of tussen	4.4
hamer	8.0	val	1.5

Figuur 9.4 Percentages ongevallen in de USA-industrie in 1984, ingedeeld naar type gereedschap en naar type ongeval/blootstelling. Onderscheid is gemaakt naar handkracht en motoraandrijving (Mital en Karwowski, 1991).



Figuur 9.5 Percentage ongevallen met gereedschappen, weergegeven als functie van de leeftijd (Mital en Karwowski, 1991).

aard verwonding	percentage	lichaamsdeel	percentage
<i>handkracht</i>		<i>handkracht</i>	
snijwonden	61	bovenste extremiteiten	59.3
verrekkingen	19	rug	16.7
bloeduitstortingen	10	romp	8.5
breuken	4.0	hoofd en nek	3.9
		ogen	0.7
<i>motorkracht</i>		<i>motorkracht</i>	
snijwonden	53	bovenste extremiteiten	51
verrekkingen	25	onderste extremiteiten	22.1
bloeduitstortingen	8.0	rug	15.4
breuken	5.0	romp	5.6
		hoofd en nek	4.0
		ogen	0.3

Figuur 9.6 Percentages verwondingen naar aard van de verwonding en naar getroffen lichaamsdeel (Mital en Karwowski, 1991).

Chronische verwondingen

Chronische verwondingen ontstaan bij cumulatie van langdurig, frequent gebruik, in combinatie met extreme gewrichtsstanden en grote krachten. Bij verschillende industriële sectoren is een verschillende incidentgevoeligheid, tot 36 incidenten per 200.000 werkuren (ruim 100 mensjaren). Dat betekent dat jaarlijks tot ruim een derde deel van de werknemers in die sector chronische klachten krijgen.

De meest voorkomende klachten zijn het carpale tunnel syndroom, tendonitis (zie ide130), tenosynovitis, epicondylitis, ischemie (ide130) en het witte vingersyndroom (ide130).

9.2 M, P, O en I factoren

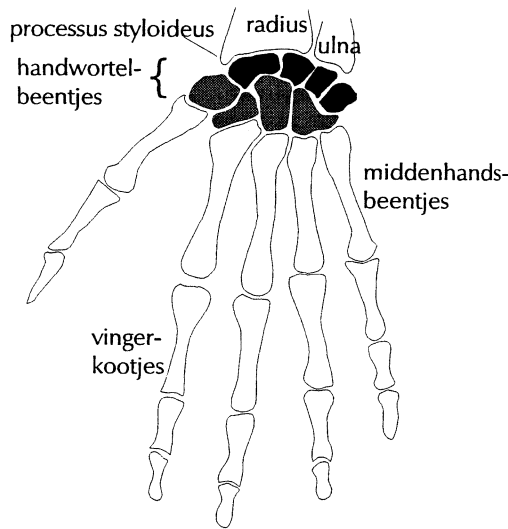
9.2.1 Mensfactoren

Bij het hanteren van gereedschappen kunnen grosso modo drie aspecten worden onderscheiden: het houden of dragen van het product, het (grote) sturen of positioneren en het nauwkeurig bedienen. Het dragen oefent vooral een belasting uit op bovenarm en schouderpijlen. Voor het sturen komen hier de bewegingen van onderarm bij. Voor het bedienen is men in de meeste gevallen aangewezen op handfuncties. Natuurlijk speelt het hele lichaam een rol, en zullen met het hele lichaam compenserende bewegingen worden uitgevoerd. De uiteindelijke krachtoefening zal uiteindelijk enerzijds via de voeten of zitvlak en anderzijds via het gereedschap naar het te bewerken of te houden materiaal of product worden overgedragen. Men dient in dit opzicht dus het hele lichaam als vrij-lichaamsdiagram te beschouwen. Gaat men echter kijken naar de belasting in het schoudergewricht, dan wordt de hele arm als vrij-lichaamsdiagram van de schouder losgemaakt. Kijkt men naar de belasting van de hand als geheel, dan verkrijgt men het correcte vrij-lichaamsdiagram door de hand bij de pols vrij te maken. Zo kan men verder gaan tot in de vingerkootjes.

In het nu volgende worden eerst enige anatomie van de hand en pols, én hieraan intrinsieke risico's bij het hanteren van gereedschappen behandeld. Daarna komt krachtoefening door arm en hand ter sprake.

1. Hand en pols

Botstructuur en bewegingsmogelijkheden: in de hand als geheel zijn drie "lagen" te onderscheiden: de handwortelbeentjes, die de pols vormen, de middenhandsbeentjes, en de vingerkootjes. De middenhandsbeentjes en de vingerkootjes vormen samen de hand (zie figuur 9.7).



Figuur 9.7 De botten van de hand. De proximale handwortelrij is zwart weergegeven, de distale rij middelgrijs en de middenhandsbeentjes lichtgrijs.

Het polsgewricht bestaat uit het bovenste en het onderste polsgewricht. Het bovenste is het gewricht tussen enerzijds de radius en enigszins de ulna, en anderzijds de proximale rij handwortelbeentjes. Rotatie om de lengteas van de onderarm is in het polsgewricht niet mogelijk (deze rotatie vindt plaats door pronatie of supinatie in de onderarm). Het onderste polsgewricht is het gewricht tussen de proximale en de distale rijen van de handwortelbeentjes. Effectief gesproken kunnen in dit gewricht twee rotaties worden uitgevoerd: flexie (ook palmar-flexie genoemd) en extensie (ook dorsaal-flexie genoemd), en radiaal- en ulnair-abductie. Het aantal vrijheidsgraden van het polsgewricht is dus gelijk aan twee.

Er zijn vijf gewrichten tussen de middenhandsbeentjes en de handwortelbeentjes. Onderscheiden worden enerzijds de gewrichten tussen handwortelbeentjes en de tweede tot en met de vijfde middenhandbeentjes, en anderzijds het gewricht tussen de handwortelbeentjes en het eerste middenhandsbeentje (dat van de duim). De eerste genoemde gewrichten zijn zeer strakke gewrichten waarin zeer weinig beweging mogelijk is. Het gewricht met het eerste (duim) middenhandbeentje kent twee rotaties: ab- en adductie (afvoeren en aanvoeren) van de duim, en flexie en extensie (buigen en strekken) van de duim. Het opponeren van de duim (het stellen van de duim tegenover de andere vingers) bestaat uit een combinatie van flexie en adductie.

De gewrichten tussen de middenhandsbeentjes en de vingerkootjes (phalangeae), zijn een soort "gemengde" gewrichten: ten dele scharniergewrichten, en ten dele zadelgewrichten. Flexie en extensie zijn altijd mogelijk, maar in gestrekte stand kunnen

bovendien de vingers worden geabduceerd en geadduceerd (spreiden en sluiten van de vingers).

De gewrichten tussen de vingerkootjes onderling zijn zuivere scharniergewrichten (één vrijheidsgraad), die slechts flexie en extensie toestaan.

Bewegers van de pols en de hand

Voor de beweging van het polsgewricht en de vingers zijn ongeveer twintig spieren verantwoordelijk. De grootste en de belangrijkste ontspringen aan de epicondylen van de humerus. De radiaal-adductoren en de extensoren van de hand ontspringen onder meer aan de laterale epicondyle en hechten aan de middenhandsbeentjes en de vingerkootjes. Daardoor is een tweede functie van deze spieren het strekken van de vingers.

De adductoren en de flexoren ontspringen onder meer aan de mediale condyle. Zij hechten aan de handwortelbeentjes, aan de middenhandsbeentjes, en aan de vingerkootjes; overal natuurlijk aan de ventrale zijde van de hand. Blijkbaar is hier een tweede functie van de handbuigers: het buigen van de vingers. Bovendien bevinden zich in de handpalm vele kleine spieren, die de vingers buigen, strekken en spreiden. Om te voorkomen dat de pezen van deze spieren een soort boogpees zouden vormen tussen de carpale tunnel en de vingerkootjes, lopen ze door een ingenieus stelsel van peesboogjes aan de middenhandsbeentjes en de vingerkootjes.

Beweging van de duim komt tot stand door spieren, die ontspringen aan de onderarm en aan de handwortelbeentjes. De duim kent twee bewegingsvrijheden: 1) in het vlak van de hand (abductie en adductie), en 2) loodrecht op het vlak van de hand (flexie en extensie).

Carpale tunnel en hier optredende klachten

Over de palmaire zijde van de handwortelbeentjes loopt een sterk ligament, dat bij buiging van de hand dient te voorkomen dat de pezen van de flexoren van de hand de huid "naar buiten drukken". Dit ligament heet het retinaculum flexorum. Zo ontstaat daar een soort tunnel, de carpale tunnel. Helaas loopt door deze tunnel tussen de spierpezen en het retinaculum een belangrijke zenuw, de nervus medianus. Deze zenuw innerveert een groot deel van de intrinsieke handmusculatuur en de huid van de hand. Bij gespannen pezen en palmar geflexeerde hand raakt deze zenuw beklemd tussen de pezen en het retinaculum, hetgeen een beschadiging van de zenuw kan opleveren en resulteren in, afhankelijk van de plaats, gevoelloosheid of pijn, functievermindering van de handspieren en uiteindelijk in atrofïering van de handspieren, alles in het innervatiegebied van de n. medianus. We spreken van het "carpale tunnel syndroom (CTS)". Dergelijke klachten blijken zich in de praktijk langzaam te ontwikkelen, zodat ze vaak niet worden herkend als bijvoorbeeld specifieke beroepskwalen (beroepsstigmata).

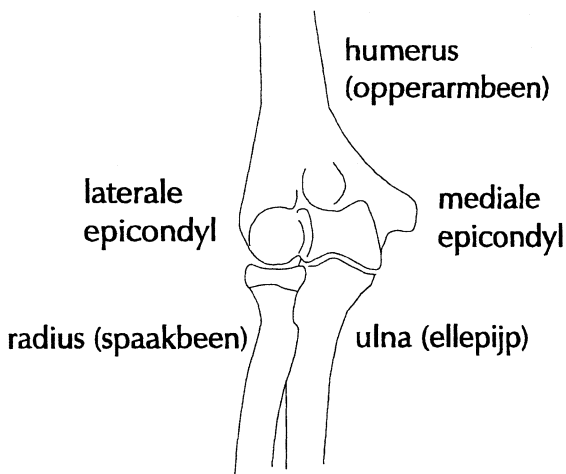
Een vergelijkbare tunnel wordt op de rug van de hand gevonden; hier lopen de pezen van de extensoren onder het "retinaculum extensorum" door.

Wanneer de hand in palmar flexie staat, in ulnair abductie, of in een combinatie, worden de pezen in de carpale tunnel tegen elkaar en tegen het retinaculum geperst. Resultaat kan zijn een, bij beweging pijnlijke, ontsteking van de peesschedes: tenosynovitis. Bij het uitoefenen van een knijpkracht wordt door de vingerbuigers een veelvoud van de knijpkracht uitgeoefend, teneinde het buigend moment op de vingerkootjes te kunnen uitoefenen. Bij het ontwerpen van werktuigen, waar langdurig grote krachten mee worden uitgeoefend, is het dus belangrijk na te gaan of bij het gebruik er van de genoemde belastingen kunnen optreden.

Een voorbeeld van een beweging, die vaak tot tenosynovitis of CTS heeft geleid, is het uitwringen van kleding, waarbij de rechterhand rechtsomdraait en de linkerhand linksom. Daarbij treedt bij de rechterhand de genoemde rotatie op. Dezelfde type beweging komt ook wel voor bij het indraaien van schroeven, bij roterende bedieningscomponenten, gashandels van motorfietsen en bij het buigen van draad met behulp van buigtang. Een andere risicofactor is het langdurig uitoefenen van externe druk op de pols of op de basis van de handpalmen.

Epicondylitis

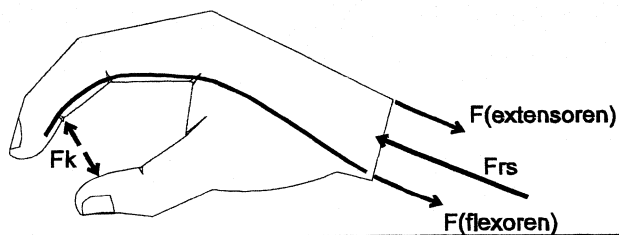
Een andere, zeer vaak voorkomende, klacht is een irritatie van de laterale regio van de elleboog. Aan de epicondylus lateralis van de humerus (fig) hechten krachtige extensoren van de pols en de hand. Als deze spieren krachtig worden aangespannen, treedt een botreactiekracht op tussen de humerus en de kop van de radius (figuur 9.8).



Figuur 9.8 Vooraanzicht van de rechter elleboog. De humerus (opperarmbeen) heeft twee epicondylen (knobbels), waar de onderarmspieren aan hechten.

Het gevolg kan dan zijn een lokale ontsteking aan peesaanhechting of botvlies. Deze kwaal heet epicondylitis lateralis, en wordt in de volksmond ook wel met tenniselleboog of tennisarm aangeduid.

Deze extensoren worden vooral in twee situaties gebruikt. Allereerst natuurlijk bij extensie van het polsgewricht of van de vingers. Dit moge duidelijk zijn. Maar ook bij het uitoefenen van knijp- of grijpkrachten zijn deze spieren actief. Knijpkracht wordt uitgeoefend door de vingers te buigen en de duim te opponeren. Duimoppositie geschiedt vooral door handintrinsieke spieren, die in het VLD van pols en hand samen geen rol spelen, aangezien zij het polsgewricht niet passeren. In de onderarm zijn dus met name flexoren actief, welke ventraal (gerefereerd aan de anatomische positie) zijn gelegen. In figuur 9.9 is weergegeven dat deze spierkracht $F(\text{flexoren})$, samen met de reactiekracht in het gewricht een buigend moment in de pols veroorzaakt. Om de hand niet te laten buigen bij het uitoefenen van een knijpkracht moeten dus ook extensoren actief zijn: $F(\text{extensoren})$, die samen met de reactiekracht in het gewricht een compenserend strekkend moment veroorzaken. Aangezien deze extensoren ontspringen aan de epicondylus lateralis wordt het ontstaan van epicondylitis mogelijk gemaakt. Knijpkracht wordt zeer vaak gebruikt: bij bijvoorbeeld schrijven, schroeven, wringen, sporten (hockey, tennis), motorrijden, musiceren (viool, gitaar), enz



Figuur 9.9 Knijpkracht wordt uitgeoefend door de flexoren van de vingers. Deze spieren zijn echter tevens flexoren van het polsgewicht. Daarom moeten ook de extensoren worden geactiveerd om flexie van de pols te voorkomen. De reactiekracht F_{rs} in het gewricht is gelijk aan de som van de krachten van flexoren en extensoren. Voor meer gedetailleerde behandeling zie Frankel, Nordin en Sniijders(1984).

2. Krachtuitoefening

Voor het hanteren van gereedschappen is spierkracht nodig. Soms veel kracht, zoals bij het indraaien van schroeven of bij grondverzetwerk. Andere keren staat het nauwkeurig werken met een lage kracht voorop, zoals bij het sorteren van postzegels met een pincet. Ook kunnen training en werkduur van invloed zijn op het hanteren van gereedschappen. Voor een goed begrip van het begrip "krachtuitoefening" dient men nog enkele aspecten te onderscheiden. Allereerst spierkracht. Hieronder wordt verstaan:

- 1) de kracht, die een bepaalde spier kan uitoefenen,
- 2) de kracht, die een type spier kan uitoefenen (parallelvezelig, waaivormig, geveerd)
- 3) spierkracht, gerelateerd aan de fysiologische doorsnede (De fysiologische doorsnede van een spier is de oppervlakte van die spier, gemeten loodrecht op de vezelrichting. Bij parallelvezelige spieren lopen de vezels evenwijdig aan de lengterichting van de spier. Bij (bijvoorbeeld) gevederde spieren maken de vezels een hoek met de lengterichting van de spier. In de eerste soort is een grotere verkorting mogelijk, maar met de tweede soort kan een grotere kracht worden uitgeoefend) .

Beschrijving vindt plaats in termen als de relatie tussen de contractiekracht van een spier of spiervezel (type) en lengte, contractiesnelheid, tijd, getraindheid, voorgeschiedenis, temperatuur, vermoeidheid en innervatie. Voor verdere studie bijvoorbeeld: Nordin en Frankel (1989).

Ten tweede spreekt men vaak over lichaamskracht, of de kracht in een bepaalde situatie door een bepaald lichaamssegment uit te oefenen, waarbij de gravitatiekracht soms een belangrijke rol speelt. Men kan bijvoorbeeld meten hoe met een nijptang wordt geknepen. De knijpkracht komt tot stand door samenwerking tussen een groot aantal spieren in de hand en in de onderarm.

Ten derde wordt vaak gesproken over maximale krachtuitoefening. Hierbij wordt onderscheiden tussen maximale statische en dynamische. Kroemer (1977, p10 en Fähnrich et al,1983, p14) citerend:

Unter der Maximalkraft für statische Kraftausbringung versteht man die bei willentlich größtmöglicher isometrischer Muskelkontraktion nach außen abgebbare Reaktionskraft. Unter der Maximalkraft für dynamische Kraftausbringung versteht man die Fähigkeit, in einer dynamischen maximalen willkürlichen Muskelanspannung Arbeit zu erzeugen.

Voor de vele praktische factoren, die van invloed zijn op het uitoefenen van krachten, kan naast hetgeen al in hoofdstuk acht aan de orde is geweest, bovendien het schema van Fähnrich et al.(1983) van nut zijn (figuur 9.10). Hij onderscheidt in deze factoren drie hoofdgroepen: 1. productfactoren, 2. biomechanische en fysiologische factoren,

en 3. psychologische aspecten. In een uitgebreid onderzoek heeft hij maximale krachttuitoefening gemeten, terwijl de factoren uit dit schema zoveel mogelijk onder controle werden gehouden.



Figuur 9.10 Factoren die van invloed zijn op het uitoefenen van krachten (naar Fährlich et al., 1983).

In het vervolg van dit hoofdstuk zullen verschillende van deze factoren aan de orde komen.

Bij het gebruiken van gereedschappen komen verschillende typen krachttuitoefening aan de orde. Onderscheiden kunnen worden: krachten van schouderbewegers, krachten van de elleboogbewegers, krachten van supinatie en pronatie, krachten van de polsbewegers, en krachten van de vingerbewegers.

Schouderbewegingen zullen we hier niet bespreken, aangezien deze zelden een beperkende factor zijn bij het gebruik van gereedschappen.

3. Bewegingen

Elleboogbewegingen zijn: buigen en strekken. Deze krachten worden gebruikt bij zeer veel gereedschappen, zowel bij gereedschappen, waar de kracht de directe actie uitvoert, zoals zaag, schaaf, vijl, hamer, bijl, troffel (dynamisch), als bij gereedschappen waar de kracht meer dient ter ondersteuning en voor het vasthouden, zoals een elektrische boor (statisch).

Aangezien spierkracht rond het ellebooggewricht altijd wordt gebruikt om een moment uit te oefenen, wordt uit krachtmetingen veelal het moment rond het gewricht afgeleid. Figuur 9.11 geeft maximale momenten voor het ellebooggewricht, met tussen haakjes de standaardafwijkingen. Deze metingen zijn gebaseerd op een elleboogflexie van 90°.

	isometrische flexie (Nm)	isometrische extensie (Nm)
mannen	70(20)	40(7)
vrouwen	40(13)	25

Figuur 9.11 Isometrische flexie- en extensiemomenten (Nm) bij mannen en vrouwen. Gegeven zijn gemiddelden en standaardafwijkingen (tussen haakjes). De elleboogstand was overall 90°. (Naar Rodgers, 1986, pag. 462).

Als deze hoek verandert, neemt het maximale moment af (zie figuur 9.12). Bovendien hangt het maximale moment af van de hoeksnelheid. Van isometrisch tot een hoeksnelheid van 180°/s is er een afname van een orde van grootte van 50%. (Tabellen naar Rodgers (1986, pag. 462)).

hoek	mannen		vrouwen	
	flexie	extensie	flexie	extensie
30°	90%	50%	70%	70%
90°	100%	100%	100%	100%
120°	70%	80%	90%	90%
30°	45%	40%	40%	50%
70°	50%	60%	50%	65%
120°	30%	45%	40%	30%

Figuur 9.12 Percentages maximaal moment voor isometrische (boven) en isokinetische (onder) krachtoefening in het ellebooggewricht als functie van hoek, bewegingsrichting en geslacht. Isokinetisch bij hoeksnelheid van 180°/s naar Rodgers, 1986, pag. 462).

Pronatie en supinatie

Pronatie en supinatie zijn bewegingen die worden gebruikt wanneer de hand om een axiale as ten opzichte van de onderarm wordt gerooteerd, of wanneer zo'n beweging moet worden tegengehouden. Gereedschappen: schroevendraaier (actieve rotatie) en elektrische schroevendraaier (tegenhouden), pijpsleutels. Deze krachtoefening komt zowel in de beroepssectoren als in het dagelijks leven zeer vaak voor.

Polsbewegingen

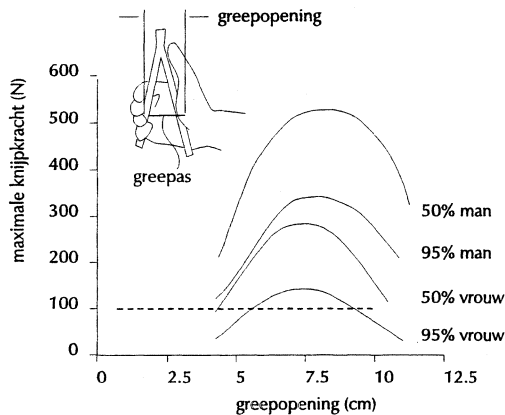
Weinig informatie is voorhanden over de krachten, die door de pols kunnen worden uitgeoefend bij de verschillende polsbewegingen. Figuur 9.13 geeft enige momenten (Rodgers, 1986, p467).

	isometrische pols-flexie (Nm)	isometrische pols-extensie (Nm)
mannen (recruten)	8.0(1.6)	10.1(2.2)
vrouwen (studenten)	5.5(0.9)	6.9(1.2)

Figuur 9.13 Maximale isometrische momenten van polsflexie en -extensie. Tussen haakjes de standaardafwijkingen. Het polsflexie-moment blijkt 20% lager te zijn dan het pols-extensie-moment, en vrouwen blijken ongeveer 70% van het moment van mannen te kunnen opbrengen (Rodgers, 1986).

Hand en vingerbewegingen

Een belangrijke krachtuitoefening van de hand is de knijpkracht. In figuur 9.16 is deze weergegeven voor 50% en 95% mannen en vrouwen (Greenberg en Chaffin, 1977). Deze kracht is vastgesteld met behulp van het meetapparaat, zoals weergegeven in figuur 9.14. Uit deze figuur blijkt, dat bij greepopeningen tussen 50 en 90 mm meer dan 95% van de vrouwen 100N kan opbrengen.



Figuur 9.14 Maximale knijpkracht voor verschillende greepopeningen (Greenberg & Chaffin, 1977).

9.2.2 Productfactoren

Verschillende productaspecten hebben invloed op de interactie, comfort, veiligheid en doelmatigheid. Als bijvoorbeeld het handvat van een schroevendraaier klein is, zal het eerder worden gebruikt voor nauwkeurig dan voor krachtig werk. Als het massamiddelpunt van een elektrische boormachine te ver naar voren ligt, is een hoog radiaal abducerend moment vereist om de boor te kunnen hanteren.

Elk gereedschap heeft een werkdeel of kop, en een houddel of handvat. De eisen, die worden gesteld aan de oppervlakte van het handvat, zijn veelal tegenstrijdig met die van het werkdeel. Daarom worden ze verschillend ontworpen, met andere materialen (bijv. een schroevendraaier). Ergens is dus ook de koppeling tussen deze twee delen. Doelmatigheid en comfort van een gereedschap worden niet alleen gedetermineerd door verschillende ergonomische aspecten van gereedschappen, zoals de vorm en de oppervlakte van het handvat, het gewicht van het gereedschap en de massaverdeling, maar ook door technische zaken zoals de scherpte van een zaag, boor of beitel, of de massa van een hamerkop. Bot gereedschap bijvoorbeeld leidt vaak tot technische én ergonomische wantoestanden.

In deze paragraaf richten wij ons niet zo zeer op deze technische kwaliteiten, maar concentreren op ergonomische aspecten van het handvat en het product als geheel.

Vorm en dimensionering van het handvat

De vorm van het handvat beïnvloedt bij gebruik van het gereedschap lichaamshouding, positioneringsgemak, gezichtsveld en tactiele terugkoppeling. Het handvat moet bovendien een zodanige vorm hebben, dat het contactvlak zo groot mogelijk is, zodat een maximale spreiding van de interactiekracht wordt bewerkstelligd, en de kans op drukconcentraties vermindert. Dit is vooral belangrijk bij gereedschappen, waar door de hand grote kracht op wordt uitgeoefend.

De basisvorm van de meeste handvatten is een cilinder. Vrijwel altijd wordt de vorm van de cilinder aangepast tot enigszins conisch (schroevendraaier, vijl) en/of afgeplat

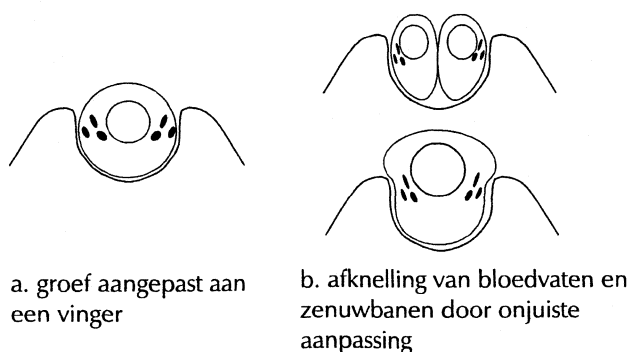
(hamer). Ook kan de cilindervorm tot een vrij complexe modificatie worden getransformeerd (handvat van een zaag). Varianten van de cilindervorm zijn de hexagonale en de vierkante vormen. De hexagonale vorm wordt veel toegepast bij kleinere schroevendraaiers, waar niet te veel kracht hoeft te worden uitgeoefend. De vierkante vorm van een handvat, zoals vaak wordt aangetroffen bij een grotere schroevendraaiër, kan minder vrij worden geroteerd, en heeft scherpere hoeken.

Vlak onder de huid van de handpalm lopen arterieën en zenuwen van de hand. De handpalm is daarom ongeschikt om kracht uit te oefenen. De regio's lateraal hiervan (duim- en pinkmuis) kunnen dat veel beter, mede door de aanwezigheid van vetkussentjes. Moet toch kracht worden uitgeoefend door de hele handpalm, dan dient die zoveel mogelijk te worden gespreid. Dit kan worden bereikt door een sectie uit een bolvorm aan het uiteinde van het handvat aan te brengen (handbeitel, schroevendraaiër, priem), of met een handvat, dat lang genoeg is (bijvoorbeeld bij een tang). Als een tang bijvoorbeeld een te klein handvat heeft, wordt alleen maar druk uitgeoefend in de handpalm. Door vergroting van het handvat wordt de druk verdeeld over een groter vlak, inclusief de duimmuis.

Een handvat kan ook als een bol worden uitgevoerd. Een bolvormig handvat heeft het voordeel, dat het vanuit veel hoeken kan worden aangepakt. Deze vorm wordt niet veel aangetroffen bij gereedschappen, behalve als handvatten, die dienen voor stabilisatie van groter gereedschap, en bij nieuwe typen schroevendraaiers (waar de bol dan een grote diameter heeft), waarmee een groter moment kan worden uitgeoefend dan bij de meer cilindervormige handvatten.

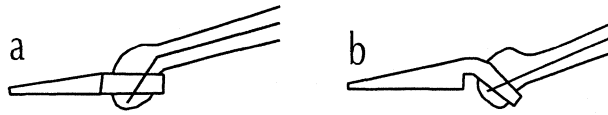
Teneinde transpiratievocht buiten het werkelijke contactvlak te houden kan een handvat worden geribbeld, of van een andere textuur worden voorzien.

Een vorm als een afgietsel van een hand is zeker niet aan te bevelen. Iemand anders zou het gereedschap dan niet kunnen gebruiken zoals het werd bedoeld. Beter is het uit te gaan van statistische karakteristieken van handmaten. Om dezelfde reden dient men voorzichtig te zijn met speciale uitsparingen voor de vingers. Hier lopen de bloedvaten en de zenuwen aan de zijkant van de vingers. Zoals in figuur 9.15 te zien is, kunnen dan bloedvaten en zenuwbanen worden afgekneld. Hetzelfde gevaar treedt op bij iemand met dikkere vingers.



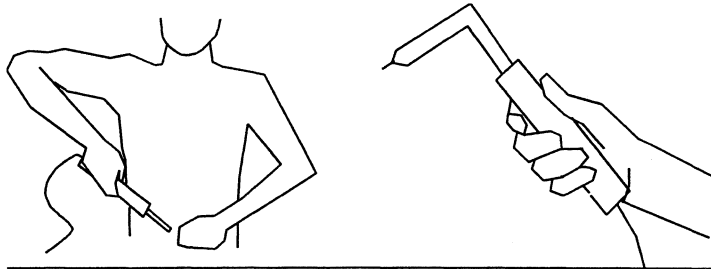
Figuur 9.15 Als een groef voor één vingerbreedte goed past, kunnen bij zowel kleinere als grotere vingers bloedvaten en zenuwbanen worden afgekneld (naar Tichauer en Gage, 1977).

De vorm van een handvat kan ook de lichaamshouding beïnvloeden. In figuur 9.16 is weergegeven, hoe een knik in het handvat van een mes ulnair-abductie tegengaat. In afbeelding a moet de hand continu in ulnair-abductie staan, hetgeen spiervermoeiing en, in een later stadium, peesschedeontstekingen en andere klachten kan veroorzaken (Greenberg & Chaffin, 1977). Volgens Fraser moet de hoek van deze knik 78° bedragen.



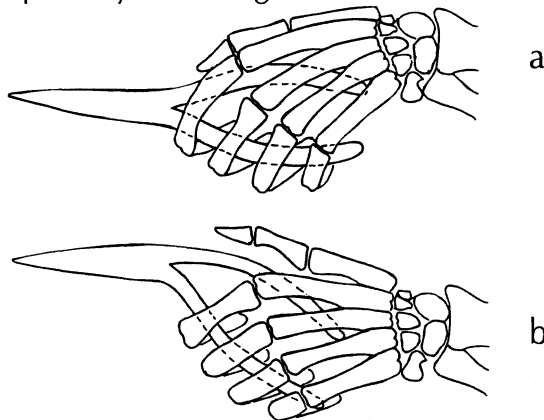
Figuur 9.16 Het mes in afbeelding a kan alleen goed worden gebruikt met de hand in ulnair-abductie. Wordt het handvat onder een hoek gezet, dan kan de hand in een rechte lijn met de onderarm blijven (naar Greenberg en Chaffin, 1977).

Een ander voorbeeld, hoe de vorm van een gereedschap de lichaamshouding beïnvloedt, is te zien in figuur 9.17. De linker figuur geeft weer, hoe een verkeerd handvat van een soldeerbout een schouderabductie veroorzaakt. Wordt het handvat gevormd zoals in de rechter figuur, dan is deze abductie niet meer nodig. Deze abductie kan, bij kleinere gereedschappen, ook worden voorkomen door het hanteren tussen de vingers als een pen.



Figuur 9.17 Door het ontbreken van een knik in het handvat van het soldeerbout is de gebruiker genoodzaakt de bovenarm te abduceren (a). Dit leidt, afhankelijk van de abductiehoek, tot vermoeidheid. Dit kan worden voorkomen door het handvat vorm te geven zoals in figuur (b). Naar Greenberg en Chaffin (1977).

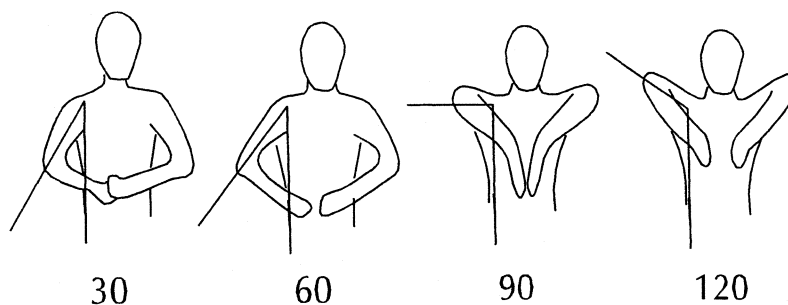
Tichauer en Gage (1977) hebben getest of het optreden van CTS, tenosynovitis en epicondylitis afhangt van de vorm van het handvat van een tang (figuur 9.18).



Figuur 9.18 De invloed van de vorm van het handvat van een tang op rotatie in het polsgewricht. In fig (a) is duidelijk een rotatie aanwezig, die aanleiding tot klachten kan geven bij langdurig gebruik. In fig (b) is weergegeven, hoe deze rotatie is opgeheven door een hoek in het handvat aan te brengen (naar Tichauer en Gage, 1977).

In figuur 9.18a is weergegeven, hoe bij het hanteren van een conventionele tang een ulnair-abductie noodzakelijk is. We zien ook dat een hoek, aangebracht in het handvat (figuur 9.18b), de ulnair-abductie van de pols opheft. Met het gebogen handvat bleek, na twaalf weken intensief gebruik, geen epicondylitis of CTS te zijn opgetreden. Bij een controlegroep, die met de conventionele vorm werkten, bleken 7 van de 40 werknemers wel dergelijke klachten te hebben. Het optreden van tenosynovitis bleek bij vier werknemers op te treden, tegen vijftien bij de controlegroep. De aanbevolen hoek bedraagt 45° (Bullinger en Solf, 1979).

Vermoeidheid in de schouderpijnen hangt af van de hoek van abductie, zoals in figuur 9.19 en figuur 9.20 is weergegeven (Greenberg en Chaffin, 1977).



Figuur 9.19 Vermoeidheid in de schouder hangt af van de abductiehoek van de bovenarm. Deze hoek is weergegeven voor hoeken van 30°, 60°, 90° en 120°.

schouderabductie (graden)	vermoeidheidstijd (min)
30	68
60	25
90	10
120	8

Figuur 9.20 De vermoeidheidstijd als functie van de abductiehoek in het schoudergewricht (Greenberg en Chaffin, 1977).

De kracht, nodig om een gereedschap met een handvatvorm als dat van een tang te hanteren, moet vaak langere tijd worden volgehouden. Hiervoor is knijpkracht nodig. De maximaal op te brengen knijpkracht is afhankelijk van de handopening, en dus ook van de afstand tussen de handvatten (zie fig 9.14). Een handopening tussen 60 en 80 mm lijkt optimaal voor mannen en vrouwen, als het gaat om gereedschappen, waar hoge knijpkracht is vereist (nijptang, waterpomptang). Als een dynamische knijpkracht moet worden uitgeoefend, zoals bij een niettang of een popnageltang, mag de grootste opening ongeveer 100 mm zijn, en de kleinste (waar de grootste kracht wordt uitgeoefend) ongeveer 60 mm. Deze aanbevelingen zijn in overeenstemming met Greenberg en Chaffin (1977).

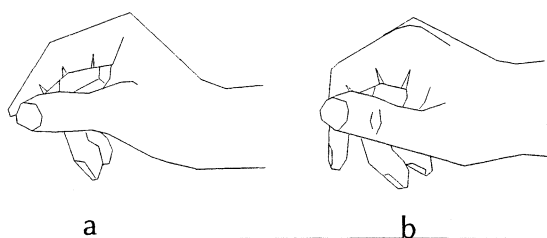
Elk gereedschap moet een interface (of handvat, greep) hebben. De kwaliteit van deze interface bepaalt voor een groot deel het comfort en de doelmatigheid van het gebruik. Bij het opstellen van de eisen, die aan een handvat worden gesteld, dient eerst te worden vastgesteld, wat voor type greep wordt gevraagd. Hier onderscheiden wij de contactgreep, de houdgreep en de omsluitingsgreep. Als het greepstype is vastgesteld,

worden verdere eigenschappen van de greep afgeleid, zoals de stand ten opzichte van het werkdeel, de afmetingen, de vorm en het toe te passen materiaal. Informatie uit deze paragraaf is een compilatie van gegevens uit Bullinger en Solf (1979), Garrett (1971), Greenberg en Chaffin (1977) en Fraser (1980).

Nadere uitwerking van de vorm en dimensionering van het handvat

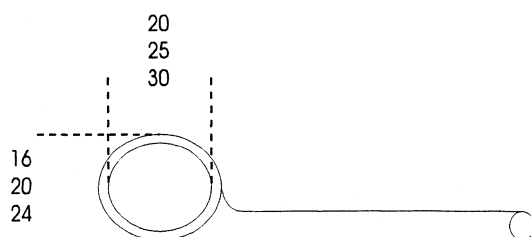
Bij een contactgreep worden in de praktijk vaak aangetroffen de één-vingergreep en de handgreep. Meestal betreft het bedieningsmiddelen, al of niet aangebracht op een werktuig. Voorbeelden: knop op boormachine, toetsenbord, telefoontoestel, punaise, knop voor noodgevallen of knop huisdeurbel. Bij de één-vingergreep is het de duim of de wijsvinger, die een knop indrukt. Bij de handgreep is het de handpalm, die een grote knop bedient. In het hoofdstuk Bedieningscomponenten wordt hier verder op ingegaan.

Bij een houdgreep is sprake van een min of meer gesloten contactvlak; alle plaatsen van het contactvlak behoren tot één samenhangende verzameling. Hier worden onderscheiden de twee-, de drie- en de vijf-vingergreep. De twee-vingergreep komt tot stand door een werktuig tussen duim en wijsvinger te houden. De duim staat dan in oppositie met de wijsvinger of ligt langs de wijsvinger (figuur 9.21).



Figuur 9.21 Twee-vingerhoudgreep. De duim kan in oppositie staan met de wijsvinger (a), of er langs liggen (b).

Houding a) wordt gebruikt bij bijvoorbeeld pincetten en scharen (vingers door ringen), en houding b) bij een huissleutel. Bij scharen wordt vaak de middelvinger in plaats van de wijsvinger gebruikt. Bij kleine schroevendraaiers (precisiewerk) worden beide houdingen gebruikt. Als de schaargreep wordt gebruikt, worden maten aanbevolen, zoals in figuur 9.22 is weergegeven.

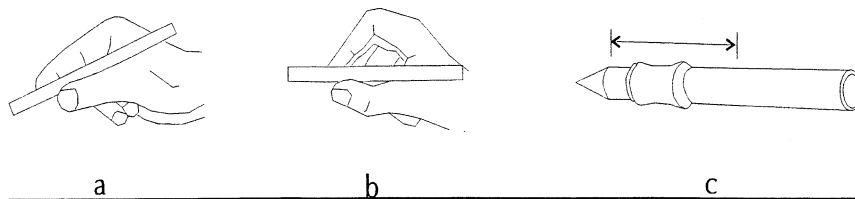


Figuur 9.22 Aanbevelingen voor de maten van de ringopeningen bij schaarachtige werktuigen. Meten zijn gegeven in mm, en hebben betrekking op P5, P50 en P95 van de dimensies van het distale duimlid (naar Bullinger en Solf, 1979).

Deze maten zijn gebaseerd op afmetingen van de duim. Als de twee openingen niet aan elkaar gelijk hoeven te zijn, kan de andere ring kleiner worden uitgevoerd. Bij het ontwerpen van pincetachtige gereedschappen dient rekening te worden gehouden met de vingerbreedte. Aanbevolen wordt de breedte van het

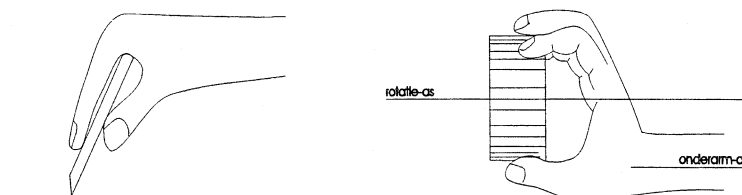
handcontactdeel minimaal 14 mm, en maximaal 20 mm te maken (P_5 en P_{95}), en de lengte minimaal 45 mm en maximaal 60 mm.

De drie-vingerhoudgreep, waarbij het werktuig tussen de duim, wijs- en middelvinger wordt gehouden, heeft het voordeel boven de twee-vingerhoudgreep, dat de derde vinger extra stabiliteit geeft. De middelvinger kan met het distale einde aan de greep bijdragen, of met de zijkant van het middelste kootje (figuur 9.23a en b). Deze greep wordt voornamelijk gebruikt bij werktuigen, die als een potlood worden gehanteerd.



Figuur 9.23 Verschillende grepen.

Voorbeelden: schroevendraaiers, diverse tandheelkundige instrumenten, kleine vijlen en schrijfgerei. Als met dergelijke werktuigen een kracht in de lengterichting wordt uitgeoefend, dient een in lengterichting verstelbare afglijdinrichting te worden aangebracht (figuur 9.23c). Met een twee- of drievinger-houdgreep kunnen bedieningsmiddelen gemakkelijk worden geroteerd zonder de onderarm te proneren of supineren. De rotatiebeweging vindt dan plaats door rotaties van slechts de vingers. De vijfvinger-houdgreep is vooral een greep om blok- en plaatvormige werktuigen te hanteren (figuur 9.24). Deze greepsoort kan worden gebruikt als, ondanks een grote krachtoefening, toch een redelijk nauwkeurige stuurfunctie wordt vereist. Voorbeeld: schraapijzer. Bovendien wordt hij gebruikt bij grote roterende bedieningselementen. Nadeel is echter, dat zowel de vingers als de hand in dorsaalflexie staan, hetgeen nodig is om de rotatieassen van het product en de onderarm in één lijn te krijgen (figuur 9.24).

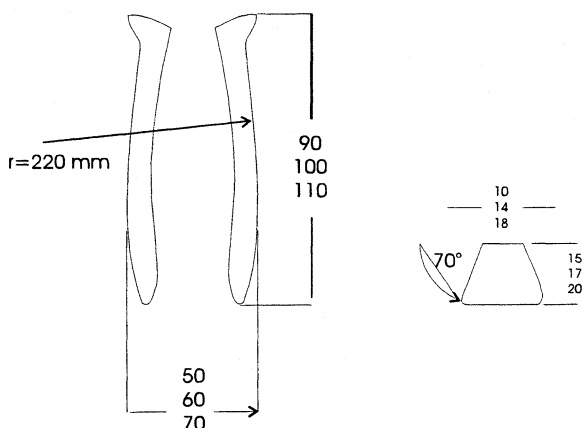


Figuur 9.24 De vijfvinger-houdgreep, weergegeven in twee situaties. Links voor een werktuig, waar zowel kracht als nauwkeurige tactiele perceptie worden vereist (schraapijzer), en een grote draaiknop. In de rechter figuur is duidelijk te zien, hoe de hand in dorsaalflexie moet staan, omdat de duim minder ver naar distaal kan reiken dan de andere vingers. Hierdoor is het onmogelijk geworden de rotatieassen van de onderarm en het bedieningsmiddel te laten samenvallen.

De handhoudgreep is die greep, waarbij de vingers 1 t/m 4 het gereedschap aan één zijde, en de hand aan een andere zijde kracht kunnen uitoefenen. Een voorbeeld, waarbij deze greep wordt gebruikt, is de tang. Hier worden vier aspecten behandeld: de kromming in lengterichting, de vorm van de dwarsdoorsnede, de lengte, en de afstand van de benen van het handvat.

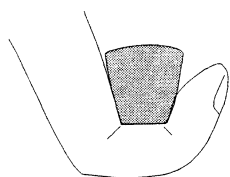
De kromming van het handvat moet aangepast zijn aan de vorm van de hand en de vingers in de betreffende houding. Zoals in fig 9.7 (§ over mensfactoren) te zien is, zijn de lijnen door zowel de gewrichten tussen de middenhandsbeentjes en de proximale

vingerkootjes, als die door de eerste en de tweede vingerkootjes, gekromd. Dit is ook gemakkelijk aan de eigen hand te constateren.



Figuur 9.25 Handvatten van een tang met kromming handvat.

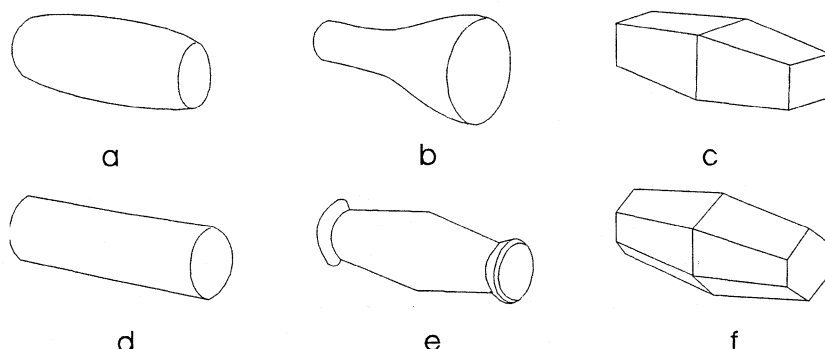
Als de vingers en de hand gebogen zijn om met een tangachtig gereedschap kracht uit te oefenen, moet het handvat dus een vergelijkbare kromming hebben. Hetzelfde geldt voor de lijn door dat deel van de hand, waar het andere been van de tang doorheen gaat. Hier wordt de kromming bepaald door de pink- en de duimmuis, en door het gebied tussen duim en wijsvinger. Als er kracht gezet wordt, spannen bovendien de handintrinsieke vingerflexoren, waardoor de kromming in de handmuizen nog meer geprononceerd wordt. De kromming van de handvatten moet de kromming van de hand volgen, zodat de druk op de juiste wijze verdeeld wordt. Dit betekent, dat de handpalm minder druk mag krijgen dan de twee muizen, omdat daar bloedvaten en zenuwbanen dicht onder het huidoppervlak lopen. De dwarsdoorsnede handvat dient zodanig te zijn, dat de druk gelijkmatig over het vingerkootje is verdeeld. Dit wordt bereikt met een trapezevormige doorsnede.



Figuur 9.26 Een trapezevormige doorsnede van een viervingergreep, zoals die is te vinden bij tangachtige gereedschappen, voorkomt punten met relatief hoge druk.

Met een ronde doorsnede ontstaan punten met hoge druk. Een afronding van de randen zorgt er voor, dat het handvat langs de vingers kan glijden, als de greepopening kleiner wordt, én dat de randen geen drukconcentraties veroorzaken. De lengte van het handvat moet minstens zo groot zijn, dat de volledige handbreedte de benen omsluit. In figuur 9.25 zijn de waarden aangegeven voor P_5 , P_{50} en P_{95} . Bij een te lang handvat bestaat de kans, dat een gebruiker met kleinere handen de handen te ver van het werkdeel af heeft, en naar verhouding te grote momenten moet uitoefenen. Ook bestaat de kans, dat bij ulnair-flexie het handvat tegen de pols komt. Een te kleine lengte geeft te weinig houvast, en kan de oorzaak zijn van plaatsen in de palm, waar te grote druk optreedt. De afstand tussen de benen van het handvat moet een optimale krachtoverdracht mogelijk maken, terwijl ook nog een goede sturing

mogelijk is. Optimale maten zijn weergegeven in figuur 9.25 (Bullinger en Solf, 1979). Van de omsluitgrepen is in dit kader vooral de vijfvingergreep of handomsluitingsgreep belangrijk. Van alle grepen kan met deze greep de grootste kracht worden uitgeoefend. Dit is de door Napier gedefiniëerde krachtgreep. De vorm moet aansluiten aan de krommingen van de hand.



Figuur 9.27 Verschillende vormen voor de handomsluitingsgreep (naar Bullinger en Solf, 1979).

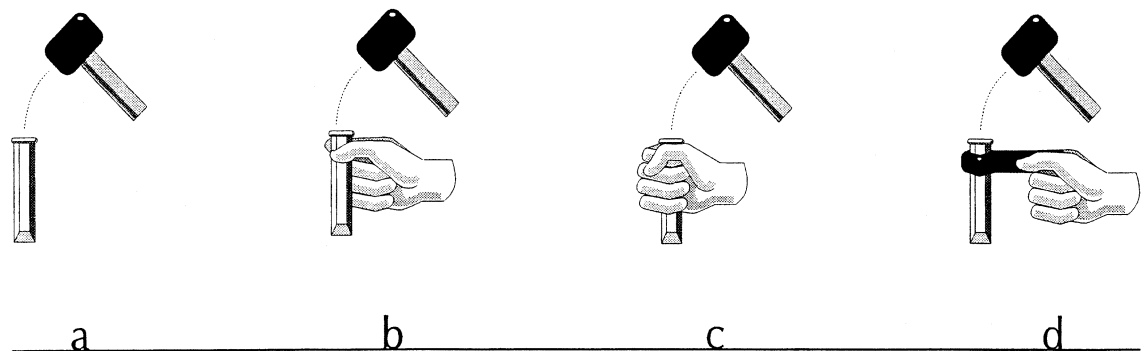
Als een zuivere cilindervorm (d) wordt genomen, vindt de krachtoverdracht vrijwel uitsluitend plaats via de pink en de wijsvinger. Dit is opgelost in (a), waar het handvat de handkromming kan volgen. Deze twee grepen zijn geschikt om roterende werktuigen te kunnen hanteren, omdat er geen ribbels zijn aangebracht. Een veel voorkomende vorm is (b), die wordt aangetroffen in allerlei varianten, vooral als handgreep aan grote machines. Hier wordt vrijwel de hele kracht via de pink en wijsvinger overgebracht. Wordt een gereedschap gebruikt om vooral translerende bewegingen loodrecht op de greepas te maken, zoals bij een zaag, dan is de koppeling door middel van een ronde doorsnede in het nadeel vanwege de hogere drukpunten, en de geringere tactiele terugkoppeling. Dan kan beter een vierkante, of nog beter zeskantige (trapeziumvormige) doorsnede worden toegepast (c en f), waarvan de ribben een goede afrondingsstraal hebben. Er moet wel voor gezorgd worden, dat de greep juist wordt vastgepakt: het vlakke deel tussen de gewrichten, en de randen op de huid over de gewrichten. Als er grote krachten in de lengterichting worden verwacht, zoals bij een schroevendraaier of een priem, dan dient een verdikte rand (e) te worden aangebracht om afglijden te voorkomen (Bullinger en Solf, 1979).

De lengte moet minimaal geschikt zijn voor de handbreedte: 90, 100 en 120 mm. De kleinste diameter (aan de uiteinden) 18, 22 en 28 mm, en de grootste diameter (in het midden) 28, 32 en 38 mm Bullinger en Solf (1979).

Wordt een dergelijke greep uitsluitend gebruikt om grote krachten over te dragen, dan is het raadzaam de adviezen van Fraser (1980) te overwegen. Op basis van electromyografisch onderzoek wordt voor een powergreep een optimale diameter aanbevolen van 40 mm (Electro-myografie is een techniek om spierinnervatie te meten. Electroden worden op de huid, die de betreffende spier bedekt, aangebracht, of naald-electroden worden in de spier gestoken. Bij grotere innervatie zal de spier sterker contraheren.) Is de diameter van een cilindervormige greep 50 mm, dan bedraagt de maximale (axiale) kracht 95% van die bij 40 mm, en als de diameter 65 mm is, wordt de kracht gereduceerd tot 70% van die bij 40 mm.

Verdere overwegingen

Als op het handvat van een klein gereedschap grote krachten moeten worden uitgeoefend, kan worden gedacht aan een hulpstuk. Bijvoorbeeld de steenbeitel in figuur 9.28a kan tussen de vingers worden gepakt (b), maar dan is er weinig stabiliteit. Hij kan ook in de vuist van de hand worden genomen (c), maar het gevolg is dat de kop (bijna) binnen de hand komt te liggen, waardoor de kop moeilijk zichtbaar is, en het gevaar bestaat op de hand te slaan. Een hulpstuk zoals weergegeven in (d) lost beide problemen op. Bovendien worden schokken minder sterk doorgegeven aan de hand.



Figuur 9.28 Als bij kleine gereedschappen, met een kleine handvatdiameter, toch grote krachten moeten worden uitgeoefend, kan een hulpstuk uitkomst brengen. Zie tekst.

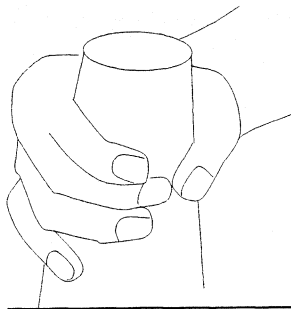
De dwarsdoorsnede van een precisiegreep mag geen kleiner diameter hebben dan 6 mm, omdat onder deze grens verlies van controle bestaat en het handvat in de hand kan gaan snijden bij langdurig gebruik.

Voor een hoekgreep adviseert Fraser een diameter van 20 mm. Burandt (1978) differentiëert naar het te tillen gewicht. Voor gewichten tot 60 N, 200 N en 600 N dient de diameters van de respectieve grepen 10 mm, 20 mm en 30 mm te bedragen.

De werkelijke breedte van de greep van een werktuig hangt natuurlijk mede af van de uit te oefenen functie en van de afmetingen van het hele gereedschap. Bijvoorbeeld: zo krijgt een zware hamer een breder handvat dan een lichte hamer, en als met een kleinere schroevendraaier een grote kracht wordt uitgeoefend, dient de breedte van het handvat in het hogere gebied van het bereik te liggen.

Lengte van het handvat

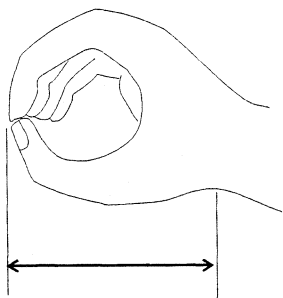
Bij het vaststellen van de optimale lengte van een handvat moet onderscheid worden gemaakt naar greepsoort. In het geval van een precisiegreep, die tussen de vingertoppen wordt gehouden en binnen de hand blijft, is de binnendiameter, zoals gemeten volgens figuur 9.29, voor een gemengde populatie van vrouwen en mannen, gemiddeld gelijk aan 4.9 cm met een standaardafwijking van 0.4 cm (Garrett, 1971).



Figuur 9.29 De gripbreedte, gemeten langs een conus.

De lengte van dat gedeelte van het handvat, dat zich binnen de hand bevindt, moet dus gelijk zijn aan deze maat. Voor lengte van het contactvlak met de vingers (overbrugging van de distale kootjes) komt daar nog 1.5 cm bij. De totale lengte is dan gelijk aan $4.9 + 1.5 = 6.4$ cm. Voor P_5 en P_{95} wordt daar 1.96 maal de standaardafwijking van afgetrokken, resp. bij opgeteld, zodat de uiteindelijke lengte van het handvat voor P_5 , P_{50} en P_{95} gelijk wordt aan resp. 5.6, 6.4 en 7.2 cm. Aangezien het niet hinderlijk is, als een handvat enigszins uitsteekt, zal een lengte van 7.2 cm waarschijnlijk door 95% comfortabel kunnen worden gebruikt. Voor stabilisatie wordt een roterend eindplaatje aangebracht (zoals bij horlogeschroevendraaiers). Daarmee kan ook door de palm kracht worden uitgeoefend, zodat de vingers, die de wrijvingskracht voor bijvoorbeeld een roterende beweging moeten uitoefenen, geen axiale kracht hoeven uit te oefenen, en het werk nauwkeuriger kan gebeuren.

Als met een handvat zowel precisiewerk als krachtwerk moet worden uitgeoefend (een compromis), wordt het handvat langer gemaakt. Daarmee is het dan mogelijk enigszins een krachtgreep toe te passen. Voor precisiewerk komt het handvat dan tegen de basis van de zijkant van de wijsvinger te liggen, hetgeen nog stabilisatie geeft. De nu relevante lengtemaat is weergegeven in figuur 9.30.



Figuur 9.30 De afstand tussen de voorkant van de vingers en de basis van de duim.

De gemiddelde waarde van deze maat voor een gemengde populatie van mannen en vrouwen is gelijk aan 11.9 cm en een standaardafwijking van 1 cm (Garrett, 1971). Een lengte van $11.9 + 1.96 * 1 \approx 14$ cm is waarschijnlijk weer voor 95% van de populatie doelmatig en comfortabel.

Bij het ontwerpen van een krachtgreep heeft de vorm een andere functie dan bij een precisiegreep. Mogelijke hoofdbewegingen zijn duwen en/of trekken (priem, vijl, zaag), transleren (hamer, bijl) en roteren (draadtapper). Ook combinaties, zoals duwen en roteren (schroevendraaier). Een krachtgreep moet lang genoeg zijn om vanaf de pinkmuis tot het distale einde van de duim in de hand te kunnen liggen.

Gewicht en massamiddelpunt van het gereedschap

Het werken met gereedschap impliceert tillen, verplaatsen, kracht uitoefenen en sturen of positioneren. Enkele verschillen maken gereedschappen specifiek ten opzichte van gewone lasten:

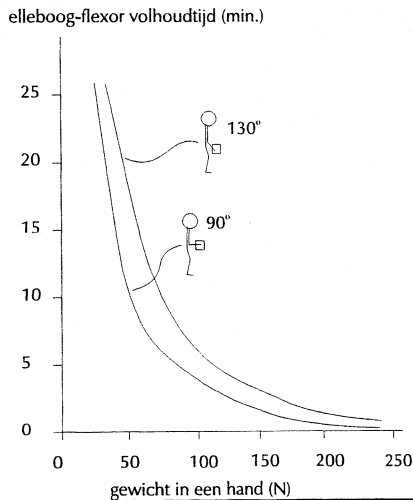
- met gereedschappen wordt een functionele bewerkingskracht uitgeoefend;
- een gereedschap wordt in veel hogere mate gestuurd;
- bij het hanteren van gereedschappen worden vaker momenten uitgeoefend rond het polsgewricht; zowel om het moment van de zwaartekracht te compenseren, als om het gereedschap in een goede positie te krijgen;
- de gebruiksduur is bij gereedschappen veelal groter dan tillasten in de beroepsfeer; bij consumenten-producten is dat echter vaak andersom;
- gereedschappen worden veelal asymmetrisch gebruikt in de zin van dat de handen verschillende krachten uitoefenen, of dat het gereedschap met slechts één hand wordt gehanteerd.

Criterium voor vermoeidheid is dan ook veel vaker vermoeidheid in de armen of de schouders dan in de rugspieren.

Enkele effecten van het hanteren van zwaar gereedschap.

- Het gevaar van het hanteren van zwaar gereedschap ligt niet alleen in spiervermoeiing en spierbeschadiging, maar ook in het uit de handen glijden van het gereedschap.
- Veel gereedschap is voor mannen gemaakt. Dit is dus vaak te zwaar voor vrouwen hetgeen snellere vermoeidheid en klachten kan veroorzaken.
- Gereedschappen worden vaak langdurig en/of met een hoge frequentie gebruikt. Gecombineerd met een hoog gewicht veroorzaakt dit vermoeidheid, hetgeen resulteert in discomfort, in een afname van spiercoördinatie en nauwkeurigheid van bedienen.
- Ten slotte wordt zwaar gereedschap langzamer verplaatst, hetgeen vertragend werkt op de werkprestatie. Als snelheid van werken een belangrijke factor is, dient gekozen te worden voor zo licht mogelijk gereedschap (indien mogelijk; bij slagwerktuigen bijvoorbeeld is de massa van het gereedschap een belangrijke factor).

In figuur 9.31 (Greenberg en Chaffin, 1977) is weergegeven hoe lang goed getrainde en sterk gemotiveerde mannen een last kunnen vasthouden voordat de armflexoren het "begeven". Bij dit experiment hebben de proefpersonen een hoog discomfort doorgemaakt, en kunnen ze de spiercontracties gewoonweg niet meer opbrengen. De bovenste grafiek is voor de houding, waarbij de bovenarm verticaal langs het lichaam hangt, en de onderarm een hoek van 130° met de bovenarm maakt. De onderste grafiek is voor een hoek van 90°. Beide grafieken gelden voor één-armige belasting. De tijden voor "slechts" hoog discomfort ("cramping and some deep hot pains in the muscle") bedragen ongeveer 50% van de waarden uit de grafiek.

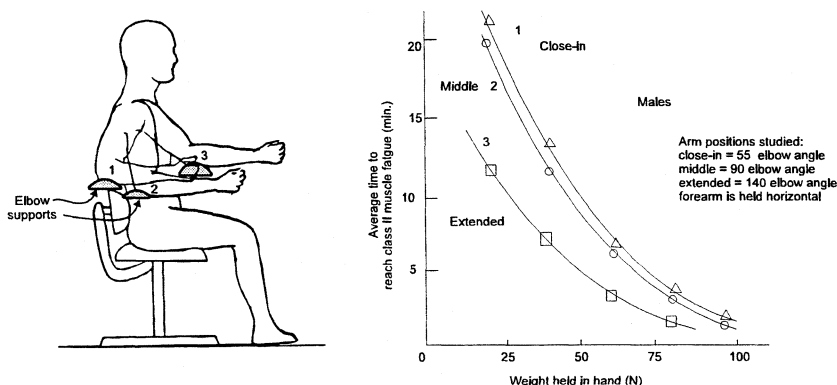


Figuur 9.31 Volhoudtijd voor één-armige belasting. Voor de houding: zie inzetten (naar Greenberg en Chaffin, 1977).

Hoe zwaarder een gereedschap is, hoe belangrijker het is een goed handvat te hebben, zonder scherpe randen of hoeken. Het maximale gewicht, dat mannen gemiddeld met de vingers kunnen tillen, is ongeveer 550 N, en vrouwen 300 N. Als wordt geëist, dat 95% van de vrouwen dit moet kunnen, daalt het gewicht tot 150 N (Greenberg en Chaffin, 1977, pag. 42). Bij aanwezigheid van scherpe delen wordt nog minder getolereerd. Denk in dit opzicht ook aan transpiratie.

Bij gebrek aan een goede greep worden de handen vaak beschermd met handschoenen, doeken of zelfs met een sporttape. Dit bevordert het uit de handen glijden van het gereedschap. In het geval dat met de vingers bovendien een knop of iets dergelijks moet worden bediend en/of nauwkeurig gepositioneerd moet worden, wordt het toegestane gewicht nog verder gereduceerd. Greenberg en Chaffin concluderen hieruit dat, voor gereedschappen zwaarder dan 125 N, een greep moet worden aangebracht, die door de vingers met minstens 270° moet kunnen worden omvat. Zo wordt het mogelijk gereedschap bij plotseling verplaatsen van het massamiddelpunt (bijvoorbeeld schuurmachine of pneumatisch aangedreven stotend gereedschap) toch op z'n plaats te houden.

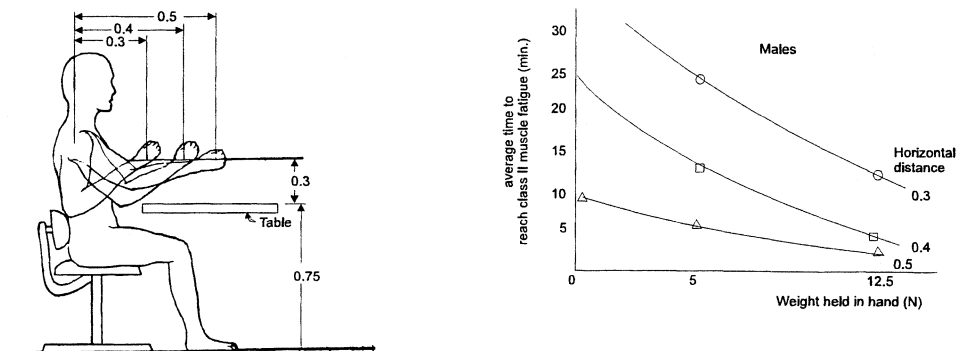
Veel werk met gereedschap wordt zittend gedaan. Als de ellebogen goed worden ondersteund, kunnen gereedschappen worden gehanteerd zoals weergegeven in figuur 9.32 voor drie standen van de hand: dicht bij het lichaam, gemiddeld en naar voren.



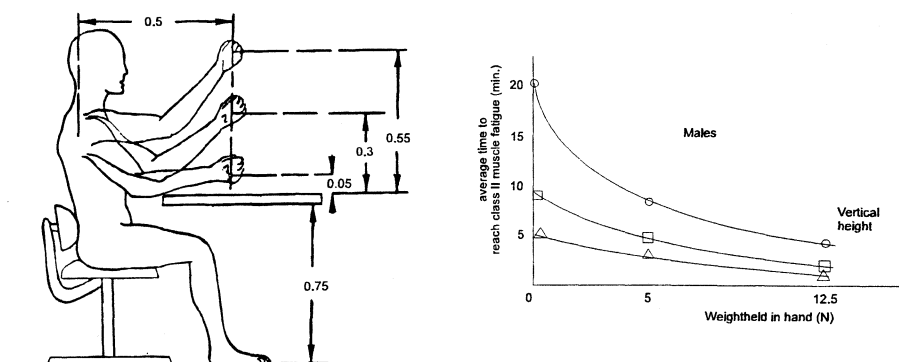
Figuur 9.32 Bovenarm-vermoeidheid vs elleboogpositie voor continue belasting (naar Chaffin, 1973).

Uit de grafiek is af te lezen hoe de volhoudtijd kleiner wordt als de afstand van de hand tot het lichaam, of het gewicht van de last toenemen.

Als het niet mogelijk is de elleboog te ondersteunen, moeten de schouderpijnen het schoudermoment van het gewicht van de arm compenseren. Dan wordt het moeilijker de hand in een bepaalde positie te houden, zoals is te zien in figuur 9.33 en figuur 9.34, welke zijn vastgesteld voor horizontale en verticale posities van de hand (Chaffin, 1973). Het verschil met de vorige twee situaties komt tot uitdrukking in het gewicht van de tillen last en in de volhoudtijden. Dergelijke belastingen komen voor bij bijvoorbeeld assemblage- en soldeerwerk, en bij het werken met een verfpistool.

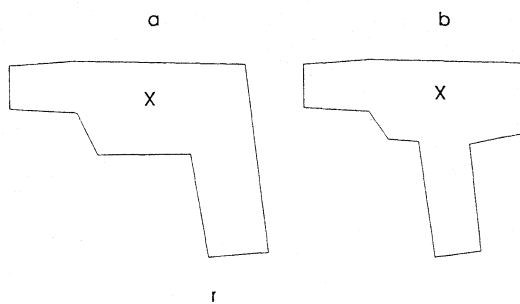


Figuur 9.33 Schoudervermoeidheid vs horizontale handpositie voor continue belasting (Chaffin, 1973)



Figuur 9.34 Schoudervermoeidheid vs verticale handhoogte voor continue belasting (naar Chaffin, 1973).

Als het toch noodzakelijk blijkt te zijn zwaar gereedschap te hanteren, moet aandacht worden besteed aan de ligging van het massamiddelpunt. Als dit te ver naar voren ligt (figuur 9.35a) wordt het moment van het gewicht van de boor en de arm r zo groot, dat het werken zeer vermoeiend wordt. Is het handvat echter aangebracht volgens (b), dan is de arm veel kleiner geworden, en hoeven de radiaal-abducerende spieren minder gespannen te worden.



Figuur 9.35 De massamiddelpunten van twee verschillende boormachines

Textuur en materiaal van het handvat

Textuur in het oppervlak van een handvat heeft voor- en nadelen. Als een handvat zeer glad is, kan de grip verminderen, vooral als de handen erg bezweet zijn of in een omgeving, waar veel met vetten en olieën wordt gewerkt. Maar een voordeel is, dat het ontstaan van wonden door er langs te schuren is geëlimineerd. Gereedschappen, waar een grote kracht mee moet worden uitgeoefend, dienen van een textuur te worden voorzien om de grip te verhogen. Gladde oppervlakken mogen alleen worden toegepast als slechts kleine krachten worden overgebracht. De belangrijkste reden voor textuur is echter de tactiele perceptie van het handvat en van de bewegingen. Via huidsensoren wordt tactiele informatie gekregen, die in het centrale zenuwstelsel zorgt voor bijsturen van de bewegingen.

Een glad, gepolijst oppervlak kan dit niet teweeg brengen. Informatie over positie en stand van de hand komt dan via kinestese. Bovendien veroorzaakt het weerspiegeling, hetgeen belemmerend voor het werken is, en indirect het zicht op het werk bemoeilijkt. Indien mogelijk, worden de greepoppervlakken voorzien van een fijn rimpelende lak. Andere machineonderdelen worden van een matte lak voorzien.

Voor het handvat van gereedschappen worden in de praktijk verschillende materialen gebruikt. Hout is in dit opzicht het oudste materiaal, en wordt nog veel gebruikt. Hout heeft uitstekende thermische eigenschappen, zodat het niet te warm en niet te koud aanvoelt. Het is makkelijk te bewerken, is relatief licht, heeft een goede schokabsorptie, en de wrijvingscoëfficiënt met de huid is altijd goed, zelfs met erg transpirerende handen. Natuurlijk moet er voor worden gewaakt het houtoppervlak te behandelen met dikke laklagen! Nadeel is dat het makkelijker dan kunststoffen loslaat van het werkdeel van het gereedschap. Bovendien is het splintergevoelig.

Metalen voelen in een koude omgeving lang koud aan, en in een warme omgeving zorgt transpiratievocht er voor, dat de wrijvingscoëfficiënt erg laag kan worden. Dit is vooral gevaarlijk bij gereedschappen, waar grote wrijvingskrachten worden gebruikt, zodat het uit de handen kan wegglijden. Een uitgebreide beschouwing over veiligheid wordt gevonden in hoofdstuk 26.

Kunststoffen (bijvoorbeeld polystyreen) zitten hier ergens tussen in. Thermische eigenschappen zijn redelijk te noemen, mechanische eigenschappen zijn zonder meer goed. Maar het grote voordeel van hout is de aan het materiaal inherente textuur.

Ook groeven in een handvat, die dienen om de vingers in te leggen, moeten met hoogst mogelijke terughoudendheid worden aangebracht. De grootste diepte is dan 3 mm. Aangezien in de zijkant van de vingers veel zenuwbanen en bloedvaten lopen, zullen deze afgeknelde worden bij dikkere vingers, én bij dunnere vingers, als er dan twee tegelijk in liggen.

Openingen in gereedschappen

Waarschijnlijk is de meest voorkomende oorzaak van verwondingen met gereedschappen een of andere vorm van een opening, waar een ledemaat in terecht komt. Wij kunnen denken aan

- 1) vaste openingen voor bijvoorbeeld stelschroeven of om olie in te brengen;
- 2) veranderlijke openingen in handgereedschappen, bijvoorbeeld tussen de benen van een tang;
- 3) veranderlijke openingen in aangedreven gereedschappen, zoals bij sluitende bekken van pneumatische scharen, of de drukvlakken van persen;
- 4) openingen in transmissiemodules van machines, zoals wordt aangetroffen bij bijvoorbeeld tandwielen en V-snaren; vergeet in deze context niet het gevaar bij elektrische zagen, freesmachines en bandschuurapparaten.

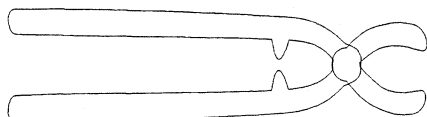
ad 1)

Vaste openingen worden aangetroffen aan de buitenkant van een werktuig of machine (laterale opening), vaak in de vorm van een V of een U, of in het werktuig ingebed (interne opening). De maximale grootte van dergelijke openingen mag het binnendringen van een ledemaat niet toestaan, bijvoorbeeld door de grootte kleiner dan de vingerbreedte te maken. Laterale openingen, dieper dan 4 mm en breder dan 6 mm zijn potentieel gevaarlijk. Interne openingen van minder dan 5 mm zijn in ieder geval veilig voor de vingers, hoewel smalle objecten er toch in vast in kunnen zitten. Bij een noodzakelijkerwijs grote opening moet worden gedacht aan een afsluitkapje, dat d.m.v. bijvoorbeeld een veer altijd terugspringt naar de veilige stand (Greenberg en Chaffin, 1977).

ad 2)

In veranderlijke openingen bij handgereedschappen worden drie situaties onderscheiden. Ten eerste is het mogelijk beklemd te raken in een gereedschap, dat door middel van een pal zorgt, dat een teruggaande beweging niet mogelijk is. In zo'n geval mag de pal niet worden geactiveerd voordat de kritieke opening een als maximaal gedefiniëerde diameter heeft overschreden.

Ten tweede kunnen, bij tangachtige gereedschappen, de pinkmuis of de vingers worden beklemd tussen de benen van de tang. Greenberg en Chaffin adviseren een minimale opening van 2.5 cm voor éénhandig, en 5 cm voor tweehandig gebruikte gereedschappen. Zo'n beperking kan bijvoorbeeld worden gerealiseerd met aanslagpennen (figuur 9.36).



Figuur 9.36 Aanslagpennen voorkomen het beklemd raken van vingers of muis van de hand.

Ten derde kunnen ledematen beklemd raken tussen het gereedschap en het te bewerken object of de omgeving. Als bijvoorbeeld met een koevoet iets moet worden losgewrikt (een plank), kan de hand bij plotseling loskomen tussen koevoet en wand worden ingeklemd. Vooral als de beweging snel plaatsvindt, is de tijd te kort om te kunnen reageren. Dit geldt ook voor bijvoorbeeld het mes van een papiersnij-apparaat.

ad 3)

Bij werktuigen of machines, die door een externe krachtbron worden aangedreven, is de kracht, waarmee onderdelen naar elkaar toe worden bewogen, meestal dermate groot, dat bij beknelling weinig hoop meer bestaat het getroffen ledemaat nog te kunnen redden. Denk aan hydraulische persen of knabbelscharen. Beschermende maatregelen kunnen liggen in afscherming of in bedieningswijze (twee-handige activatie van een pers of ander gereedschap door serieschakeling van bedieningselementen.

ad 4)

Openingen naar roterende transmissie-elementen komen nog zeer vaak voor bij grotere machines. Vingers kunnen dan gemakkelijk worden verbrijzeld door bijvoorbeeld tandwielen. Ook hier is een goede afscherming een oplossing.

Voor een uitgebreider verhandeling over openingen in gereedschappen wordt verwezen naar Greenberg en Chaffin (1977) en naar hoofdstuk 26 over veiligheid.

9.2.3 Interactiefactoren

Links- en rechtshandigheid.

Ongeveer 8 á 10 procent van de wereldbevolking is linkshandig. Hierin is een gradatie aan te brengen: van zuiver rechtshandig via tweehandig tot zuiver linkshandig. Veel werktuigen zijn niet ontworpen voor deze deelpopulatie. Vaak is het met een eenvoudige voorziening mogelijk een werktuig ook voor linkshandige geschikt te maken, zoals bij een boormachine, waar een extra greep is bevestigd, die zowel links als rechts kan worden ingeschroefd. Bij andere producten is dit niet mogelijk, zoals bij een schaar. Scharen worden dan ook apart voor linkshandigen vervaardigd. Ook worden messen voor linkshandigen gemaakt. Deze hebben het slijpvlak aan de rechterzijde van het blad (Sander en McCormick, 1992).

Dragen van handschoenen

Handschoenen worden gebruikt als bescherming tegen bijvoorbeeld schuren, snijden, chemicalieën en hoge temperaturen, maar ook als hulpmiddel om tactiele perceptie van gladde oppervlakken te verbeteren, in welk geval het gaat om nauw passende, zeer dunne handschoenen. Bovendien beschermen handschoenen tegen bacteriologische infecties bij tandartsen en chirurgen. Handschoenen verschillen in gebruikt materiaal, snit, dikte, stijfheid en wrijving, die elk een eigen invloed hebben op de taakuitvoering. Er is nog geen onderzoek bekend, waarin de afhankelijkheid van de snit wordt gekwantificeerd. In een onderzoek naar de invloed van het materiaal van de handschoen op de tijdsduur van een taakuitvoering bleek neopreen geen significante verschillen met de blote hand te vertonen, terwijl leer, badstoffen en pvc-handschoenen de tijden met meer dan 50% lieten toenemen (Weidman, 1970, gerefereerd in Sanders en McCormick, 1992).

Voor verschillende taken, typen gereedschap en omstandigheden worden verschillende handschoenen gebruikt. Het dragen van handschoenen beïnvloedt de interactie met het gereedschap. In het algemeen wordt werk, waar fijne motoriek en tactiele tergekoppeling worden vereist, nadelig beïnvloed door het dragen van handschoenen.

Het dragen van handschoenen heeft ook effect op krachttuioefening. In een onderzoek van Sudhakai et al. (1988) werd gevonden, dat bij gelijke electromyografische activiteit in de onderarm, toch verschillende knijpkracht werd bij verschillende handschoenen.

Het krachtverlies treedt waarschijnlijk op door een verandering van de greepdiameter (van de vingers), de plooi kracht van de handschoenen, en de aanwezigheid van materiaal tussen de vingers, zodat ze in een enigszins gespreide stand moeten staan. gevolgen kunnen zijn: het loslaten van het gereedschap, lagere beheersing (control) en eerdere spiervermoeidheid (Sanders en McCormick, 1992).

Trillings- en schokbelasting

Een aantal gereedschappen onderwerpen de gebruiker aan trillingsbelasting. Vooral door externe krachtbron aangedreven werktuigen, zoals kettingzagen, drillboren, slijppapparaten. De door deze apparaten opgewekte trillingen worden via het handvat op het lichaam overgebracht. Wanneer de blootstelling hieraan dagelijks gedurende enkele uren plaatsvindt, en dit maanden of jaren voortduurt, kunnen symptomen optreden, die wijzen op het witte vingersyndroom (VWF, Vibration induced White Finger). Het gevolg van deze trillingen is het geheel of gedeeltelijk sluiten van de vinger-capillairen, zoals al in het begin van dit hoofdstuk is vermeld. In deze omstandigheden treedt een verlaagde huidtemperatuur van de vingers op. Normen voor hand-arm trillingsbelasting zijn in het verleden opgesteld, maar NIOSH heeft na een uitgebreide literatuurstudie besloten, dat de huidige richtlijnen te prematuur zijn, en aanbevolen volgende richtlijnen af te wachten. De problemen betroffen onder meer de hogere frequenties, welke niet in de bestaande richtlijn waren opgenomen, én de relevante meetgrootheden, waar ook nog geen duidelijkheid over was. NIOSH adviseert momenteel slechts de optredende hand-arm vibraties te reduceren tot het laagste, in redelijkheid haalbare, niveau, en de blootstellingstijden zo kort mogelijk te maken. In ieder geval zijn belangrijke grootheden: de blootstellingsduur, de frequentie, de richting en de grootte van de trillingsversnelling en de eigenfrequentie van het gereedschap. (Sanders and McCormick, 1992, pag. 398).

Enkele aanbevelingen voor het verminderen van hand-arm trillingsbelasting

- 1 Probeer in de ontwerpfase de trillingen bij de bron te elimineren. Ander type motor; aanbrengen van trillende massa's, die compenserende bewegingen maken; onderhoud van lagers (mogelijk maken); vermindering van speling van bewegende delen; snijwerktuigen scherp houden.
- 2 Als de trillingen niet geheel geëlimineerd kunnen worden, wordt getracht ze te isoleren of te verminderen. Isolatiematerialen, keuze (bijvoorbeeld) duurder apparaat, dat minder trilt.
- 3 Als de trillingen niet geheel geïsoleerd kunnen worden, wordt getracht de mens te isoleren. Trilling-dempende handschoenen; lagere hanteerkracht.
- 4 Als de mens niet geheel geïsoleerd kan worden, moet de blootstellingsduur worden verkort. Ploegendienst; afwisseling met ander, niet trillend, werk; langere pauzes.

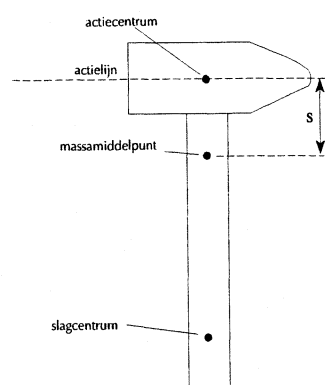
9.3 Enige beschouwingen over typerende gereedschapsgroepen

Tot slot van dit hoofdstuk worden, als aanvulling op de meer algemene beschouwingen van de voorgaande paragrafen, enige typerende gereedschappen kort nader besproken, en richtlijnen gegeven. Een uitgebreide verhandeling vindt men in Fraser (1980).

Slagwerktuigen

Onder deze groep vallen werktuigen, waar een slag mee wordt uitgeoefend, zoals hamers, bijlen en houwelen. Het werktuig bestaat uit een werkdeel (een speciaal gevormde kop), en een handvat. De dimensionering hangt af van de toepassing.

Mogelijke toepassingen zijn: indrijven van spijkers, plaatbewerking, smeden, uittrekken van spijkers (klauwhamer), vellen van bomen, hakken van hout, doorhakken van boomwortels, losmaken van een harde ondergrond. De zwaardere hamerachtigen worden met een krachtgreep gehanteerd. Hoe lichter het gereedschap, des te vaker wordt een precisiegreep gebruikt.



Figuur 9.37 Hamer

Drillis et al.(1963) hebben de efficiëntie η van een slagwerktuig berekend als:

$$\eta = 1 - s^2 / (s^2 + \rho^2).$$

Hierin is s de afstand van het massamiddelpunt tot de actielijn, en ρ de traagheidsstraal. Voor maximale efficiëntie moet s dus nul worden, of in andere woorden, het massamiddelpunt moet in de kop van het gereedschap liggen, op de actielijn. Een ander aspect van slagwerktuigen is het energieverlies tijdens de klap. Bij smeedwerk bijvoorbeeld wordt gestreefd naar een maximaal verlies van kinetische energie, die wordt gedissipeerd door het te bewerken object. Daarom moet de massa van de hamer klein zijn ten opzichte van de massa van object plus aambeeld. Bij het inslaan van een spijker moet de massa van de hamer echter groot zijn ten opzichte van de massa van de spijker, omdat dan een maximale hoeveelheid kinetische energie wordt overgedragen op de spijker.

Schroevendraaiers

Onder deze groep vallen gereedschappen met vergelijkbare handvatten en overeenkomstige bedieningswijzen: schroevendraaiers, vijlen, beitels en plamuurmessen. Elk van deze werktuigen wordt soms gebruikt met een krachtgreep, en soms met een precisiegreep. Krachttransmissie is bij deze gereedschappen meestal translierend, maar bij schroevendraaiers bovendien roterend. Uitgaande van de hand in neutrale positie, maakt het handvat een hoek van ongeveer 70° met de onderarm. In deze houding zou de ideale vorm (aansluitend aan de anatomie) bij de pink vrij smal moeten zijn, breder wordend naar de palm van de hand, en nog verder verbreedend richting wijsvinger. In deze configuratie moeten de translatie- en de rotatiekracht echter voornamelijk van de vingers komen, hetgeen snel vermoeidheid geeft. Bij de greep wordt de torsiekracht via de palm overgebracht door een kracht, gericht langs de onderarm-as, én door wrijvingsweerstand met de huid. De vingers hebben in dit geval een meer stabiliserende functie, hetgeen minder vermoeiend is. De bolling van het handvat, die in de handpalm komt te liggen, wordt zodoende een belangrijk deel. Als deze niet optimaal is ontworpen, wordt het gebruik minder comfortabel, veroorzaakt het eeltvorming en blaren. Bovendien wordt het contactvlak meer verplaatst naar de vingers, met snellere vermoeidheid als gevolg. Volgens Fraser (1980) is de vorm van de

doorsnede en de textuur van het handvat van minder belang, zolang er maar geen scherpe randen of inkepingen aanwezig zijn. De doorsnede mag rond, vierkant, geribbeld of zelfs driehoekig zijn. (Fraser, 1980).

Tangen

Onder de groep tangen horen gereedschappen, die twee elkaar kruisende delen hebben. Aan één kant van de kruising is de kop van het gereedschap, in de vorm van een paar "kaken". Deze kunnen zeer verschillend geconfigureerd zijn, afhankelijk van de toepassing. Waar de delen elkaar kruisen, vormen ze een eenvoudig of meer complex scharnier. Aan de andere kant van de kruising vormen de delen de handvatten. Vrijwel altijd hebben de handvatten een lichte kromming als een ruwe indicatie voor de plaats van de handpalm. Onder deze groep vallende gereedschappen zijn bijvoorbeeld: draadstriptangen, griptangen, nijptangen, punttangen, buigtangen, combinatietangen, scharen en wasknijpers.

Afhankelijk van de toepassing wordt een precisie- of een krachtgreep gebruikt. Bij een gangbare tang vallen de assen van de tang en de onderarm min of meer samen. Dit betekent, dat de hand in ulnair geabduceerde stand moet werken, hetgeen niet lang is vol te houden, zeker niet gecombineerd met grote krachttuioefening. Dit probleem is reeds behandeld in paragraaf 9.2.2. Bij tangen wordt altijd met knijpkracht gewerkt, zodat zowel strekkers als buigers van de vingers en het polsgewricht actief zijn. Gecombineerd met ulnair abductie kan dit gemakkelijk aanleiding geven tot problemen zoals tenosynovitis.

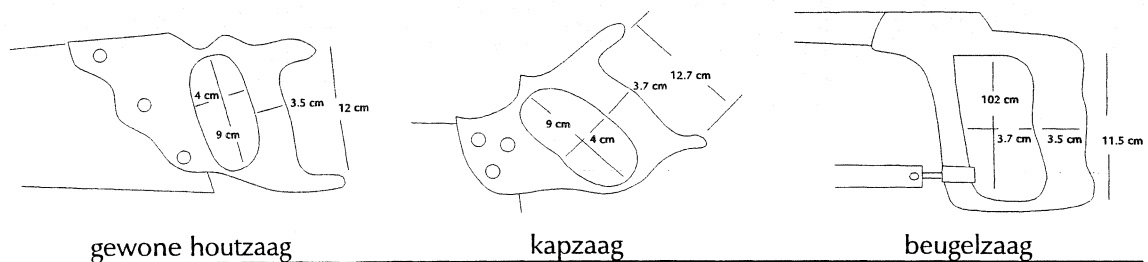
Het gebruik van tangen wordt meestal niet beperkt door gebrek aan kracht, maar meer door pijn in de hand. Fraser adviseert een maximale druk van 100 kPa (10 N/cm²) voor vrouwen en 200 á 400 kPa voor mannen, met uitschieters tot 700 kPa. Om de druk niet te hoog te laten oplopen, moet het contactoppervlak van het handvat vergroot worden, afgerond, en moet worden afgezien van richels, die drukplekken veroorzaken. Als het wenselijk is de tang in rustpositie in open toestand te hebben, kan gebruik worden gemaakt van veerwerking. Wanneer tactiele terugkoppeling nodig is, verdient het echter geen aanbeveling veerwerking te gebruiken. Dan is het beter in het scharnier een lichte wrijving in te bouwen door middel van een bout en een schroef.

Zagen

Onder de groep zagen valt een aantal gereedschappen, die als kenmerk hebben, dat door een in het sagittale vlak plaatsvindende repeterende beweging, materiaal verspaand of weggestoken wordt. Onderscheiden worden onder meer de gewone houtzaag, de schrobzaag, de tap- of verstekzaag, de kapzaag, de beugel- en de spanzaag, en de figuurzaag. Elk van deze zaagtypen bergt weer verschillende soorten in zich.

Afgezien van het feit, dat elke zaag een bepaalde toepassing en gebruik vereist, kunnen twee ergonomische overwegingen plaatsvinden: één betreffende de vormgeving van het handvat, en een betreffende krachttuioefening.

Het handvat wordt vastgehouden als een krachtgreep of als een precisiegreep. De grotere zagen worden altijd met een krachtgreep gehanteerd. Het handvat moet dus als een krachtgreep worden ontworpen. Rotatie is niet nodig, dus de doorsnede van het handvat kan een vorm krijgen, zoals beschreven in het voorgaande. De stand van het handvat moet zo zijn, dat in het polsgewricht geen radiaal-abductie nodig is. Rekening moet worden gehouden met het gebruik van handschoenen. Fraser adviseert de dimensionering van het handvat voor verschillende typen zaag, zoals weergegeven in figuur 9.38.



Figuur 9.38 Verschillende soorten zagen

Kleinere zagen, zoals de figuurzaag, en de lichtere typen kapzagen, worden vaak met een precisiegreep vastgehouden, alhoewel de krachtgreep ook wordt toegepast. Aangezien met figuurzagen veel rotatiebewegingen in het polsgewricht worden gemaakt, hebben de ronde handvatten een doorsnede, vergelijkbaar met die van een schroevendraaier. Kapzagen kunnen een schuin geplaatst handvat hebben, zodat de hand geen radiaal-abductie hoeft te maken.

De beweging, die de arm maakt gedurende het zagen, is bij het zwaardere werk een repeterende flexie en extensie van het ellebooggewricht en schoudergewricht. De krachtlijn loopt min of meer in een rechte lijn van de zaag, via de pols en onderarm naar de elleboog. De arbeid wordt dus in principe vooral door de schouderspieren geleverd. Maar als de zaag niet meer scherp is, moet er "geduwd" worden. Bij de hand ontstaat dan een naar boven gerichte kracht, die in het ellebooggewricht een buigend moment uitoefent. Dit moment wordt gecompenseerd door de elleboogstrekker (m. triceps), die dan snel vermoeid kan raken. Het scherp houden van een zaag is dus belangrijk om vermoeidheid in de bovenarm tegen te gaan.

Literatuur

Bullinger H.-J., Solf J.J., (1979)

Ergonomische Arbeitsmittelgestaltung I - Systematik. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Dortmund

Burandt U.U. (1978)

Ergonomie für Design und Entwicklung. Verlag Dr. Otto Schmidt KG, Köln

Chaffin Don B., (1973)

Localized Muscle Fatigue, Definition and Measurement. J. of Occup. Med. 15(4):346-354

Fährnich K.P., Kern P., Solf J.J., (1983)

Ergonomische Kenngrößen für Umfangsgreifarten. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Forschungsbericht Nr. 331, Wirtschaftsverlag NW GmbH, Dortmund.

Fraser T.M., (1980)

Ergonomic Principles in the Design of Hand tools. Occupational safety and health series, International Labour Office (ILO), Genève

Garrett J.W., (1971)

The Adult Human Hand: Some Anthropometric and Biomechanical Considerations. Human Factors, 13(2)1170131

Greenberg, L., Chaffin, Don B., (1977)

Workers and their tools: a guide to the ergonomical design of hand tools and small presses. Pendell Publishing Company, Midland, Michigan.

- Klemm, Gustav (1858)
Die Werkzeuge und Waffen, ihre Entstehung und Ausbildung. Verlag von G. Reufe, Sondershausen
- Kroemer, K.H.E.,(1977)
Die Messung der Muskelkräfte des Menschen. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Forschungsbericht Nr. 161, Wirtschaftsverlag NW GmbH, Dortmund.
- Lehmann G.,(1962)
Praktische Arbeitsphysiologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
- Lohman, A.H.M.,(1967)
Vorm en beweging, leerboek van het bewegingsapparaat van de mens. Oosthoek's Uitgeversmaatschappij, Utrecht
- Napier J.R.,(1956)
The Prehensile Movements of the Hand. Journal of Bone and Joint Surgery, 38B(4):902-913
- Nordin M., Frankel V.H.,(1989)
Basic biomechanics of the musculoskeletal system. Lea & Febiger, Philadelphia, London.
- Rodgers S.H. (Principal Author and Technical Editor),(1986)
Ergonomic Design for People at Work, Vol. 2. Van Nostrand Reinhold Company, New York
- Sanders M.S., McCormick, E.J.(1992)
Human Factors in Engineering and Design. McGraw-Hill, INC, New York
- Spitzer H.,Hettinger Th.,(1958)
Tafeln für den Kalorienumsatz bei körperlicher Arbeit. Sonderheft der REFA-Nachrichten, hrsg. vom Verband für Arbeitsstudien, REFA e.V. Darmstadt, Berlin W15, Köln, Frankfurt/M.
- Sudhakai L., Schoenmarklin R.,Lavender S.,Marras W.(1988)
The effect of gloves on grip strength and muscle activity. Proc. Human Factors Soc., 32d Annual Meeting, Santa Monica, pp. 647-650
- Tichauer E.R., Gage H.,(1977)
Ergonomic principles basic to hand tool design. Am. Ind. Hyg. Assoc. J.(38)622-634
- Weidman, B.(1970)
Effect of safety gloves on simulated work tasks. AD 738981, Springfield, VA: National Technical Information Service

10 Bedieningscomponenten

Samenvatting

Een bedieningsmiddel kan omschreven worden als een commando-sensor van een mechanisme, een sensor die gevoelig is voor een bepaalde bedieningshandeling van de menselijke gebruiker.

Het aanvankelijk eenvoudig ogende terrein van het ergonomisch kiezen, ontwerpen en groeperen van 'knoppen', blijkt bij nader inzien toch redelijk complex, met vele ontwikkelingen en belangrijke gevolgen voor het gebruik. Een bedieningscomponent of samenstel ervan kan de zwakste schakel in het ontwerp van een produkt zijn en verdient net zo goed aandacht als de signaalgevers.

10.1 Inleiding

In de vorige hoofdstukken van het deel Fysiek Ergonomie zijn de ontwerpproblemen van vier specifieke produktgroepen (cabins, supports, outfits en tools) behandeld. In dit hoofdstuk zal de laatste groep aan bod komen, de produkten die ingedeeld kunnen worden in de groep bedieningscomponenten (controls).

Na bestudering van dit hoofdstuk moet de student:

- weten wat het begrip bedieningscomponent inhoudt;
- weten welke indelingen van bedieningsmogelijkheden worden gebruikt;
- weten hoe het ontwerpkeuzep proces van Maul & Solf in elkaar zit;
- de compatibiliteitsregels kennen (omvang, richting, tijd);
- weten wat een C/D-ratio is;
- weten wat het effect is van verschillende weerstandstypen;
- weten welke coderingsmogelijkheden er zijn;
- kennis hebben van enkele speciale bedieningsmogelijkheden.

Allereerst volgt een nadere beschrijving van de produktsubcategorie, daarna worden de MPOI-factoren besproken, vervolgens worden enkele speciale componenten en enkele ontwerpvoorbeelden genoemd.

10.2 Nadere omschrijving van de produkt- subcategorie

Veel duurzame gebruiksgoederen zijn meer dan een eenvoudig geometrisch verlengstuk van de menselijke handen, voeten of andere lichaamssegmenten; het zijn samengestelde mechanismen. Mechanismen zijn een samenstel van bewegende delen, opgebouwd tot een machine, die volgens een bepaalde reeks van omzettingen van kracht en beweging effecten bewerkstelligen, die met eenvoudiger, directer werktuigen niet of minder gemakkelijk gerealiseerd kunnen worden.

Mechanismen kunnen zuiver mechanisch zijn, bijvoorbeeld met stangen, scharnieren en tandwielen. Of ze kunnen elektrische, hydraulische of pneumatische onderdelen bezitten voor de werking. Of ze kunnen krachtbronnen bevatten of die kunnen eraan gekoppeld zijn: bijvoorbeeld batterij of aansluiting op lichtnet. In dit kader zullen we de aandacht niet zozeer richten op de industriële machines, de produktie-machines, alswel op de veel voorkomende mechanismen voor niet-professioneel gebruik en in dit hoofdstuk zal het voornamelijk gaan om de onderdelen van de mechanismen die nodig zijn voor de menselijke bediening.

Een mechanisme kan alleen aan zijn functionele bedoeling beantwoorden, indien het door de menselijke bediener wordt beheerst. De gebruiker dient te bepalen wanneer het in werking wordt gesteld, voor hoe lang en met welke intensiteit / programma of richting.

Omdat directe, fysieke beheersing vaak niet mogelijk is, wordt een mechanisme gewoonlijk ingekast en via een extra mechanisme aan de buitenkant bediend. Dit extra mechanisme bestaat vaak tevens uit speciale signaalgevers, die vertellen over de interne toestand en aard van de werking, waardoor terugkoppeling ontstaat over de gegeven commando's.

Een mechanisme kan worden gezien als een black-box, met aan de buitenzijde speciale onderdelen voor de bediening en voor de waarneming. Een eenvoudige elektrische trafo is zo'n black box, waarbij de stekker van het snoer naar het lichtnet een bedieningsonderdeel is voor het aan- uit commando en het uittredende snoer met halogeen-schemerlamp een signaal geeft doordat de gloeilamp aangaat. Bij een vaste snoerverbinding van de trafo zouden een schakelaar erop en, of een led-lampje een control c.q. display op de 'zwarte doos' kunnen zijn. Ons hierna richtend op de controls, de bedieningscomponenten, kan men deze dus beschouwen als een onderdeel om via een bedieningshandeling (menselijke output) een commando (als input voor het werktuig) naar het interne mechanisme door te geven.

Complexe mechanismen en hun bedieningsonderdelen verschijnen betrekkelijk recent in de geschiedenis van de techniek. Voorloper zijn slot en sleutel, trekkers voor pijl afschieten op voetbogen e.d.. In de huidige tijd zijn we vertrouwd met de vele knoppen op wasmachines en audio-video apparatuur, met de toetsenborden en muizen van de tekstverwerkers, met aanraak-knoppen op panelen of beeldschermen. In de toekomst valt ook een popularisering te verwachten van bediening zonder fysiek contact, zoals met IR-stralen (bij afstandsbediening al gebruikelijk) of via 'speech-control' (het spreken van commando's tegen de machine).

In zekere zin is een bedieningscomponent een zintuig (sensor) van het mechanisme. Indien zo'n sensor met machine-intelligentie verbonden wordt, kan men bijvoorbeeld ontwikkelingen verwachten van de auto of computer die aan de reactiesnelheid of beweeglijkheid bij de bedieningshandelingen de toestand van de menselijke bediener diagnostiseert en zich daaraan aanpast, wat betreft intensiteit van signalering of uitgebreidheid van terugkoppeling.

Een bedieningsmiddel kan derhalve omschreven worden als een commando-sensor van een mechanisme, een sensor die gevoelig is voor een bepaalde bedieningshandeling van de menselijke gebruiker. In de meeste gevallen is het:

- een standaard onderdeel,
- aan de buitenzijde van het mechanisme (contactvlak),
- op een voor de bediener toegankelijke plaats,
- om via een, gewoonlijk eenvoudige, motorische handeling (translatie, rotatie),
- een standaardcommando over te dragen aan de werking van het mechanisme,
- opdat die werking gebeurt volgens de intentie van de bediener.

De eenvoudige bedieningshandeling komt gewoonlijk neer op een geringe translatie door duwen, trekken of schuiven, of op een geringe rotatie door draaien of zwenken (bewegen langs kromme). Er zijn echter ook minder eenvoudige handelingen te zien, zoals het meermaals ronddraaien met een zwengel, het bewegen van een muis in een vlak, het drie-dimensionaal bewegen van een stuurknuppel, het eerst omhoog trekken

van een hendel om erna te zwenken e.d.

De meest voorkomende typen van commando's zijn.

- aan/uit: het mechanisme wordt in werking gesteld of gestopt; door toevoer van kracht, door opheffen van rem e.d.
- niveau: de werkingsintensiteit wordt bepaald: snelheid, toerental, luidheid, helderheid, resolutie e.d.
- positie: een bepaalde ruimtelijke stand van het mechanisme of effectief extern onderdeel, wordt ingesteld.
- koers: een bepaalde richting van het mechanisme, of van een effectief extern onderdeel, wordt ingesteld (stuur en wielen)
- programmakeuze: een van verscheidene werkingstypen of -volgorden, die als programma's in het mechanisme zijn opgeslagen, wordt ingesteld (wasprogramma's).
- data-invoer: door een reeks van korte, afzonderlijke bedieningshandelingen wordt informatie als tekens in het mechanisme ingebracht voor presentatie, bewerking of opslag (toetsenbord PC).

Mechanismen kunnen direct of op afstand worden bediend (direct: de aan/uit knop op de kruimeldief in de hand; de decibel-schuif op de versterker; op afstand: de TV-afstandsbediener; het sluiten van de treindeuren vanuit de machinisten-cabine; het openen van een sluis op verre afstand e.d.). Bij afstandsbediening zal de bediener feedback dienen te krijgen over het wel/niet uitvoeren van de gegeven opdracht (lampje als alle treindeuren inderdaad gesloten zijn).

10.3 Bespreking van de voornaamste M-,P-,O-, en I-factoren

In deze paragraaf worden de M-, P-, O- en I-factoren vermeld, ofschoon de eerlijkheid gebied te bekennen dat veel belangrijke details nog onzeker zijn. Zo bijvoorbeeld is er nog weinig bekend over de precieze bewegingen van arm, hand, been en voet naar, aan en met controls (zie bijvoorbeeld v.d. Vaart, 1995), terwijl toch te verwachten valt dat door deze kennis nog veel ontwerpwinst te behalen valt. Hetzelfde geldt voor de trajecten, trajectvormen en het weerstandsverloop van het bedieningscomponent tijdens de eigenlijke bedieningsbeweging. De compatibiliteitsregels, de optimale relaties tussen bediening en effect, waaronder bijvoorbeeld de C/D ratio, vormen eveneens een terrein van onderzoek, waaruit vele belangrijke design-guidelines te verwachten zijn. Het continu bedienen, volgsturen, het repetent bedienen (zoals bij data-invoer) vormen belangrijke sectoren van produktgebruik, zowel voor professionele gebruikers als voor, in toenemende mate, leken-consumenten.

Een zeer belangrijk en zelfs urgent ontwerpaspect wordt gevormd door de codering en ordening van controls. Met de brede toepassing van micro-electronica bestaat de neiging een veelheid van (intelligente) functies in produkten aan te brengen en daaraan onoverzichtelijke, overdadige knoppenpanelen te koppelen. Dat leidt, vooral in de consumentenelectronica, tot veel irritatie en 'ondergebruik', die door de huidige gebruiksaanwijzingen en tekens (symbolen, pictogrammen, iconen) onvoldoende blijken te worden voorkómen (Freudenthal, 1995). Het toepassen van de reeds bestaande ontwerpergonomische inzichten zou daarin al veel verbeteringen kunnen aanbrengen. Veel nieuw onderzoek is echter geboden om de achterstand ten opzichte van de technische toepassingen, die zelf ook snel worden ontwikkeld, in te halen.

10.3.1 M-factoren

Bij het gebruik van bedieningscomponenten kan het menselijk handelen worden beschouwd volgens het stroomschema: opmerken, selecteren, identificeren, reiken en bedienen van controls. De M-factoren bij de taken opmerken, selecteren en identificeren hebben vooral betrekking op de visuele zintuigen, in mindere mate ook op het tactiele en auditieve systeem. Uitzonderingen zijn speciale doelgroepen, bij blinden bijvoorbeeld wordt het tactiele systeem juist weer erg belangrijk.

Bij het reiken wordt de ledenketting of een deel daarvan ingezet. De ontwerprelevante factor hiervan is het aantal graden van vrijheid van de kinematische keten, zoals die in Hoofdstuk 3 'Biomechanische begrippen' is uiteengezet. Bedieningscomponenten kunnen, zoals we later zullen zien, worden ingedeeld naar toenemende inzet van de ledenketting.

Naast dit biomechanische begrip zijn ook de antropometrische factoren van de ledenketting o.a. vingerbreedte, handbreedte en reikenvolp van belang (zie Hoofdstuk 2 'Produktontwerpen en fysieke data').

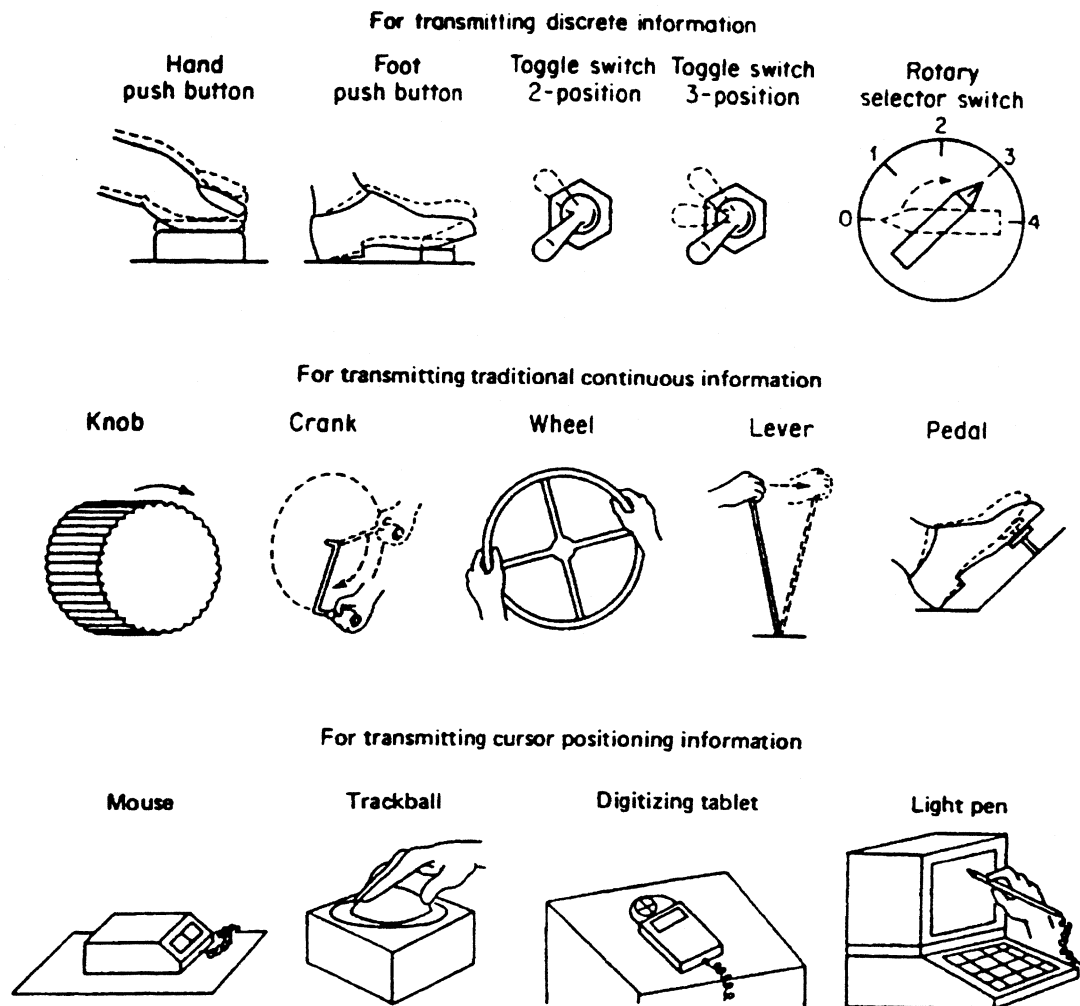
Voor het bedienen tenslotte is de kracht, waarmee een control moet worden geactiveerd, gebonden aan de menselijke comfortabele waarden. Factoren die hierbij een rol spelen, werden al genoemd in Hoofdstuk 9 'Ontwerpen van Handwerktuigen' naar aanleiding van een onderzoek van Fähnrich (1983):

- anatomie
- antropometrie
- geslacht
- leeftijd
- training

Samenvattend kan gezegd worden dat bedieningscomponenten moeten worden gedimensioneerd op het menselijk lichaam en dat de bedieningskarakteristieken binnen de kracht, precisie en vaardigheden van het menselijk handelen moet vallen.

10.3.2 P-factoren

De kenmerken van controls en hun bedieningswijzen geven evenzoveel mogelijkheden tot indeling in typen. In de technische en ergonomische literatuur (bijv. Sanders & McCormick, 1993; Lange et al. 1988) vindt men verschillende indelingen of weinig geordende opsommingen. De variëteit van bedieningscomponenten in functie, grootte, bediening etc. is dan ook aanmerkelijk en er komen ook nieuwe typen bij. Een voorbeeld van indeling wordt gegeven door Sanders & McCormick (1988).



Figuur 10.1

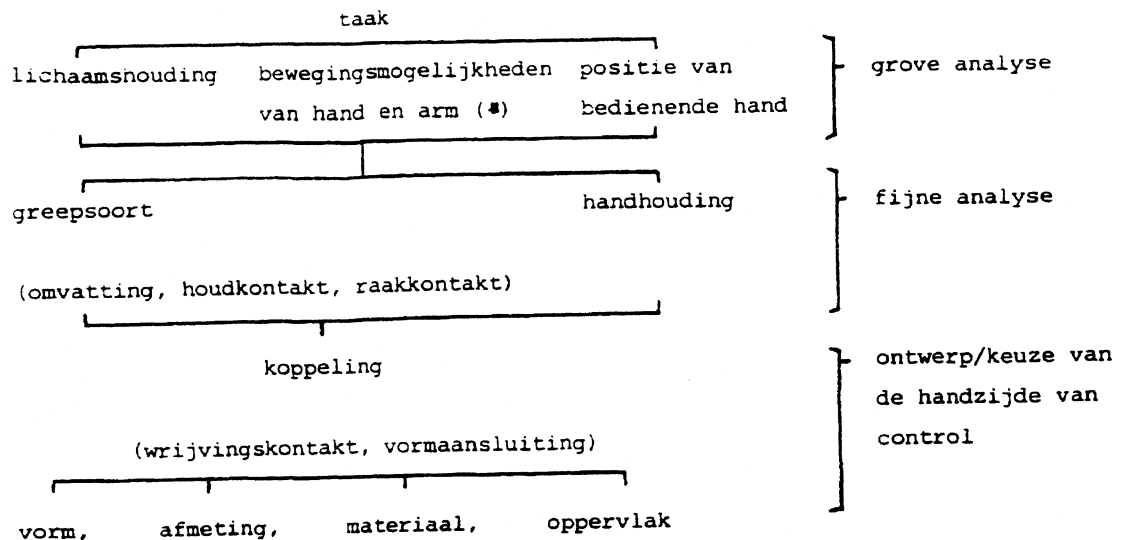
Een andere indeling is die van Maul et al. (1976), die gericht is op de aard van het fysieke contact. Zij onderscheiden:

1. een omvattende greep van de gehele hand (noodrem in de trein, stuurwiel)
2. een houd-contact, waarbij enkele vingers de control aan weerszijden vasthouden (huissleutel, fijnsteldraaiknop).
3. een raak-contact, waarbij niet echt van vasthouden sprake is (druknop, duimwiel).

Bij elk van deze drie contacttypen kan het een wrijvingscontact zijn, waarbij de bedienende bewegingsrichting over het contactvlak van de control verloopt (stuurwiel, fijnsteldraaiknop, duimwiel), of kan het een vormaansluiting betreffen, waarbij de bewegingsrichting loodrecht op het contactvlak verloopt (noodgreep, huissleutel, drukknoop).

Het is duidelijk dat de grootte van het contactvlak tussen huid en control zeer uiteen kan lopen en dat bij grotere krachtoefening meer oppervlak geboden is. Op draaiknoppen van het type met vier sterpunten kan veel rotatiekracht worden uitgeoefend, omdat ze optimaal aansluiten op de huid- en botstructuur van de halfgesloten handpalm en vingers. Maul et al. (1969) hebben volgens deze

contactprincipes de controls overzichtelijk kunnen indelen. Deze auteurs zijn ook tot een ontwerp- en/of keuzeprocedure gekomen ten aanzien van controls, die als volgt kan worden geschematiseerd (figuur 10.2)



Figuur 10.2 Het ontwerp (naar Maul et al.,) c.q. keuze-proces ten aanzien van de controls

De eerste stap die zij uitvoeren is een grove analyse van de taak, de lichaamshouding, de positie en bewegingsmogelijkheden van de hand. De tweede stap is de keuze van de greepsoort: omvatting, raakkontakt, houdcontact en de keuze van de koppeling: wrijvingscontact of vormaansluiting. Tenslotte worden erna vorm, afmeting, materiaal en oppervlak van de control bepaald.

Als bewegingsmogelijkheden (*) worden onderscheiden:

- translatie: trekken, schuiven, drukken;
- rotatie: zwenken, draaien.

Ofschoon elk van de voorgaande indelingen en speciaal de onmiddellijk voorgaande, op belangrijke ergonomische aspecten van het bedienen van controls is gericht, is het handiger de indeling te volgen op basis van de inzet van de ledenketting, gaande van distaal tot distaal + proximaal en dus van vingertop tot beide armen (+ romp). Daarbij kunnen de volgende 18 typen handbedieningsmiddelen en 2 typen voetbedieningsmiddelen worden onderscheiden (zie figuur 10.3), waarbij de meest gangbare vormen van deze typen staan aangegeven in een volgorde van toenemende inzet van de ledenketting: Van aanraken met een vinger bij no.1 tot en met bewegen door beide armen met de romp bij no. 18. In figuur 10.4 worden tevens enkele aanwijzingen voor het ontwerpen en de installatie gegeven. De diameter-kolom geeft de diameter van een rond contact-oppervlak of de zijde van een vierkant aan. De tussenruimte-kolom geeft een benaderende waarde voor installeren naast elkaar en wel tussen de dichtst bijgelegen zijden, ook in geval van uitslag c.q. kanteling van een component.

no./naam	zij-aanzicht	boven-aanzicht	inzet	beweging
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			10/11/12	d
19. pedaal			10/11/12	d

inzet:

- 1 = vingertop
- 2 = vinger
- 3 = wijsvinger + duim
- 4 = vingers, + of - duim
- 5 = hand
- 6 = onderarm

- 7 = arm
- 8 = armen, + of - romp
- 10 = voet vanuit enkel
- 11 = been vanuit knie
- 12 = been vanuit bekken

beweging:

- d = drukken
- t = trekken/duwen
- r = roteren
- z = zwenken
- s = schuiven

Figuur 10.3 Overzicht van typen hand- en voetbedieningsmiddelen, gerangschikt volgens de inzet van de ledenketting.

Bij toetsenklavieren (key-boards) kunnen echter vaak op verantwoorde manier kleinere tussenruimten worden aangebracht. De operationele krachten zijn ter vergelijking alle in Newtons uitgedrukt. Het aantal discrete of continue-standen geeft in feite aan hoeveel verschillende commando's men via dit type control kan doorzenden aan de machine. De omvang van de ingezette ledenketting bepaalt de volgorde in de tabel en correspondeert globaal met de op te brengen krachten. In de laatste kolom wordt aangegeven of de stand van de control, in gebruikelijke uitvoering en zonder extra displays, gemakkelijk op leesafstand valt vast te stellen; de codering kan hierbij meebepalend zijn.

Bij dit 20-tal controls gaat het om ideaaltypen; in de praktijk ziet men vele tussenvormen of combinaties. De vormen 2, 5 en 9 domineren, maar nr.'s 1, 10, 12 en 14 zijn duidelijk in opmars en zouden wellicht voor de meeste control-situaties toereikend zijn.

Aan deze 20 gebruikelijke bedieningsonderdelen kunnen nog enkele meer moderne worden toegevoegd. Een 'rocker control' bijvoorbeeld, die bestaat uit twee nevenliggende drukknoppen ter vervanging van een wipschakelaar. Een 'muis' en een 'track ball' worden gebruikt om de positionering te beheersen van een vlek op het beeldscherm; de eerste volgens het principe van een bewegend karretje waarvan de verplaatsing in evenredigheid wordt vertaald; de tweede als een op een vaste plek geïnstalleerde bol, waarvan de rotaties worden vertaald naar verplaatsingen van de

no.	naam	diameter, breedte (mm)	beweging (graden, mm)	tussenruimte (mm)	operationele kracht (N)	aantal standen	visuele controle
1	tiptoets	13 - 25	0	8 - 13	0 - 0,5	2	+
2	drukknop	13 - 25	1 - 6	8 - 13	0,5 - 5	2	-
3	wipschakelaar	25 - 65 L	30	8 - 13	1 - 4	2	+
4	duimwiel	25 - 36 ϕ					
		5 - 25 B	0 - max.	13 - 25	0,5 - 2	5	-
		18 - 25 opening					
5	tuimelschakelaar	3 - 6 ϕ	40 - 60	8 - 15	1 - 5	2 - 3	+
		12 - 20 H					
6	hefboomschakelaar	10 - 15	30	5 - 10	1 - 5	2	+
7	aan-uit schuif	2 - 5	6 - 13	15 - 25	0,5 - 2	2	+
		3 - 5 H					
8	kontinu schuif	7 - 10	0 - max.	20 - 35	0,5 - 4	5	+
		5 - 10 H					
9	fijnsteldraaiknop	10 - 20	0 - max.	25 - 50	0 - 0,5	5	-
10	meerstandenschakelaar	40 - 60	30	30 - 60	2 - 8	3 - 12	+
		10 - 30 H					
11	staafdraaiknop	25 - 50	15 - 30	30 - 60	2 - 8	3 - 6	+
		20 - 30 H					
12	draaischijf	40 - 80	0 - max.	25 - 50	0,5 - 2	5	-
		10 - 25 H					
13	sterdraaiknop	40 - 60	0 - max.	25 - 50	2 - 20	5	+
		25 - 45 H					
14	zwengel	20 - 300 straal	0 - max.	60 - 120	10 - 50	5	-
		30 - 80 H					
15	joy-stick	2 - 5	10 - 90	50 - 100	5 - 50	1 - 5	+
		50 - 200 H					
16	hendel	25 - 40 ϕ					
		150 - 600 H	10 - 90	50 - 100	10 - 200	2 - 5	+
		80 - 120					
		(H. hand-voet)					
17	hand/armwiel	200 - 500	0 - max.	150 - 300	15 - 150	5	-
		20 - 30 velg ϕ					
18	voetdrukknop	25 - 90	15 - 70	200 - 500	15 - 70	2	-
19	pedaal	100 - 150	50 - 150	50 - 200	15 - 200	2 - 5	-

Figuur 10.4 Richtlijnen voor de uitvoering van de verschillende typen hand- en voetbedieningen

cursor op het scherm. Als derde mogelijkheid kan de 'touch pad' worden genoemd; de cursor wordt gestuurd door het bewegen van de vingers over een oppervlak. Ook een IR-straal wordt gebruikt om contactloos signalen te sturen (bijv. de waterkraan gaat open als men de handen eronder houdt, het licht gaat aan als iemand het huis nadert).

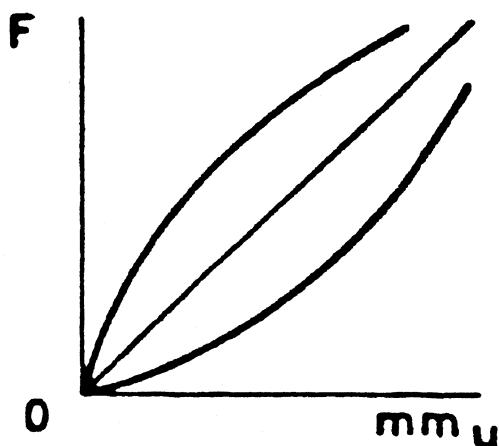
Er is dus een grote verscheidenheid van bedieningscomponenten, om zo goed mogelijk aan de bedieners, de bedieningssituatie en aan de machine een aanpassing te realiseren. Ook kan hiermee een verscheidenheid op panelen worden aangebracht, teneinde de herkenbaarheid en de handelingsvariatie te begunstigen en dus verwarring en onveilig handelen te voorkomen (door verkeerd kiezen of bewegen, door onbedoeld activeren, bijvoorbeeld door het langsstrijken van hand of mouw e.d. Dan vergrote men de initiële weerstand of plaatse men een knop dieper (gezakt tot onder het bedieningsvlak) of omgeeft men de control met een opstaande rand of zelfs onder een deksel.

10.4 I-factoren

10.4.1 Bediening van controls

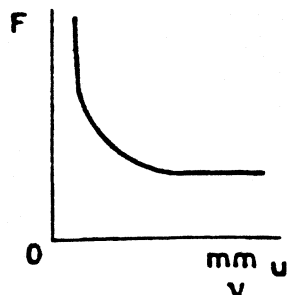
Door de uitvoering van de control en of de aard van de bedieningstaak kunnen de bedieningshandelingen aanmerkelijk variëren:

- eenmalig, of repetent, of blijvend:
 - een schakelaar hoeft gewoonlijk per keer één maal gekanteld te worden; een toets om een niveau spronggewijs te veranderen drukt men meermaals in om een bepaalde stand te bereiken; een stuurwiel voor een scheepsroer houdt men langdurig vast met vaak voorkomende uitslagbewegingen.
- discreet, of continu:
 - het bedieningscomponent kent een beperkt aantal standen (aan/uit, tiptoets, 5 of 6 standen van een versnellingspook, programma draaischijf met enkele klikstanden) of de control kan binnen bepaalde uitersten in elke tussenpositie worden gezet (autostuurwiel, schuif voor lichtintensiteit, draaischijf voor radiozenderkeuze). In feite is hierdoor ook gegeven hoeveel verschillende commando's door de control kunnen worden overgebracht, ofwel welke informatie-capaciteit hij bezit. In die zin heeft een lettertoets of drukknop slechts één bit, een 16-standenschakelaar vier bit en een gaspedaal, althans in theorie, een oneindig aantal intensiteitscommando's.
- weerstandstype:
 1. elastisch: de weerstand neemt toe met de verplaatsing vanuit een beginpunt;



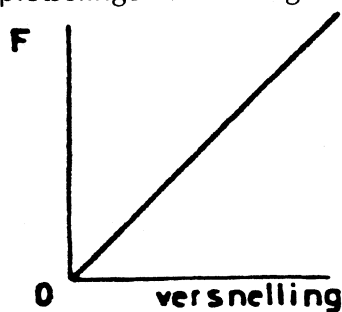
Figuur 10.5 elastische weerstand

2. statisch: alleen aan het begin van de verplaatsing is er weerstand, om erna scherp te dalen.

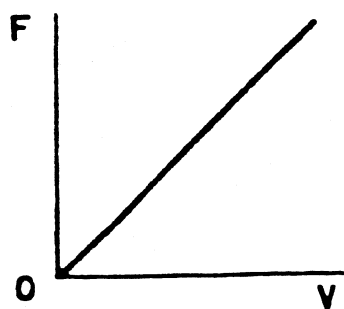


Figuur 10.6 Statische weerstand

3. Traagheidsweerstand: neemt toe bij versnellingen en vertragingen van de bedieningsbeweging; bevordert een soepel bewegingspatroon en voorkomt plotselinge veranderingen in richting en snelheid.



Figuur 10.7 Traagheidsweerstand



Figuur 10.8 Viskeuze weerstand/damping

4. visceus: de weerstand wordt door de snelheid van de beweging en niet door plaats bepaald.

Vooraf bij blijvend bedienen van continue controls, zoals bij een autostuur (behorend tot het type taken dat 'volgsturing' ofwel 'tracking' wordt genoemd), hebben deze verschillende typen weerstanden elk hun speciale voor- en nadelen, omdat verschillende bewegings- en bedieningskwaliteiten voelbaar zijn. De elastische springt

bij loslaten terug naar of in de richting van de uitgangspositie en bij verder draaien van een stuur voelt men aan de reactiekracht hoe excentrisch de positie van het wiel is. De statische weerstand voorkomt onbedoeld activeren bij aanstoten. De visceuze bevordert het geleidelijk bewegen en het traagheids-type kan beide voorgaande voordelen verenigen.

bedieningsaspect	type weerstand			
	elastisch	wrijving	visceus	traagheid
terugkoppeling van uitwijking	++			
voorkomen onbedoeld activeren		++	+	+
soepele beweging			++	++

Figuur 10.9 Mogelijke weerstandsterugkoppeling in controls

Directheid

Het commando kan na de bewegingsuitslag van de control direct aan het mechanisme doorgegeven worden of er kan enige 'dode tijd' optreden. Het kan ook zijn dat het commando weliswaar direct wordt doorgegeven, maar dat het waarneembare effect aan het mechanisme pas na enige tijd verschijnt (de machine moet zich even instellen, of warm worden e.d.) Wachttijden worden over het algemeen als niet compatibel ervaren, omdat de bediener is ingesteld op onmiddellijke kennis van resultaat, onzeker of geïrriteerd raakt door dode tijd of gehinderd wordt in het uitvoeren van een soepele reeks handelingen.

C/D ratio

De omvang van de bedieningshandeling, in de zin van omvang van verplaatsing of erbij uitgeoefende kracht, kan een betrekkelijk gering of relatief groot effect hebben. Voor het fijn instellen van een positie is men bereid een duimwiel of zwenkel vele malen te draaien: een hoge control-display ratio. Voor het snel verplaatsen van een cursor buiten een window op een beeldscherm dient een track-ball een lage C/D verhouding te hebben. De compatibiliteit, ofwel het overeenstemmen met de verwachting van de menselijke bediener is dus afhankelijk van de taak, vaardigheid en ervaring.

Richtingscompatibiliteit

De richting van duwen, trekken, schuiven, roteren of zwenken tijdens bedienen geeft vaak een verwachting omtrent de richting en aard van het effect. Hiervoor bestaan de bekende ergonomische compatibiliteitsregels (zie bijvoorbeeld ide 130: Inleiding tot de Produkt- en systeemergonomie 1994, p. 243).

10.4.2 Codering van controls

In het bedieningsproces van controls kan het opmerken, selecteren en identificeren van controls aan de eigenlijke bedieningsbewegingen vooraf gaan. In het geval van vele bedieningsmiddelen kan verwarring of oponthoud ontstaan; ook kan dat optreden als het een onervaren bediener tegenover slechts een of enkele controls betreft. Het is daarom vanuit ergonomisch standpunt zaak de controls goed te coderen, zodat hun plaats, functie, toestand e.d. gemakkelijk en eenduidig kunnen worden waargenomen. De codering is in feite ook belangrijk tijdens de bedieningshandeling; alleen zal het dan vaak tactiele waarneming zijn, in de zin dat de huidzintuigen e.d. de veranderende krachten en verplaatsing voelen. Voorafgaand aan het bedieningsproces staan vooral visuele coderingsmogelijkheden ter beschikking. In figuur 10.10 wordt een en ander in overzicht gebracht. Het visuele coderen geeft dus de meeste mogelijkheden, maar dan vooral in de fase voorafgaand aan de eigenlijke bedieningshandeling. De tussen haakjes geplaatste zintuigaanduidingen geven aan dat die waarnemingsvorm minder gemakkelijk is dan die via een ander zintuig. Zo kan de plaats van een control worden gevoeld, maar beter gezien. Volgen we de nummers in figuur 10.10, dan zien we het volgende.

deel van bedieningsproces	kode (dimensie, wijze)	zintuigen		
		visueel	tactiel	auditief
vooraf: opmerken, selekteren, identifikatie van funktie en aard beweging tijdens	1. plaats en groepering	x	(x)	
	2. vorm	x	x	
	3. grootte	x	x	
	4. richting, oriëntatie	x	x	
	5. op-, bijschrift	x		
	6. neven-display	x		
	7. kleur, helderheid	x		
	8. textuur	x	x	
	9. bedieningswijze	(x)	x	
	10. weerstand		x	
	11. geluid			x

Figuur 10.10 Coderingmogelijkheden van controls

Groepering en plaats

Installeer onder handbereik en in het optimale blikveld. Indien een control alleen identificeerbaar is op basis van plaats, dienen de onderlinge afstanden groot te zijn, het patroon van plaatsing regelmatig (hoekpunten van vierkant bijv.) en dient het aantal controls gering te zijn. Groepering en rangschikking van een veelheid controls dient, meestal in prioriteitsvolgorde, gebaseerd te worden op de principes: a. frequentie van gebruik b. urgentie van bediening c. volgorde van bedieningshandelingen. Men vervalt dus liefst niet in de fout van het coderen op vorm van de control, noch op basis van fysische eenheid!

Vorm

De vormen van controls kunnen, ook binnen hetzelfde type (zie figuur 10.3), aanzienlijk worden gevarieerd; zij kunnen vaak op directe manier verwijzen naar de functie, die zij beheersen (wipschakelaar niet voor snelheid, wel voor aan- uit), en naar de aard van de bedieningsbeweging (kleine vierkante knop voor drukken, stervormige knop voor draaien). De vorm en afronding beïnvloeden uiteraard ook de grijpbaarheid.

Grootte

Indien een control alleen identificeerbaar is op basis van grootte, kunnen er slechts twee tot vier worden onderscheiden en dan nog alleen bij maten, die steeds ten opzichte van de voorgaande minstens 20% oplopen. Een reeks muntgeld zou idealiter ook zulke diameterstappen moeten hebben.

Richting, oriëntatie

Controls kunnen op onderling verschillende vlakken worden geplaatst; vaak kunnen geprononceerde onderdelen ervan in een herkenbare richting wijzen. Aan tuimelschakelaars of handels kan men bijvoorbeeld zien dat zij in de ene of in een andere richting dienen te worden bewogen; zijwaarts bewegende onderscheidt men dan bijvoorbeeld eenvoudig van de voorachterwaarts of bovenneerwaarts bewegende.

Op- of bijschrift

Met een enkel symbool, pictogram of letter-cijferaanduiding kan het identificeren van controls worden ondersteund. De aanduiding op een control dient in verschillende standen afleesbaar te zijn (niet een woord op de kop na rotatie van een knop). Labels naast een control dienen steeds op dezelfde relatieve positie te staan; doorgaans erboven wegens de bedienende hand, die anders de aanduiding bedekt. Woorden en andere tekens dienen zoveel mogelijk te zijn gestandaardiseerd en begrijpelijk te zijn voor de bedieners. (bijv. DIN-30600)

Neven-display

Een teller, wijzerplaat e.d. welke direct boven de control is geïnstalleerd, kan dezelfde functie vervullen bij het herkennen als een op- of bijschrift. De tussenruimten dienen dusdanig te worden gekozen dat het onmiskenbaar is welke display bij welke control behoort.

Kleur en helderheid

Het geven van verschillende kleuren of helderheden aan controls is zeer nuttig, als beoogd wordt het snel ontdekken van een control uit een veelheid op een paneel. Het aantal te onderscheiden kleuren dient echter beperkt te blijven tot enkele en maximaal negen; het aantal helderheden tot vier (wit, licht-grijs, donker-grijs, zwart). Ook hier is standaardisatie geboden en er dient rekening te worden gehouden met rood-groen "kleurenblindheid" (bij 8% van de mannelijke populatie). Tevens kan een grote wisseling in de verlichtingssterkte vanuit de omgeving hierbij kritisch zijn. In geringe mate kan kleur de controlfunctie mee helpen identificeren, zoals rood voor gevaar e.d.

Textuur

Het oppervlak van een control of delen ervan kunnen glad zijn, of gegroefd of geplooid; randen kunnen herkenbaar geribbeld of gekarteld zijn. Ook kunnen lijn- of stiprasters tot de herkenbaarheid bijdragen. Het aantal "stappen van onderscheid" bij texturen is eveneens beperkt tot enkele. Een aan textuur verwante codering is het aanbrengen van een holling of bolling in een contactvlak.

Bedieningswijze

Aan sommige bedieningsmiddelen kan direct en duidelijk worden geconstateerd welke de bedieningsbewegingen moeten zijn en ook daarin kan een codeermogelijkheid liggen. Als visuele mogelijkheid wordt dit echter weinig toegepast; vaker ziet men het als een tactiele code en dan namelijk in die gevallen, waar een afzonderlijke

bedieningsbeweging, bijvoorbeeld voor het ontborgen, vooraf moet gaan aan de echte bedieningsbeweging. Als een belangrijke schakelaar pas ingedrukt kan worden nadat men hem 90 graden heeft geroteerd, kan dit een unieke aanduiding zijn, welke verwarring voorkomt, mits bekend aan de bediener en al dan niet door een bijschrift aangegeven.

Geluid

Spaarzaam kan gebruik worden gemaakt van hogere of lagere, zachtere of luidere, continue of onderbroken tonen, om de aandacht van een bediener voor een specifieke control te trekken. Hoorbare klikken tijdens of bij het eind van de bedieningsbeweging kunnen ook bijdragen om controls niet te verwarren.

Het voorgaande elftal van codeermethoden kan op drie verschillende wijzen worden toegepast;

1. Uni-dimensioneel, dat wil zeggen dat controls alleen onderscheiden kunnen worden door verschillende intensiteiten op één dimensie. Zo kan men dan bijv. vier knoppen alleen op basis van plaats of alleen op basis van textuur onderscheiden (vormverschil).
2. Niet-redundant en multidimensioneel duidt op unieke combinaties van twee of meer dimensies: Rond versus vierkant plus groen versus rood codeert bijvoorbeeld vier controls (vorm x helderheid).

Beide voorgaande codeermethoden zijn af te raden en voorkeur verdient:

3. Redundant multidimensioneel. Hierbij is een specifieke control herkenbaar door meer dan één eigenschap. Van drie knoppen is bijvoorbeeld de eerste vierkant en rood, de tweede rond, grijs en gegroefd en de derde is driehoekig, intern verlicht en met een label erboven. Redundantie, oftewel "overvloedigheid" verbetert in hoge mate het onderscheid. Vooral is unidimensionele codering met alleen kleur of textuur, alleen oriëntatie of geluid uit den boze (vorm + helderheid).

10.5 Speciale bedieningscomponenten

In de ontwerpergonomie vormt het 'knoppenhoofdstuk' een verplicht nummer, omdat de beheersing van artefacten in de moderne tijd grotendeels verloopt via bedieningscomponenten. Oppervlakkig gezien betreft het een onderwerp van beperkte aard, temeer omdat het lijkt of de controls steeds vaker slechts van het drukknoptype zijn. Er is echter wel terdege veel ontwikkeling gaande van nieuwe typen (muis, trackball, lichtpen, aanraakscherm) en het overzichtelijk en bedienbaar maken van een paneel met vele controls (audio toren) is nog steeds een moeilijke ontwerpopgave. In het volgende worden eerst enkele relatief recente ontwikkelingen kort aangestipt, om erna over te gaan op enkele die gangbaar, maar toch bijzonder zijn. Van deze stof is veel ontleend aan Sanders & McCormick 1993 en Woodson & Conover 1973.

Spraakbediening

Een sensor op het produkt kan bij geluidontvangst een mechanisme activeren; sommige intelligente sensoren kunnen verschillende gesproken woorden onderscheiden en diverse commando's doorgeven. De ontwikkeling van dat laatste

gaat langzaam. De stand van zaken is dat een vocabulaire van hooguit een paar honderd woorden, mits verschillende malen vooraf ingesproken, kan worden onderscheiden. De herkenning is meestal beperkt tot één spreker of soortgelijke stemmen en de woorden dienen afzonderlijk en zonder emotie of verkoudheid te worden uitgesproken. Het proces verloopt dus niet snel en is kwetsbaar voor achtergrondruis. Voor sorteertaken, waarbij artikel of bestemming wordt uitgesproken, om een juiste selectie, transport of opslag te laten uitvoeren, werkt het redelijk. Het inspreken van een tekst is, wegens het beperkte vocabulaire en de geringe snelheid, nog verre van ideaal. Voor rolstoelen zijn systemen ontwikkeld om een beperkt aantal gesproken rij-instructies bedrijfszeker te verstaan: bijvoorbeeld "stop, vooruit, achteruit, naar rechts, naar links, harder, zachter". Het toespreken van stofzuigers, kookplaten of liften is echter nog niet aan de orde.

Lichtstraalbediening

Er zijn diverse ontwikkelingen, waarbij de afstandsbediener met IR-straal niet in de hand wordt gehouden, maar waarbij de straal gericht wordt door een bril en dus parallel aan de kijkrichting. Toepassingen worden gevonden bij het bedienen van complexe panelen en bij gehandicapten. Voorbeeld van het laatste is een TUD-ontwikkeling (Stassen c.s.) van een lichtstraal-bediende typemachine. Een positionerings-nauwkeurigheid van 10 tot 20 boogminuten kan worden bereikt, maar de taak is snel vermoeiend; onbedoeld activeren is een probleem dat alleen maar door langer fixeren van het bedoelde sensorpunt kan worden opgelost en tremor van het hoofd is soms ook ruisbron. "Kijken is doen", blijft echter een aantrekkelijke optie. Een variant op dit principe is de radiografische afstandsbediener, die dus niet richtingsgevoelig is.

Tele-operating

Indien gevaarlijke stoffen of stoffen in een mensvijandige ruimte moeten worden gemanipuleerd (verplaatsen, overgieten e.d.), kunnen systemen te hulp komen, waarbij de bediener een of beide handen in een soort robot-handschoen steekt, die zijn bewegingen van vingers en pols uitvoert met een klauw op afstand. Gewoonlijk kan men het effect waarnemen door een glazen ruit, soms via een video-systeem. De C/D ratio dient daarbij 1 te zijn. Probleem is het gemis aan tactiele terugkoppeling, waardoor men objecten bij grijpen kapot kan knijpen of kan laten vallen, tenzij een sensor is ingebouwd. In die richting gaan ook de endoscopische operaties. Daarbij worden, via kleine openingen in de buikwand, een kleine camera en licht in de buikholte ingebracht, benevens lange actuatoren (knippers, nieters, snijders e.d.), die door de chirurg worden bediend voor operatie en inspectie. Voor consumentengoederen zijn deze technieken echter vooralsnog niet plausibel, ofschoon de audio- of video-controle van de huisdeur en drukknop voor openen op afstand erop beginnen te lijken.

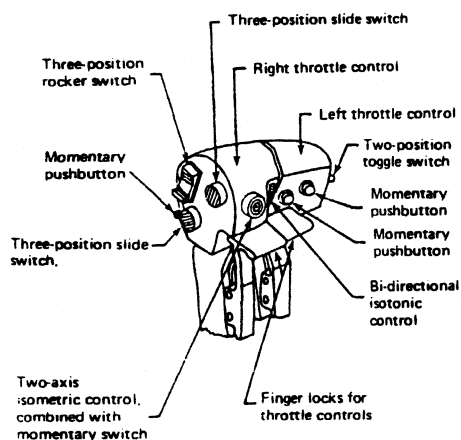
Joysticks

Stuurknuppels, die naar alle posities in een bolsegment kunnen zwenken, worden joysticks genoemd. Er komen zelfs varianten voor met verstelling (induwen, uittrekken) van de aslengte waardoor posities in een drie-dimensionaal gebied kunnen worden ingenomen. Dit soort controls worden vaak gebruikt om het sturen en de snelheidsregeling te combineren, of het roteren van een hijsarm te zamen met het hijsen. Bij het eerste geval, van volgsturen (tracking), wordt op basis van onderzoek een C/D ratio van 2½ tot 3 aangeraden en een steellengte van 46 cm. Het traject en

weerstand-verloop dienen echter goed te worden gekozen. Er zijn echter ook succesvolle kleinere uitvoeringen, zoals die waar men een korte cilinder in de handpalm neemt en een kort er bovenuit stekend stuurknopje (mini-joystick) met de duim bedient. Voor cursor verplaatsing op een scherm blijkt dat een redelijke oplossing. Het is echter steeds de vraag of men twee effecten, in het laatste voorbeeld de x- en de y-richting van een cursor, onder één bedieningsmiddel moet brengen. Op die vraag zal bij het volgende type worden ingegaan.

Multiple bedieningsoplossingen

Sanders & McCormick (1993) tonen de samengestelde control voor de linkerhand van de piloot in het F-18 gevechtsvliegtuig. De hand rust op een grote vaste knop, waarop 13 controls zijn gemonteerd, om door de vijf vingers te worden bediend: schakelaars, drukplaten en drukknoppen. Het is een bedieningspaneel voor de hand, dat blindelings bedienen en dus een langdurig leerproces vergt.



Figuur 10.11 F-18 stuurknuppel voor de linkerhand

Door de vele en snelle taken van de gevechtsvlieger is men tot deze concentratie gekomen. Het is al een ouder idee, de vele hand- en vingerposities te gebruiken voor een vervormbare bol, waarbij iedere 'griepconstellatie' een ander commando betekent en waarmee men dus bijvoorbeeld een tekst zou kunnen typen. Welke concentratie van bedieningsfuncties is echter geboden? Langdurig leren, onbedoeld activeren, en technische bedrijfszekerheid zullen bij het ontwerpen zwaar wegen. Is het bijvoorbeeld verstandig om sturen, snelheid en remmen bij een personenauto in één joystick onder te brengen, of laten we het maar bij de traditionele gescheiden controls, omdat onderlinge beïnvloeding bij gecombineerd bedienen te onveilig is? Combinaties zijn echter soms wel raadzaam. Bij positioneren van bijvoorbeeld een grijper in een vlak, of zelfs in een ruimtelijk gebied, is een combi-control van 2 of 3 assen beter dan het afzonderlijk bedienen van twee of drie hendels of schuiven. De oplossing met afzonderlijke controls leidt snel tot verwarring of vertraging wegens volgtijdelijk bedienen. Bij het reiken naar een object met eigen hand bewegen we toch immers ook niet eerst in de x-as en daarna in de y-as en tenslotte z-as. De ergonomische compatibiliteitstheorie leert dat bijna elke bediening-effect relatie uiteindelijk wel geleerd kan worden, maar wel ten koste van snelheid en van fouten bij vermoeiing of paniek.

Krachtbediening

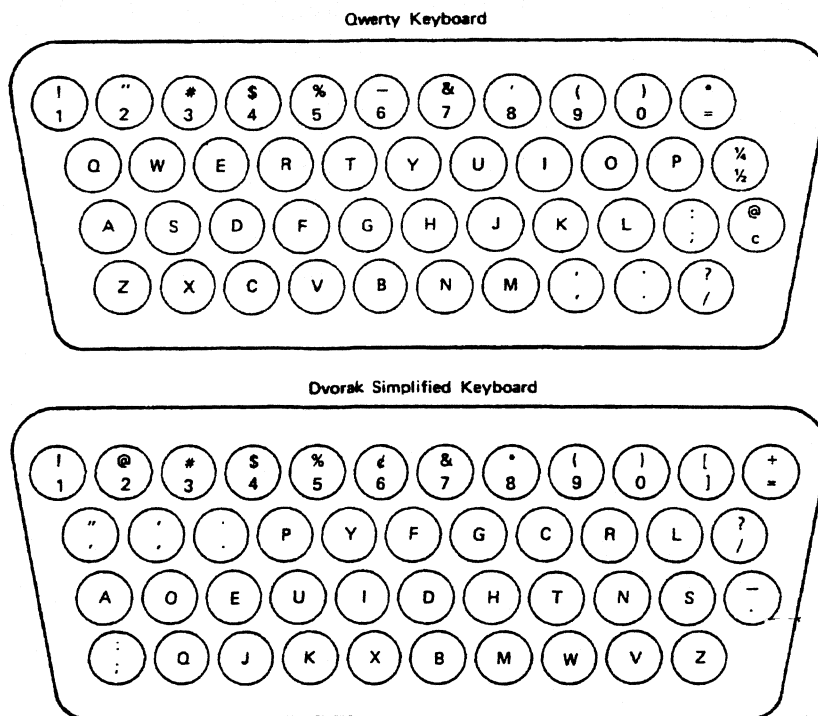
Voor het uitvoeren van een kleine beweging, teneinde een commando over te dragen, ligt het niet in de rede een zware spierinzet te vergen; letters typen dus liever niet met vuisten! Een standverandering van een control kan voor zeer zwakke ledematen echter wel veeleisend zijn. Soms is het ook de opzet de bediening voor kinderen onmogelijk te maken, maar men benadeelt daarmee vaak veel ouderen, sommige zwakke volwassenen, terwijl jonge kinderen soms toch zeer krachtig blijken (Steenbekkers, 1993). Het komt ook wel voor dat een bedieningsmiddel onbedoeld veel kracht vergt door vastzitten, door vuil of beschadiging. Welke spiercapaciteiten men mag verwachten bij transleren en roteren, kan men in diverse boeken opzoeken, bijvoorbeeld Daams (1994). Vooral draaiknoppen zijn veelvuldig onderzocht en de effectiviteit is in kaart gebracht als functie van diameter, knopvorm textuur, maar ook van glibberigheid (vet) van oppervlak (Kohl, 1983) en van het dragen van handschoenen.

Pedalen

Controls zijn er niet alleen voor hanteren (manipuleren) maar ook voor de voeten. Noodknoppen lenen zich zelfs voor bediening met elleboog, heup of voorhoofd. De gedachte is nogal verbreid dat de benen weliswaar goed zijn voor kracht, maar wat betreft precisie van positioneren en doseren, of in reactie-snelheid verre de mindere zijn van de armen. Het benenspel van de organist moet ons evenwel doen twijfelen en het is de vraag of de gedachte deels cultureel is bepaald. Kroemer (1971) deed verschillende proeven, waaruit bleek dat de bediening door been en voet redelijk scoorde. De visuele controle is bij 'pedipulatie' echter minder. Het overgaan tot voetbediening, indien de handen al druk bezet zijn, of indien veel kracht gezet moet worden, is desalniettemin een verstandige ontwerpregel. Bij chaufferen wordt die regel gevolgd. Sommige voertuigen worden echter met de voeten gestuurd en lichtdimmen gaat soms via een voetknop. Er is ruim onderzoek gedaan naar pedalen: de draaias ten opzichte van de hiel, de hellingshoek, de hoek tussen voet en onderbeen, de plaats ten opzichte van de zittende persoon, het weerstandsverloop, het traject en de trajectvorm (zie bijv. Woodson & Conover, 1973). Opmerkelijk zijn de onderzoeken naar de relatieve hoogte van gas- en rempedaal bij auto's met automatische versnelling. Een gelijk niveau versnelde (rem)bediening, maar leidde ook eerder tot vergissingen.

Toetsenborden

Keyboards zijn alledaagse verschijningen op telefoons, computers, rekenmachientjes, typemachines (en piano's). Voor alfanumerieke input is de Qwerty-opstelling standaard geworden. Er gaat het verhaal dat deze opstelling toevallig won by typesnelheidwedstrijden in de USA en dat we nu spijtig constateren dat de meest voorkomende letters (in engels) door de zwakste vingers worden bediend. Het tegendeel van toeval is echter waar. De mechanische oplossing van hefboompjes voor de types bleek te langzaam voor vlotte handen; de stangetjes raakten in elkaar geklemd en men realiseerde door de Qwerty-opstelling opzettelijk vertraging. Toen de constructie gewiekster werd en Dvorak in 1943 een betere letteropstelling bedacht, was het al te laat, omdat de tienduizenden ervaren typisten geen omscholing wensten.



Figuur 10.12 Qwerty- en Dvorak-toetsenbord (uit Sanders & McCormick, 1993)

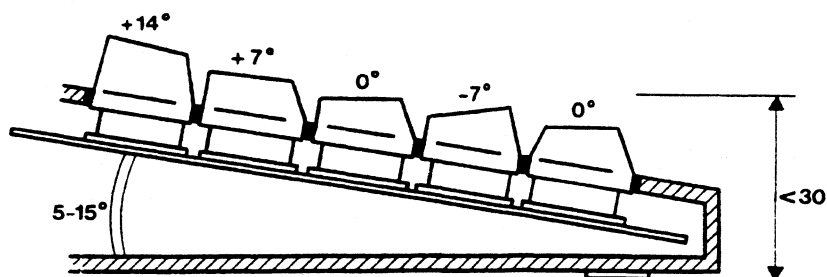
Numerieke toetsenborden hebben meestal één van de volgende twee opstellingen.

calculator	telefoon
7 8 9	1 2 3
4 5 6	4 5 6
1 2 3	7 8 9
0	0

Uit diverse studies blijkt de telefoon-oplossing een fractie sneller te verlopen en met iets minder foute aanslagen. Zou dat verklaard kunnen worden aan onze leesvolgorde op een bladzijde tekst?

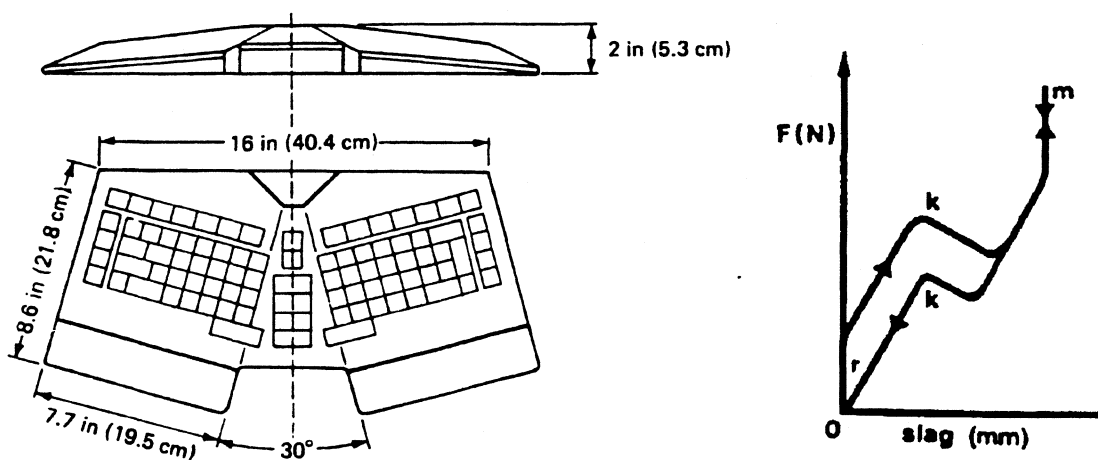
De telefoondraaischijf bleek weliswaar langzamer dan de druktoetsen, maar toch met iets minder fouten. Zulke omkeringen worden wel vaker aangetroffen: cursorbediening met een lichtpen gaat sneller, maar met een trackball preciezer.

De vorm van toetsenborden is ook ergonomisch door proeven geoptimaliseerd. Als voorbeeld hierbij een figuur uit de Handleiding Controls & Displays van Van Wijnen (1987; l.O. b.o. 16).



Figuur 10.13 Zijaanzicht toetsenbord

Het gebroken toetsenbord, waarvan een voorbeeld van Ilg (1987), is ontwikkeld om de ulnaire pols deviatie (pinkwaartse knik) te verminderen en dit type blijkt inderdaad tot minder vermoeidheid en klachten te leiden dan het rechte keyboard.



Figuur 10.14 Gebroken toetsenbord (Ilg, 1987).

Ook zijn van de toetsenborden de toetsen afzonderlijk onderzocht. Door de vele repeterende bedieningsbewegingen bij typen kunnen kleine verbeteringen in uitvoering substantieel winst opleveren. Een toets met hysteresis (iets langzamer terugkomen dan de gebruikelijke indrukssnelheid) en met een hoorbare klik blijkt prettiger te voelen en efficiënter te bedienen. Het weerstands-verloop bij indrukken blijkt optimaal bij de rechtsaangegeven karakteristiek.

Een recentere toepassing is de membraan toets. Het principe is dat twee contactlaagjes gescheiden worden door een tussenliggend, niet geleidend en indrukbaar laagje. Door indrukken met een slag van enkele tienden van een millimeter maakt een pinnetje via een opening in de tussenlaag, contact. De benodigde vingerkracht is echter aanmerkelijk hoger. Bij toevoegen van een kunstmatige auditieve klik en een laag randje rond de toetsen (voor beter positioneren van vingers) blijken de membraan toetsenborden echter nagenoeg gelijk te scoren aan de huidige, gebruikelijke. Omdat membraan toetsen goedkoop zijn, makkelijk in verschillende vormen kunnen worden vervaardigd en (stof)dicht afgesloten zijn, belooft die techniek veel voor de toekomst.

Begrippen

Bedieningscomponenten

- MPOI-factoren
- ledenketting
- kinematische keten
- ontwerp-keuzeprocess van Maul & Solf
- typen hand- en voetbedieningsmiddelen
- bediening van controls
- weerstandstype
- compatibiliteitsregels
- C/D-ratio
- codering van controls

speciale bedieningscomponenten

Literatuur

Daams B.J. (1994)

Human force exertion in user-product interaction. Background for design.
Proefschrift Delft. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft.

Freudenthal A. (1994)

Tussenrapport veldonderzoek Apparatuur gebruik. Onderdeel van het
gerontechnologie project.

Inter Rapport. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft.

Ilg (1987)

In: Sanders M.S., Mc Cormick E.J. (1993)
Human Factors in Engineering and Design
New York: Mc Graw-Hill, Inc.

Kohl (1983)

In: Sanders M.S., Mc Cormick E.J. (1993)
Human Factors in Engineering and Design
New York: Mc Graw-Hill, Inc.

Kroemer (1971)

In: Sanders M.S., Mc Cormick E.J. (1993)
Human Factors in Engineering and Design
New York: Mc Graw-Hill, Inc.

Maul H., Solf J.J. (1969)

Der Weg zum richtigen Griff.
Verband für Arbeitsstudien REFA.

Sanders M.S., Mc Cormick E.J. (1993)

Human Factors in Engineering and Design
New York: Mc Graw-Hill, Inc.

Vaart, A.J.M. van der (1995)

Arm movements in operating controls.
Proefschrift Delft. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft.

Wijnen G. van (1987)

Handleiding Controls en Displays.
Diktaat io b.o. 16. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft.

Woodson W.E., Conover D.W. (1974)

Human engineering guide for equipment designers (2nd ed.)
University of California Press, Berkley.

11 Ontwerpen voor specifieke doelgroepen

De meeste producten, maar ook de meeste ergonomie is nog steeds gericht op de 30 jarige gezonde en slimme man. Met onderstaande voorbeelden willen we aangeven dat produktontwikkeling voor specifieke doelgroepen ook specifieke kennis vereist op het gebied van de fysieke factoren en op het gebied van de cognitieve en sensorische ergonomie. Deze produktsoorten komen voort uit indeling van de populatie naar sexe, leeftijd, gezondheid en etniciteit.

De ontwerper zou in principe moeten streven naar het insluiten van zoveel mogelijk subcategorieën (zie de 7 ontwerptypen in ide 130).

11.1 Producten

11.1.1 Producten voor kinderen

Bij producten voor kinderen is vooral de veiligheid in het geding, omdat het te verwachten gebruik soms onverspelbaar is. De Europese overheid tilt hier zwaar aan en heeft daarom het CE-keurmerk (CE = Conformité Européenne) voor speelgoed ingevoerd, hetgeen aangeeft dat het produkt met het CE-label aan een Europese richtlijn voldoet. Een Europese richtlijn (telt zwaarder dan een norm) bevat essentiële eisen op het gebied van veiligheid, gezondheid en milieu. De nationale overheden dienen die richtlijnen om te zetten in wetgeving. CE-keurmerken zijn er echter nog maar voor een klein aantal producten (speelgoed, bouwproducten, machines en gastoestellen). Men streeft naar CE-merken voor 40% van alle in de handel zijnde producten in Europa. Volgens de Consumentenbond is het CE-merk voor de consument weinig waardevol, zeker als niet naspeurbaar is welk instituut welke eisen heeft gebruikt, zoals nu het geval is. Dit betekent bijvoorbeeld dat een schooltafelje uit Portugal met een CE-keurmerk, niet hoeft te voldoen aan de Warenwet uit Nederland of aan de keuringseisen in Nederland. In Nederland hebben we qua wetgeving in ieder geval het Speelgoedbesluit in de Warenwet, waar specifieke eisen over de afmetingen van producten staan.

Andere kenmerken van producten voor kinderen: ze zijn vaak klein (knikkers) en soms eenvoudig bijvoorbeeld Windows voor kinderen, maar ook typisch voor kinderen zijn leermiddelen, ondersteuningsmiddelen, transportmiddelen en speelgoed. Over speelgoed het volgende:

Speelgoed

De speelwaarde hangt af van de spontane aantrekkingskracht; de tijdsduur, die kinderen er mee willen spelen; de hulp van volwassene die nodig is; de mogelijkheid om er hun fantasie in kwijt te kunnen.

Bij een test van bouwdozen door de Consumentenbond bleken er aanzienlijke verschillen te bestaan, in speelwaarde maar meer mogelijkheden scoorde steeds hoger. Voor jongere kinderen mag het bouwsel best stil blijven staan, maar bij ouderen kinderen is bewegen toch aantrekkelijker. Hoe complexer het speeltuig des te meer is een goede handleiding noodzakelijk. Lego heeft bijvoorbeeld bruikbare handleidingen. Speelgoed dient zo degelijk te zijn, dat het niet na een paar keer vallen, er op trappen of er tegen aan stoten stuk is.

Wat de veiligheid betreft dient (bij gebrek aan beter) het speelgoedbesluit van de Warenwet als richtlijn (zie archief produktveiligheid van onze vakgroep).

Enkele voorbeelden uit het Speelgoedbesluit:

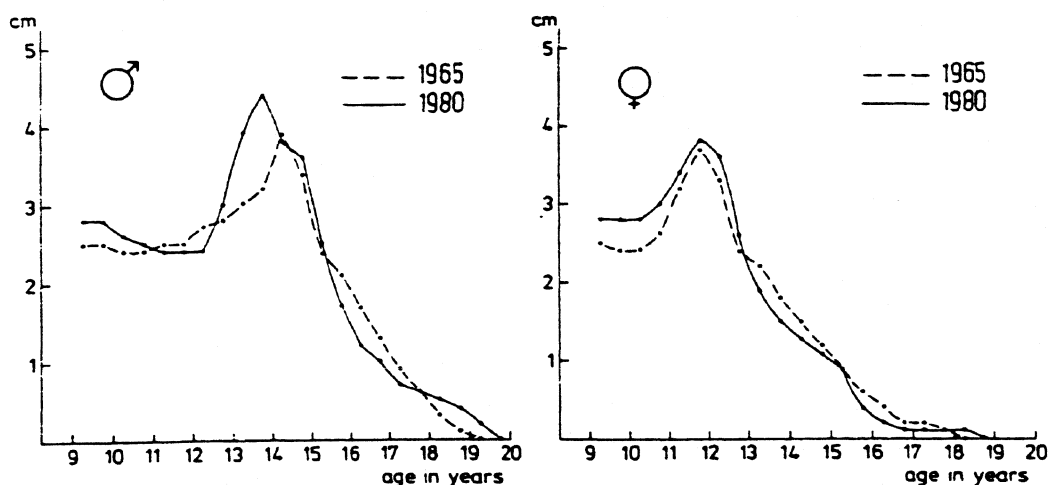
- onderdelen mogen geen afmetingen hebben tussen de 17 - 32 mm, die overeenkomen met de afmetingen om de luchtpijp van een kind tot vier jaar te kunnen afsluiten;
 - als dit wel het geval is dient er duidelijk op de verpakking te staan dat dit speelgoed ongeschikt is voor kinderen onder de vier jaar;
 - zware metalen mogen maar in beperkte mate voorkomen in de lak (lood, cadmium, barium etc.);
 - scherpe kanten zijn voor jonge kinderen ook uit den boze.
- Meer informatie over speelgoed (ook voor gehandicapte kinderen) staat in het naslagwerk Speelblokken (de Groot et al, 1993).

Commentaar:

Die 17-32 mm is waarschijnlijk een aanname en bedenk dat er nogal wat rek in zit, desondanks zit een Flippo met een diameter van 40 mm aan de veilige kant.

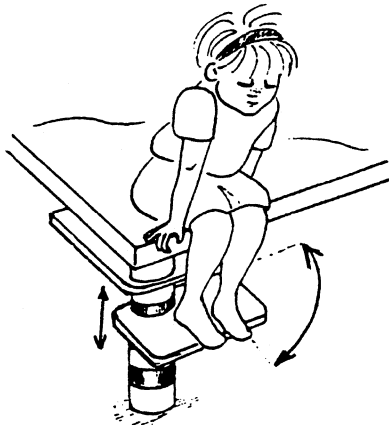
Meubilair voor kinderen

Vanwege de snelle groei (zie figuur 11.1) van kinderen in een jaar tijd en de aanwezige variatie hierin bij een groep kinderen, is het voor een school e.d. noodzakelijk over een voorraad meubilair te beschikken met diverse afmetingen.



Figuur 11.1 Halfjaarlijkse lengtegroei van nederlandse jongens en meisjes in 1965 en 1980 (Roede en van Wieringen, 1985)

De onderbeenlengte van een 10-jarige varieert bijvoorbeeld tussen P3 en P97 met ongeveer 10 cm (van 36-46cm). Daarom is het van belang dat, afgezien van de voorraadproblematiek, een kind en de begeleider duidelijk kunnen herkennen welk meubel geschikt is. Dat is natuurlijk een ontwerpprobleem en afstudeester Yvonne Ramaekers heeft daarvoor een fraaie oplossing gevonden (figuur 11.2). De gekleurde ringen om de tafelpoot komen overeen met de kleuraanduiding van de typen meubilair in de CEN-norm. Dit is althans de gedachte, want de norm ligt nog ter discussie (Molenbroek, 1994). Het probleem van het toekennen van het juiste meubel aan een kind dient (volgens de Nederlandse Normcommissie voor Schoolmeubilair) ook gedeeltelijk opgelost worden door ergonomie als vak in te voeren in de docentenopleidingen, maar vooral nog zou een goede handleiding (gebruiksaanwijzing) erg nuttig zijn. Ook bij nieuw en of instelbaar meubilair blijven deze bovengenoemde aspecten een grote rol spelen bij het voorkomen van onjuiste zithoudingen.



Figuur 11.2 Meetopstelling voor het meten van onderbeenlengten bij kinderen (Rademakers 1995).

Kinderfietsen

Kinderfietsen vallen niet onder het speelgoedbesluit. Omdat er nogal wat ongevallen optreden, waarbij kinderfietsen aanleiding dan wel oorzaak zijn, zijn er voor sommige categorieën fietsen en in sommige landen (niet in Nederland) aparte normen bedacht (ISO/DIS 8098, DIN 79110 en DIN79105, CPSC5212 en AS1927).

In Donkers et al. (1993) wordt een overzicht gegeven van de eisen die vanuit de antropometrie aan de kinderfiets gesteld zouden moeten worden. Dit artikel is te vinden in de reader van ide130. Het gaat dan om grenzen van verstellingen van zadel en stuur, breedte van handvatten en pedalen, afstand tussen spaken, afstand tussen pedaal en frame enz.

11.1.2 Producten voor vrouwen

Een groep producten in de huishouding, die bij veel mannen en nog meer vrouwen problemen bij het hanteren geeft, is 'de jampotgroep'. Volgens Berns (1981) is het gemiddelde moment waarmee het deksel (diameter 73 mm) op de pot zit, 4 Nm, terwijl de aanbeveling 1 Nm is op basis van P5-waarde van een steekproef van 200 mensen van 20 - 75 jaar. De P5-waarde van het draaimoment voor het openen van een literfles met een draaidop van 28 mm diameter was 0,4 Nm. Bij dezelfde steekproef was de P5 duwkracht, nodig voor het openen van een wasmiddelenkarton, 15 N. Figuur 11.3 geeft een overzicht van probleemproducten in het dagelijks leven en op het werk (vele zijn gesignaleerd tijdens afstudeerwerk).

Ergonomische literatuur:

Weinig ergonomisch onderzoek is specifiek gericht op vrouwen. Dit wordt nog eens duidelijk aangegeven door het onderzoek van Hudgens en Bilingsley (1978).

Figuur 11.4 geeft een overzicht van deelname van vrouwelijke en mannelijke proefpersonen in publicaties van Ergonomics en Human Factors (1965-1976).

Lenior en Slappendel (1985) vermelden dat, indien sekse als variabele aanwezig is, deze slechts zelden meegenomen wordt bij een toetsing. Zij constateren een leemte op het gebied van statische spierarbeid (geldt niet alleen voor vrouwen) en op het gebied van veranderingen in de fysieke en mentale arbeidscapaciteit bij zwangerschap. Zij concluderen dat de hoofdoorzaak ligt bij onachtzaamheid van ontwerpers en/of opdrachtgevers en voor een deel bij het gemis aan kennis of vaker bij het niet van toepassing zijn van de resultaten.

plaats	probleemprodukt
huishouding	blikopeners; te hoge deurspion; verpakkingen (van wasmiddelen); kinderwagens/ buggy; stekker in wandcontactdoos; waterkraan die een maand niet is open geweest.
kantoor	te grote perforator; te grote nietmachine; papersnijder;
werkplaats	de freesklembediening; verwisselen van een frees;
auto	wielmoer (na verloop van tijd); autokrik. stuurbekrachtiging (steeds vaker aanwezig, goede zaak); handrem (probleem als de auto door een sterker iemand op een helling is geparkeerd); Benzinepompvulslangen (hebben veelal een te grote handgreep en zijn te zwaar).
trein	Opstappen met een strakke rok is zelfs voor jonge vrouwen een kunst; Een koffer in het bagagerek krijgen is moeilijk;
ziekenhuis	Bij het maken van een X-foto van de borsten is bij lange vrouwen het apparaat te laag en bij kleine borsten is het erg pijnlijk.
recreatie	Rugzakken met te brede schouderbanden. Kermisattracties met te smalle stoeltjes. Fietszadels te smal; Fitnesstoestellen, die geen rekening houden met de vrouwelijke anatomie. Vingerknijpers om spieren te oefenen: hierbij is de afstand te ver uit elkaar.

Figuur 11.3 Overzicht probleemproducten

Bij cosmetica (parfumfles, ladyshave en nagelgarnituur), zwangerschap (baarstoel), medisch diagnostische apparatuur (mammografie, gynaecologie) maar ook bij fietsen is er een typisch en duidelijk onderscheid in vooral de esthetische aspecten van de producten voor vrouwen en mannen; dit gaat vaak ten nadele van een goede pasvorm voor de vrouwelijke gebruiker.

Ook (sport)schoenen vormen zoals bekend een goede uitzondering; er zijn immers speciaal schoenen voor vrouwen, kinderen, ouderen, gehandicapten en zelfs nog verfijnder, er zijn schoenen op maat voor talrijke sporten.

geslacht proefpersonen	
35 %	niet vermeld
44 %	alleen mannen
6 %	alleen vrouwen
19 %	mannen en vrouwen
51%	grotendeels mannelijk
12%	grotendeels vrouwelijk
37%	ongeveer gelijk verdeeld

Figuur 11.4 Geslacht proefpersoon

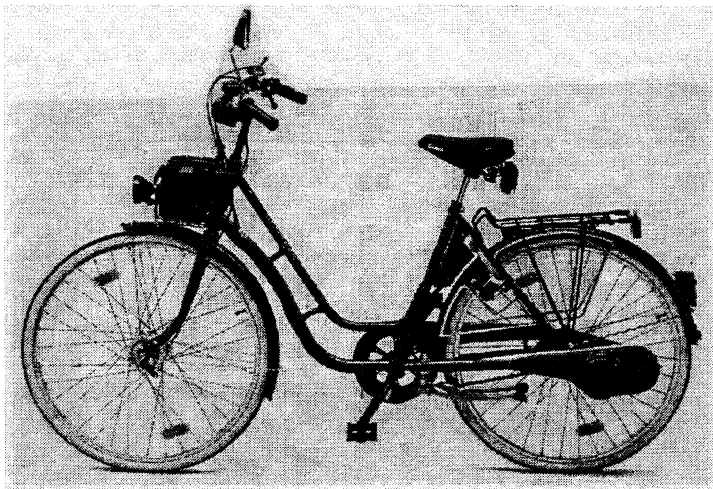
11.1.3 Produkten voor ouderen

Talrijke produkten zijn voor ouderen minder bruikbaar, wegens de vereiste bedieningsvermogens op het gebied van waarneming, kracht en tempo, maar ook door al verouderde gewoonten van oudere gebruikers. Hierdoor zijn als eerste categorie van probleemprodukten te noemen.

Systemen met elektronische componenten zijn veelal kleine rampen voor deze doelgroep. Denk maar aan de geldautomaat, de NS-kaartjesautomaat, de aanraaktoetsen en -schermen, de audiotoren, de magnetron en de universele afstandsbediening. Ook al worden de tekortkomingen niet opgelost door een beter ontwerp, er ontstaat wel een tweede categorie probleemprodukten als hulpmiddel om het eerstgenoemde produkt te kunnen gebruiken: allesopener, leesloep en vergrotingsfaciliteit bij Teletekst.

Een derde categorie zijn de produkten, waarbij voor ouderen teveel fysieke maat en kracht worden vereist. Hierbij denke men aan het bedienen van het tuimelraampje boven de deur, de notekraker of de kurketrekker, te lage fauteuils. Ook de probleemprodukten bij vrouwen gelden hier grotendeels.

Er zijn echter ook produkten die goed scoren bij senioren: brillen, fiets met hulpmotor. Dit komt vooral omdat ze enerzijds bruikbaar zijn en niet te veel eisen stellen aan de fysieke capaciteit van de ouderen; anderzijds hebben ze niet het stigma mee gekregen dat dit produkt samenhangt met het hebben van een handicap. Dit komt bij een bril, omdat jong en oud een fraaie bril kan dragen; bij de fiets met hulpmotor van Sparta speelt een rol dat de reclame vooral jonge mensen als gebruiker laat zien.



Figuur 11.5 Fiets met hulpmotor

Meer over probleemprodukten is te lezen in het rapport (Freudenthal, 1993) dat voortkomt uit het onderzoek in de vakgroep Produktergonomie naar de senior-produkt-interactie.

11.1.4 Produkten voor gehandicapten

Opvallend bij produkten voor gehandicapten is in Nederland de typische informatiestroom, vanwege tussenkomst van de verstrekker. Er is een organisatie die het gewenste hulpmiddel inkoop van de fabrikant en die doet het produkt via soms langdurige procedures aan de gebruiker toekomen, zonder dat de gebruiker volledig meebeslist of meebetaalt, zoals dat bij gewone consumenten goederen gebeurt. Verder is er ook

sterke produkt-afhankelijkheid (het bereik van iemand met een defekte elektrische rolstoel is ingekrompen tot 1m²) en langdurig contact (afhankelijk van het hulpmiddel van enkele minuten bij een leesloep tot 24 uur per dag bij sommige prothesen).

Men onderscheidt handicaps in:

- fysiek (reuma);
- sensorisch (slechtziend);
- cognitief (Alzheimer = vorm van dementie)

Men onderscheidt de hulpmiddelen in:

- prothesen (kunsthand ter vervanging van een beperkt aantal functies van de geamputeerde hand);
- orthesen (een brace = kunststof band om de knie ter ondersteuning van een verzwakte stabiliteit bij het staan, maar ook een bril of contactlens is eigenlijk een orthese);
- endothesen ofwel implanten (een heupprothese ter vervanging van de dijbeenkop in het heupgewricht);
- transportmiddelen en openbare voorzieningen (rolstoel, traplift).

De markt van producten voor gehandicapten, vaak aangeduid met hulpmiddelen voor gehandicapten, vergt van de ontwerper een zeer speciale benadering vanwege de kans op het stigmatiserend zijn en vanwege het verstrekkingenbeleid. Vanuit de psycho-sociale optiek gezien is het de vraag, of het wenselijk is een stalen verpleegster te ontwikkelen die o.a. goede morgen zegt met een Japans accent. Technische innovaties worden niet altijd aanvaardbaar gevonden door ouderen en gehandicapten, bijvoorbeeld 15% van de ouderen met een gehoorbeperking weigert een gehoorapparaat!

Verstrekking van hulpmiddelen

De markt van de hulpmiddelen voor gehandicapten is geen open markt, er is nauwelijks of geen concurrentie, omdat men als gehandicapte gebruiker genoodzaakt is om via allerlei deskundigen en vaak langs lange administratieve wegen, zich een hulpmiddel moet laten toewijzen. Er waren 3 belangrijke instanties die verstrekken:

- de GMD (Gemeenschappelijk Medische Dienst, die onlangs vrijwel is opgeheven);
- het Ziekenfonds;
- het ABP (Algemeen Burgelijk Pensioenfonds).

Vanaf 1994 dient de gemeente een veel zwaardere rol te gaan spelen bij het al dan niet verstrekken van een hulpmiddel. Omdat deze dat zelf moeten bekostigen en omdat ze er nauwelijks deskundigen voor hebben, zal het de komende jaren voor de gehandicapte gebruiker helaas niet veel beter gaan.

De markt voor hulpmiddelen is niet gering. Totaal wordt er per jaar besteed (IOP, 1985): aan onderzoek en ontwikkeling 13 mln, aan verstrekte producten 350 mln, waarvan aan NL productie 212 mln.

Het is moeilijk een schatting te krijgen van het aantal gebruikers per functiestoornis, per hulpmiddel of per hoofdgroep van hulpmiddelen. De verstrekkingprocedure voor 1994 voor een aanpassing, zoals een mengkraan; totaal kan de doorlooptijd variëren van 6 mnd tot 2 a 3 jaar (SWOG, 1983). Natuurlijk kan men ook deze verstrekkingprocedure omzeilen door zelf een hulpmiddel te kopen; de nieuwe wet WVG, Wet Voorzieningen Gehandicapten, biedt daartoe de mogelijkheid. De problemen blijken dan te verschuiven naar het vinden van de juiste informatie. Opvallend in de markt voor de gehandicapten is ook dat er in 1995 totaal voor 750

miljoen gulden mocht worden verstrekt in het kader van de WVG, maar dat er 230 miljoen overbleef! Ook deden zich in de vervoerssector vele problemen voor, waar de gemeenten in hun nieuwe rol dienen te zorgen voor aangepast vervoer, maar :

- bijvoorbeeld blinden en slechtzienden werden nogal eens geweigerd omdat deze wel konden lopen en/of van het openbaar vervoer gebruik maken. Problemen deden zich dan voor in het traject na de bushalte of station naar de eindbestemming, waar de blinde of slechtziende immers wel degelijk gehandicapt is.
- ook kwam het nogal een voor dat het aangepast vervoer wel tot de gemeentegrens vervoerde, maar dat dit niet aansloot op dat van de naburige gemeente.

Meer informatie over de organisatie en de produktontwikkeling voor gehandicapten wordt in het keuzevak io88 gegeven.

11.2 Bespreking van de voornaamste MPOI -factoren

11.2.1 kind

In deze paragraaf worden de belangrijkste antropometrische aspecten van de groei van kinderen beschreven. Verder wordt een overzicht gegeven van de databronnen die voor de ontwerper beschikbaar zijn. Onder kinderen verstaan we hier mensen die nog niet de volwassen lengte hebben bereikt (globaal tot 20 jaar, hoewel de groei tussen 15 en 20 veelal gering is). Figuur 11.6 geeft het aantal kinderen per leeftijdsgroep.

leeftijd	m	v	totaal	sex ratio (m/v)
0-4	502	480	982	1,046
5-9	476	455	931	1,046
10-14	462	442	904	1,045
15-19	477	451	928	1,058

Figuur 11.6 Aantal kinderen in Nederland per leeftijdsgroep per 1-1-1994 (CBS 1995, 1 eenheid = 1000).

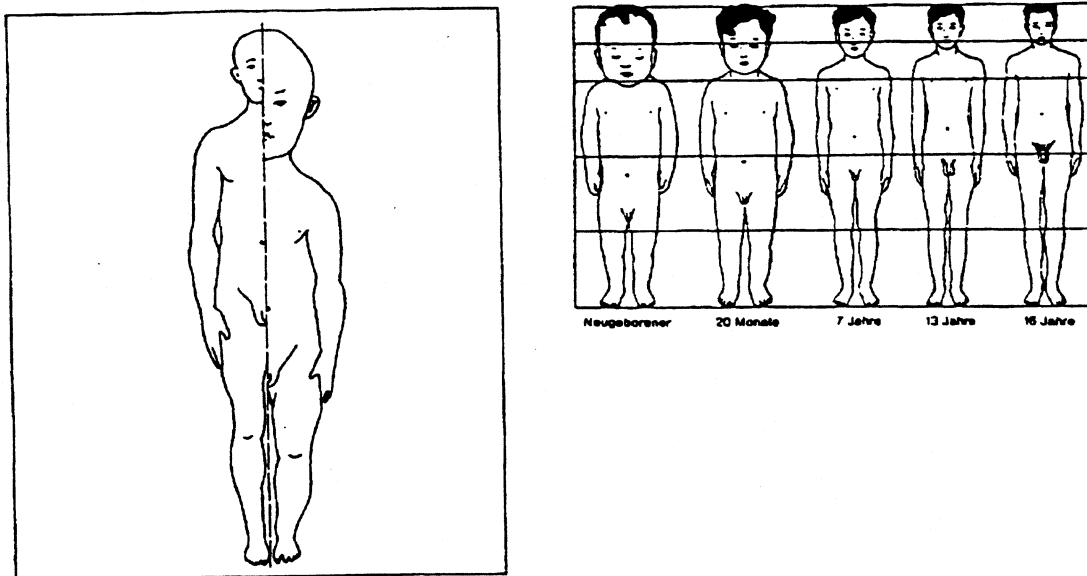
In deze paragraaf wordt aandacht besteed aan de typische fysiek ergonomische aspecten die bij het ontwerpen voor kinderen naar voren komen. Dit zijn o.a. de verhouding van lichaamsafmetingen, vormen en krachten in vergelijking tot volwassenen. Het zal duidelijk worden dat kinderen ergonomisch gezien niet als kleine volwassenen beschouwd mogen worden. Daarnaast zullen de groei, de secularisatie en het oneigenlijk gebruik van produkten door kinderen kort beschreven worden. Van enkele bekende databronnen zal verteld worden in hoeverre deze bruikbaar zijn voor industrieel ontwerpers. Tenslotte zullen van enkele produktsorten de raakvlakken mens-produkt worden besproken. Het zal blijken dat de leeftijd als één van de belangrijkste afhankelijke variabelen wordt gezien bij kinderen, waarmee veel ergonomische parameters bepaald kunnen worden. Soms is dit niet juist. Denk eens aan fietsen waar kruishoogte cq lichaamslengte een veel betere indicatie is voor de juiste frame maat dan de leeftijd als zodanig, of men denke aan schoolmeubilair, waar de onderbeenlengte een goede voorspeller is voor de overige maten.

De groei van kinderen

Een bevruchte menselijke eicel heeft een diameter van ongeveer 0,12 mm, een gewicht van 1,5 microgram en is dan bij benadering bolvormig. Een volwassen menselijk lichaam is gemiddeld 169 cm bij 20-jarige vrouwen en 183 cm bij 20-jarige mannen; het lichaamsgewicht is 65 kg en 75 kg respectievelijk en toont een hooggedifferentieerde vorm met talrijke weefsels en organen. Tussen beide genoemde stadia

ligt de groeiperiode van lengte en gewicht die verschillend is voor de diverse segmenten. Het grootste deel van de groei vindt plaats voor de geboorte; bovendien zet de snelle groeiperiode zich nog gedurende het eerste jaar na de geboorte voort en neemt daarna af (zie figuur 11.1).

Het geboortegewicht is 3 à 4 kg en de lengte 49-53 cm. Duidelijk is de groeisput te herkennen die in de puberteit plaatsvindt, eerder bij de meisjes begint (11 jaar) maar ook eerder afgesloten wordt (\pm 17,5 jaar), terwijl de jongens de meisjes weer inhalen bij 13,5 jaar en dan doorgroeien tot ongeveer 19,5 jaar. Dit betekent dus voor de ontwerper dat leeftijd en geslacht twee belangrijke kenmerken zijn van de doelgroep kinderen. In DIN 33402 wordt ervan uitgegaan dat het verschil man-vrouw pas bij 10 jaar zinvol wordt. Steenbekkers (1993) vond echter eerder verschillen; jongens hadden een groter hoofd, een grotere kniebreedte en duimbreedte; meisjes hadden een grotere ratio bovenbeenlengte/onderbeenlengte.



Figuur 11.7 De verandering in proportionering van kind tot volwassene

Er zijn hierbij enkele opvallende kenmerken (figuur 11.7):

- de relatieve hoofd lengte is $1/4$ bij de geboorte en wordt $1/8$;
- de relatieve beenlengte is $1/3$ bij de geboorte en wordt $1/2$ bij een volwassene. (Relatief wil zeggen als proportie van de lichaamslengte.)

Tot in de puberteit treden er verschillende ontwikkelingen op:

- de schouderbreedte van jongens neemt toe en bij meisjes blijft deze ongeveer constant;
- de relatieve bekkenbreedte van jongens daalt en neemt bij meisjes toe .

De seculaire groeiverschuiving van de lichaamslengte is de systematische verschuiving van de gemiddelde lichaamslengte bij opeenvolgende geboortegroepen (ofwel cohorten, of generaties) wegens betere voeding en overige factoren die samenhangen met een hogere levensstandaard. Deze seculaire groeiverschuiving is in de afgelopen tijd veranderd, zie figuur 11.8. Dit betekent dat:

- de seculaire groeiverschuiving niet altijd positief hoeft te zijn; zie de periode van 1825 tot 1865 ;

- na 1980 er nog steeds sprake is van een positieve seculaire groeiverschuiving, maar dat de toename minder is geworden. De grotere gemiddelde lichaamslengte hangt niet alleen af van de toeneming van de gemiddelde lengte van de volwassenen sinds het midden van de vorige eeuw, maar ook van de snellere rijping d.w.z. dat de periode, waarin de lengte toeneemt, gekrompen is van 25 à 30 jaar tot ongeveer 20 jaar.

	lengte-groei in mm per jaar voor de man	gemiddelde lengte eind periode	
		20 j man	20 j vrouw
1650		166	
1825		169	
1865	-1,0	165	
1900	+1,0		
1955	+1,1	175,5	
1965	+2,1	178	165
1980	+2,7	182	168
1994	+0,7	183,3	169

Figuur 11.8 Groeiverschuiving in de afgelopen drie eeuwen

De gemiddelde lengte blijkt een lichte correlatie te vertonen met onderwijsniveau, provincie van herkomst, stad of platteland, intelligentie, sociale klasse, erfelijke factoren, voedingsfactoren en hormonale factoren. Uit een Duits onderzoek bleek dat jonge mensen uit een lagere sociale klasse langer doorgroeien boven de 20 jaar dan de overigen (tot \pm 24 jaar). Aan de hand van de volgende figuur 11.9 kan men enigszins vaststellen wat men van een kind mag verwachten in verband met de noodzakelijke handelingen bij het hanteren van het ontworpen produkt: speelgoed, meubilair e.d.

ontwikkeling van vaardigheden van een kind	
2 - 3 maanden	grijpreflex is opwekbaar
4 - 5 maanden	grijpt en betast voorwerpen en steekt ze in de mond
6 maanden	zit alleen met steun
8 maanden	zit alleen, plooit op de buit vanuit zittende houding, kruipt op handen en knieën
9 - 10 maanden	kleine voorwerpen worden tussen duim en wijsvinger gepakt
11 maanden	draait zich staande om zijn as
12 maanden	wandelt bij één hand vasthouden, haalt gewenst voorwerp met hulpmiddel (snoer) naar zich toe (b.v. strijkijzer)
tot 1 jaar	grijpreflex ook aan de voeten
1 - 2 jaar	overdag zindelijk
2 jaar	start met ruimtelijke oriëntatie
2 - 2 jaar	's nachts zindelijk
2 jaar of later	voorkeur voor één hand
4 jaar - 10 jaar	ontwikkeling tijdsbesef (dag, maand, jaar)

Figuur 11.9 Ontwikkeling van vaardigheden van een kind

Databronnen

Groeiagrammen (Roede en Van Wieringen, 1985)

De groeiagrammen zijn resultaten van de landelijke onderzoeken, waarbij via consulatieburo's en schoolartsen de leeftijdsgroep van 0 - 20 jaar wordt bereikt. De steekproeven zijn zeer groot en zijn representatief voor de Nederlandse jeugd. In 1980 vond het 3e landelijke groeionderzoek plaats, waarbij 20.000 meisjes en 20.000 jongens werden gemeten. De resultaten staan in grafiekvorm weergegeven; totaal 6 grafieken, waarvan de twee meest gebruikte in Bijlage 18 staan.

Het eerste en tweede landelijk groeionderzoek vonden respectievelijk plaats in 1955 en in 1965. Deze grafieken worden in ons land evenals over de gehele wereld gebruikt door voedingsdeskundigen, consulatiebureaus- en wijkverpleging, etc., om bij een bepaalde leeftijd te kunnen aflezen of iemand normaal groeit, qua lengte, gewicht en geslachtskenmerken.

Voor de ontwerper zijn deze tabellen heel goed te gebruiken als referentie bij het bewerken van buitenlandse data en als goede data van lengte en gewicht van Nederlandse kinderen rond 1980. Vanwege de seculaire groeiverschuiving is de geldigheid van de groeiagrammen beperkt, naar schatting tot 1995. Vandaar dat er nu een voorbereiding plaatsvindt voor het 4e nationale groeionderzoek. Een suggestie voor ontwerpers, die een kleine steekproef gaan meten is om de meetpunten van lengte en gewicht van hun proefpersonen in bovenstaande figuur aan te brengen. Zo kan efficiënt een indruk gekregen worden of de steekproef representatief is voor die leeftijdsgroep.

Kinderen en hun maatjes (De Rijke, 1985).

Dit bestand is in rapportvorm beschikbaar in de IO- bibliotheek. Het is samengesteld door M. de Rijke in het kader van haar onderzoeksstage io05. De opdracht was om van 50 relevante antropometrische variabelen voor speelgelegenheden grafieken en tabellen te genereren die door ontwerpers en beheerders van speeltoestellen bruikbaar waren. De gegevens zijn gebaseerd op de DIN33402, Snyder 1975 en met behulp van de methode van Pheasant bewerkt. Dit bestand is , hoewel deels achterhaald door het KIMA-onderzoek, voor het ontwerpen voor kinderen van 4 - 14 jaar nog steeds bruikbaar, als goedkoop alternatief.

Maten van baby's en peuters (Koopmans, 1987)

Dit bestand is in rapportvorm beschikbaar in de IO- bibliotheek en de portier van IO. Het is samengesteld door P. Koopmans in het kader van haar literatuuronderzoek IO52. Bestaande normen en wetten aangaande produkten voor deze doelgroep worden beschreven. De kritiek hierop had echter soms wat duidelijker gekund vanuit het antropometrisch gezichtspunt. Immers bestaande normen en wetten zijn juist voor vele antropometrische verbeteringen vatbaar.

KIMA

KIMA staat voor KInderMAten en is de naam van het project dat door de vakgroep Produktergonomie is gestart in 1986. Het doel hiervan was om metingen aan kinderen uit te voeren met als doel de preventie van ongevallen bij kinderen, door het genereren van basismateriaal voor normen en wetten. Begonnen is met een proefonderzoek naar afmetingen van kinderen tussen 0 - 5 jaar in de provincie Zuid-Holland (Steenbekkers, 1989). Hierna is een landelijk vervolgonderzoek uitgevoerd (Steenbekkers, 1993). In haar boek staat uitgebreid hoe circa 2400 kinderen tussen 2-12 jaar gemeten zijn op de

aspecten: motoriek, antropometrie (zie Bijlage 6), technisch inzicht, lenigheid en temperament.

DIN33402 (1986)

Deze Duitse norm, waarin ook van kinderen vanaf 3 jaar maar liefst 56 verschillende antropometrische variabelen staan getabelleerd, is goed bruikbaar voor de Nederlandse situatie, zolang niet is aangetoond dat de proportionering in Duitsland verschilt van die in Nederland. Wel dient men steeds te corrigeren naar evenredigheid van de lichaamslengte van die leeftijdsgroep. Bijvoorbeeld: Kinderen van 3 jaar hebben volgens de Nederlandse groeidiagrammen een P50 lichaamslengte = 98 cm; volgens DIN33402 is deze waarde P50 = 101,4 cm. Voor 3-jarigen dient men dan voor toepassing in Nederland een correctie van $98/101,4 = 97\%$ toe te passen op de overige maten van DIN. Bij Steenbekkers blijkt een 3-jarige goed overeen te komen met de DIN (101,3 cm). Het blijkt dat de Nederlandse kinderen pas bij 15 jaar langer worden dan de Duitse en dat bij 20 jaar de voorsprong uitgegroeid is tot 3% , waarbij de Nederlandse jonge mannen 182 cm zijn en de Duitse 176 cm. Bij de 20-jarige vrouwen is de voorsprong op de Duitse vrouwen 2% (168 cm t.o.v. 165 cm). Dit geldt althans als vergeleken wordt met de Nederlandse data van 1980.

Snyder (1975)

Dit is een onderzoek van 41 antropometrische variabelen die bij een steekproef in de USA van 4000 kinderen is gemeten in een leeftijdscategorie van 2 weken tot 13 jaar. De data worden erg overzichtelijk gepresenteerd in grafiek en tabelvorm, per geslacht en samen. Een controle bij 13-jarige jongens laat zien dat de Nederlandse kinderen veel groter zijn:

leeftijd	\bar{x} Snyder		Nederland		correctie	
	m	v	m	v	m	v
3 jaar	93	93	98	97	1,05	1,04
10 jaar	135	134	142	141	1,05	1,05
13 jaar	150	155	158	161	1,05	1,04

Figuur 11.10 Lengtemetingen (Snyder, 1975).

Het onderzoek Snyder (1977) wordt hier niet besproken, behalve de vermelding dat het hierin gaat om jongens tot 18 jaar en over 80 variabelen.

Childata (Norris and Wilson, 1995)

Een handig overzicht met vooral antropometrische gegevens in tabelvorm van diverse bronnen, die hier ook eerder genoemd zijn, zoals Steenbekkers en Snyder. Het wordt zonder kosten op aanvraag toegezonden en is vooral bedoeld voor degene die met het maken van normen bezig zijn.

Kracht bij kinderen

Helaas zijn de spierkrachten van kinderen zelden onderzocht en gepubliceerd. Een samenvatting van wat momenteel toch bekend is met naspeurbare bronnen volgt hierna. Daams (1994) geeft een uitgebreid overzicht van de literatuur over krachtoefening bij produktgebruik. Ook zijn enkele oudere onderzoeken over kinderen opgenomen.

leeftijd	jongens	meisjes
7 jaar	20%	20%
10 jaar	40	35
15 jaar	70	50
20 jaar	90	65
25 jaar	100	70
30 jaar	100	65

Figuur 11.11 De spierkracht bij kinderen vanaf 7 jaar is als volgt, afhankelijk van de leeftijd (Lange 1981).

Gädeke (1974) vond dat de textuur van de knop, waaraan kinderen van 2- 5 jaar draaiden, weinig invloed had op het uitgeoefende moment. Wel speelden de leeftijd en de grootte van de handgreep een belangrijke rol.

leeftijd	diameter in mm			
	4mm	7mm	13mm	30mm
2 jaar	10	15	20	20
3 jaar	15	25	30	30
4 jaar	20	25	30	35
5 jaar	20	25	35	35

Figuur 11.12 Maximale waarde van de trek- en vasthoudkracht in N.

leeftijd	diameter in mm			
	20mm	30mm	48mm	68mm
2 jaar	0,2	0,3	0,4	0,5
3 jaar	0,4	0,6	0,9	1,0
4 jaar	0,4	0,6	0,9	1,0
5 jaar	0,4	0,7	1,0	1,0

Figuur 11.13 Maximale waarde van de uitgeoefende draaimomenten in Nm.

Steenbekkers(1993) heeft een negental hand en vingerkrachten gemeten bij kinderen van 4-12 jaar. Bij vergelijking van de knijpkracht van een 10 jarige jongen uit het onderzoek van Steenbekkers (BS) met die van Roede (MR) bij het Nijmeegs Groeionderzoek uit 1979 blijkt een verschil, zie figuur 11.14. Het verschil kan worden verklaard door de volgende factoren:

- er is een verschil in meetprotocol en/of meetinstrument; dit is goed mogelijk want Roede gebruikte de Bettendorf-dynamometer (meet dynamisch tijdens concentrische contractie, zie paragraaf 2.9.1) en Steenbekkers gebruikte de Jamar-knijpkrachtmeter (meet statisch en isometrisch);
- kinderen zijn van 10 jaar sterker geworden in de periode tussen beide onderzoeken.

	jongens			meisjes		
	gemiddelde waarde (N)	sd (N)	n	gemiddelde waarde (N)	sd (N)	n
Roede	140	31	74	120	31	79
Steenbekkers	195	51	35	169	44	39

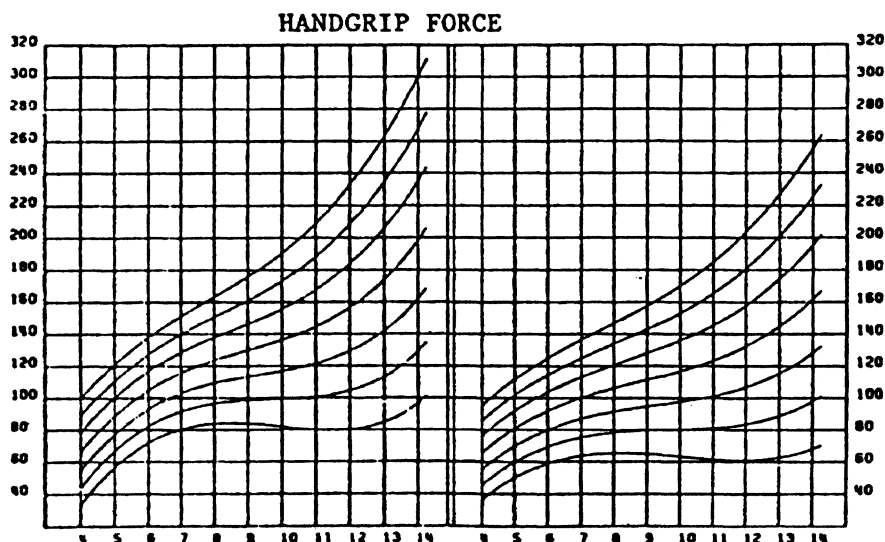
Figuur 11.14 Vergelijking meetwaarden knijpkracht bij twee onderzoekers.

De vliegende Hollander en de spierkracht.

In verband met het ontbreken van ergonomische gegevens van kinderen van 8 - 14 jaar, die noodzakelijk waren voor het ontwerpen van een speelgoed-wagentje, is een klein onderzoek gedaan bij 60 kinderen. 95% van de kinderen zouden het ontwerp moeten kunnen bedienen, maar op 5% na de sterkste mocht het wagentje niet stuk kunnen maken. Uit het onderzoek bleek dat P5 duwkracht gelijk 96 N was en de P5 trekkracht 163 N. De grootste trekkracht P95 was 836 N. Het zitbankje zou 50 - 90 cm vanaf de voetensteun verplaatsbaar moeten zijn (Frank, Han en Spangenberg, 1985). Men kan zich hierbij met de voeten afzetten tegen de voetensteun.

De knijpkracht

De knijpkracht bij kinderen van 4 - 14 jaar bleek bij het bovengenoemde Nijmeegse Groeionderzoek, een steekproef van 400 Nijmeegse kinderen te verlopen als in figuur 11.15. Hieruit volgt dat de jongens al vanaf 4 jaar meteen 5 - 10% sterker zijn en dat dit bij 14 jaar tot 20% opgelopen is voor de P50-waarde. Dit relatieve verschil is zowel bij het onderzoek Steenbekkers als bij het onderzoek van Roede te constateren.



Figuur 11.15 Knijpkracht-verdeling van Nijmeegse jongens en meisjes afhankelijk van de leeftijd in N en in P3, P10, P25, P50, P75, P90 en P97. (Roede, 1979).

11.2.2 Vrouw

Er zijn ondermeer fysieke verschillen tussen mannen en vrouwen, die niet toelaten dat werkplekken en produkten ontworpen worden voor vrouwen op basis van bij mannen verkregen data. Ook de aantallen maken dat noodzakelijk; globaal de helft van onze populatie is immers vrouw.

leeftijd	aantal m+v	per 100 inwoners m+v
0-19	4,1	24,2
20-39	4,3	25,2
40-64	6,0	35,8
65-79	1,9	11,1
80+	0,6	3,6

Figuur 11.16 Aantallen mannen en vrouwen (1 eenheid= 1 miljoen)

Significante verschillen in maten en krachten resulteren in verschillende bewegingen en houdingen. Bovendien ontbreekt het bij sommige mensen aan kennis om de ontwerpconsequenties ten gevolge van de arbeidssituaties van vrouwen ergonomisch verantwoord in te schatten.

Enkele voorbeelden hiervan uit Redgrove (1979):

Een Japanse onderzoeker beweerde in 1965 dat men bezorgd diende te zijn voor de gezondheid van de huisvrouw in de tegenwoordige welvaartstaat met zijn moderne apparatuur, omdat vrouwen nauwelijks meer energie verbruikten. Dit zou leiden tot vermindering van de conditie.

Murell (degene die de naam 'Ergonomie' invoerde, 1969) pleitte ten onrechte voor het gebruik van vuistregels, zoals:

1. De kracht van de vrouw is 2/3 van de kracht van de man. Dit is waarschijnlijk gebaseerd op de vergelijking van de gemiddelde knijpkracht van 500 N en 350N. Dat dit meer gedifferentieerd dient te worden blijkt verderop in deze paragraaf.
2. Bij werkplek dimensionering adviseert hij echter dezelfde data te gebruiken voor mannen en vrouwen, omdat er niet zoveel verschil zou zijn.

Dit zou betekenen dat mannen en vrouwen hun ledematen op dezelfde wijze zouden gebruiken. Dat dit niet zo hoeft te zijn, staat ook verderop in deze paragraaf.

Vrouwen kunnen vanuit het ergonomisch aspect niet als kleine mannen worden beschouwd! Wat betreft de geschiktheid van vrouwen voor een bepaalde functie, kan alleen gezegd worden dat dit eigenlijk geen goede vraag is (Redgrove, 1984). Men dient zich af te vragen of deze functie geschikt is voor deze persoon.

Tegenwoordig kunnen de meeste werkzaamheden door vrouwen worden gedaan, maar spelen factoren als cultuur en traditie een bepalende rol. De vereiste fysieke capaciteiten van bestuurders op de grondverzetmachines zijn momenteel zowel door mannen als vrouwen te leveren, terwijl er nog maar weinig vrouwen dit werk doen. In de verpleging waar de fysieke en psychische inspanning wellicht groter is, werken nog steeds meer vrouwen dan mannen.

Voor een goede beoordeling van de sexe-verschillen zou men deze kunnen onderscheiden in relatieve en exclusieve. Relatieve verschillen bestaan als er sprake is van statistisch significante verschillen tussen de meetwaarden van mannen en vrouwen van goed getrokken steekproeven (zoals bij maten, krachten, houdingen en bewegingen). Men spreekt van exclusieve verschillen als deze verband houden met karakteristieken die exclusief tot het ene of het andere geslacht behoren en voornamelijk met de voortplanting samenhangen (zoals zwangerschap, menstruatie, menopauze en verzakkingen).

Exclusieve sexe verschillen

Zwangerschap: biologisch gezien is een zwangere vrouw het meest fit, terwijl het medisch en sociaal economisch gezien nog vaak als een ziekte wordt behandeld. Ergonomisch gezien is er geen reden waarom zwangere vrouwen niet zouden doorwerken. Bij de Universiteit krijgen ze tegenwoordig 16 weken zwangerschapsverlof. De ILO (International Labour Organisation) geeft wel als richtlijn om zwangere vrouwen geen zware lasten te laten tillen in verband met het risico van een vroegtijdige zwangerschapsonderbreking door vergroting van de intra-abdominale druk en het forceren van het lumbale gewricht. Uit de literatuur over de tolerantie voor mechanische trillingen is bekend dat vrouwen, en vooral zwangere vrouwen, eerder de nadelige gevolgen tonen bij eenzelfde vibratiebelasting dan mannen. Vandaar het advies om tijdens zwangerschap de vibratiebelasting laag te houden.

Menstruatie: (start bij de menarche die gemiddeld op 13 jaar begint met een range van 11 - 15 jaar, zie Groeidiagrammen 1980). Slechts 10% van de vrouwen onder de 25 jaar is niet in staat om goed te werken gedurende enkele uren per maand vanwege menstruatiepijn. Mannen zijn derhalve meer stabiel, ofschoon een goed en slecht humeur ook bij hun voorkomt.

Menopauze: (periode na de laatste menstruatie). Door verandering in het metabolisme (stofwisseling) adviseert de ILO geen zwaar werk voor vrouwen in deze periode.

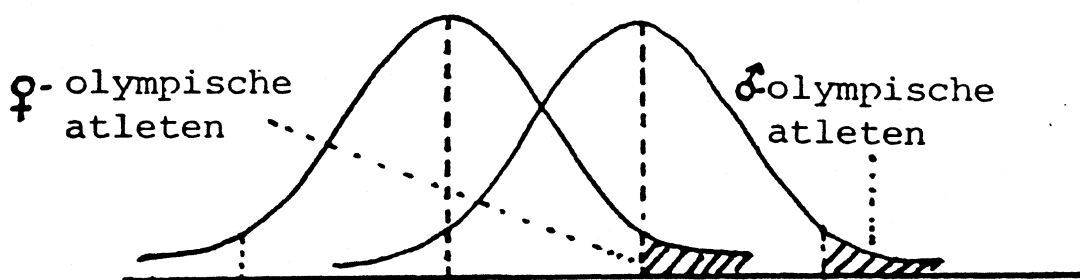
Gemiddeld treedt de menopauze op bij 51 jaar met een range 40 - 55 jaar.

Verzakking van de baarmoeder (uterus prolaps) komt dan nogal eens voor. Bij meerdere keren tillen van gewichten boven de 20 kg bestaat het risico van een duidelijke verzakking. Bij elke keer tillen zakt de baarmoeder namelijk een stukje en veert weer omhoog als de belasting weg is. De conclusie van Mackay (1984) is dat traditioneel, cultureel, sociaal, economisch en subjectief er sexe-verschillen in fysieke capaciteiten aanwezig zijn. Maar recente onderzoeken tonen slechts geringe invloed van sexe op de uitoefening van zware fysieke arbeid, mits er rekening wordt gehouden met factoren als leeftijd, lichaamsbouw, training en gewenning.

Op de relatieve sexe-verschillen zoals maten, krachten, houdingen en bewegingen wordt straks ingegaan.

Maten van vrouwen

Veel werkplekken en produkten worden nog steeds ontworpen voor volwassen mannen met afmetingen rond het gemiddelde. In figuur 11.17 is te zien, dat dit uitsluiting tot gevolg heeft van veel volwassen mannen en nog meer volwassen vrouwen.



Figuur 11.17 Ligging van sexe-verschillen in de vorm van twee frequentie verdelingen.

Bij een bepaalde antropometrische variabele, waarbij de sexe-verschillen duidelijk zijn (zoals lichaamslengte), hebben echter niet alle mannen een hogere waarde van die variabele dan alle vrouwen.

Als voorbeeld kan een olympische atlete gelden, die op veel fysieke eigenschappen (zoals spierkracht) hoger zal scoren dan veel mannen.

Als tweede voorbeeld kan de heupbreedte genoemd worden. Hierbij geldt dat de gemiddelde waarde bij vrouwen hoger ligt dan bij mannen, maar toch zullen er mannen zijn die hierop ook hoger scoren dan sommige vrouwen. De gemiddelde waarden van de volgende variabelen zijn bij vrouwen echter hoger dan bij mannen (gegeven zijn % -waarden volgens DINED 1984):

- heupbreedte st (2,5 %)
- borstdiepte (1,7 %)
- dijbeendiepte (4,2 %)
- heupbreedte zt (5,3 %)

Databronnen

Over vrouwen is de volgende data te vinden.

DINED (1986)

DINED (1986) heeft rekening gehouden met verschil in lichaamslengte tussen mensen in Nederland en Duitsland en met het sexe-verschil. Vandaar dat ter verkrijging van een schatting van afmetingen van Nederlandse vrouwen 2% opgeteld is bij de afmetingen van Duitse vrouwen, toen bleek dat de laatsten gemiddeld bij P5 en P95 een 2% lager scoorden op de lichaamslengte. De aanname van gelijke proportionering van de Nederlandse en de Duitse vrouw zou gecorrigeerd kunnen worden met de data van Bouwman (1982). Actuele waarden van lengte en gewicht van de CBS-gezondheidsenquête en hun onderlinge verhouding (Quetelet-index) staan in bijlage 17.

Bouwman (1982)

Bouwman (1982) heeft in 1979 een steekproef van 171 vrouwen gemeten, verdeeld over diverse provincies en over de leeftijdsgroepen van 18 - 60 jaar. Dit is geen landelijk representatief onderzoek, maar het is bruikbaar als indicatie voor ontwerpers. Er zijn 22 maten gemeten, waarvan in figuur 11.18 de resultaten worden vermeld.

Toelichting voor gebruik:

- zithoogte betekent hier de afstand van de kruin van een zittende persoon tot het zitvlak;
- zitdiepte betekent hier de afstand van de knieholte tot de achterkant van de billen;
- bovenbeenlengte betekent hier de afstand van de voorzijde van de knieschijf tot de achterzijde van de billen;
- de spanwijdte is gemeten tussen de toppen van twee wijsvingers; bij horizontaal en zijwaarts gespreide armen.
- de reikwijdte zijwaarts is gemeten tussen de twee grijpassen.

Als regressie-vergelijkingen van enkele maten verkreeg zij de volgende resultaten (zie figuur 11.19).

	percentiel		
	5e	50e	95e
1. lichaamslengte	156.8	166.9	177.6 cm
2. ooghoogte (staand)	147.2	156.4	166.5 cm
3. schouderhoogte (staand)	128.6	137.3	147.5 cm
4. ellebooghoogte (staand)	96.5	103.9	111.2 cm
5. handhoogte (staand)	69.2	74.8	80.9 cm
6. schouderbreedte	31.0	34.0	37.6 cm
7. reikwijdte zijwaarts	138.5	148.6	159.7 cm
8. spanwijdte	154.9	165.7	177.8 cm
9. reikwijdte naar voren	67.8	74.0	80.2 cm
10. diepte op borsthoogte	20.5	24.4	28.5 cm
11. heupbreedte	31.1	34.0	37.9 cm
12. voellengte	21.7	23.6	25.6 cm
13. lichaamsgewicht	50.5	62.7	78.5 kg
14. kniehoogte	46.1	49.7	54.1 cm
15. onderbeenlengte	38.8	41.6	44.3 cm
16. reikwijdte omhoog (zittend)	112.5	121.8	128.8 cm
17. zithoogte	83.4	88.7	93.5 cm
18. zitdiepte	44.4	49.9	53.8 cm
19. bovenbeenlengte	55.2	59.3	63.9 cm
20. breedte over ellebogen	36.6	42.2	48.5 cm
21. zitbreedte	32.5	36.5	41.4 cm
22. bovenbeendikte	10.9	12.9	15.3 cm

Figuur 11.18 Afmetingen van Nederlandse vrouwen (Bouwman, 1982).

$$\begin{aligned} \text{schouderhoogte (staand)} &= 0.9108 \times \text{lichaamslengte} - 14.6891 \\ \text{ellebooghoogte (staand)} &= 0.6824 \times \text{lichaamslengte} - 9.9265 \\ \text{knieshoogte} &= 0.3026 \times \text{lichaamslengte} - 0.1286 \\ \text{zithoogte} &= 0.4153 \times \text{lichaamslengte} + 61.6233 \\ \text{spanwijdte} &= 0.9214 \times \text{lichaamslengte} + 11.9356 \\ \text{zitbreedte} &= 0.2552 \times \text{lichaamsgewicht} + 21.2227 \end{aligned}$$

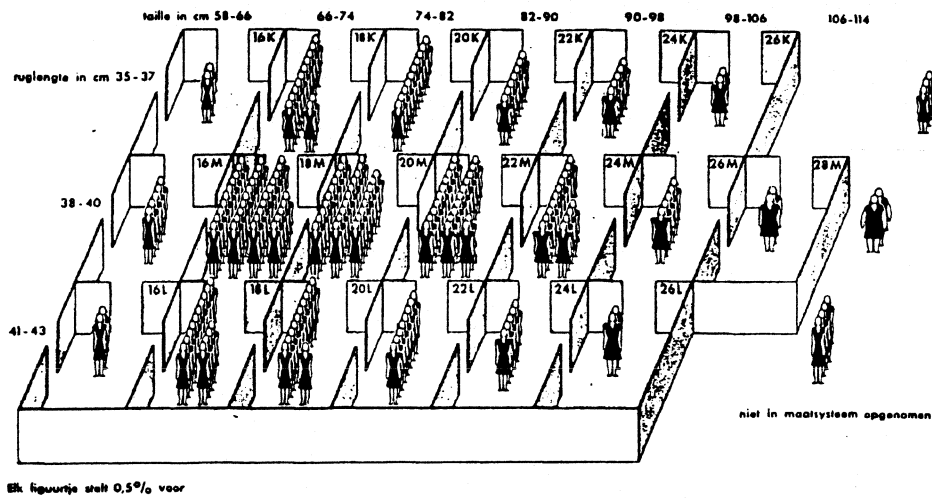
Figuur 11.19 Regressie vergelijkingen volgens Bouwman (1982)

De Juiste Maat (Sittig, 1951)

Sittig heeft in Nederland van 5000 vrouwen 15 variabelen gemeten ten behoeve van de kledingindustrie. De opdracht was om zo economisch mogelijk een maatstelsel te definiëren. Hij kwam tot een twee-dimensionaal maatstelsel, met ruglengte en tailleomtrek als voorspellende variabelen (zie figuur 11.20). Helaas is dit systeem nooit uitgevoerd. Vandaar dat afmetingen, die laag correleren met de taille, in de confectie met ons huidig één-dimensionaal maatstelsel nog steeds moeilijk passen tot gevolg hebben. Recentelijk is echter wel in het kader van de Europese normalisatie een proces opgang gekomen met ondermeer een norm (ISO8559), om gebruik te gaan maken van maximaal een vijftal maten, te beginnen met de lichaamslengte en 4 produkt-relevante maten.

Lewin (1969)

Omdat veel lichaamsafmetingen samenhangen met de lichaamslengte, heeft Lewin een tabel gepubliceerd waarin afmetingen uitgedrukt worden als percentage van de lichaamslengte.



Figuur 11.20 Het voorgestelde assortiment van een tweedimensionaal maatsysteem volgens Sittig (1951).

	mean	SD	dimension as proportion of stature
Sitting			
1. Height of seat	39.0	3.1	0.238
2. Crown to seat	85.8	3.3	0.523
3. Eye to seat	75.4	3.0	0.459
4. Neck to seat	63.3	2.8	0.386
5. Shoulder to seat	57.4	3.0	0.350
6. Elbow to seat	21.6	3.1	0.132
7. Hip to seat	21.8	3.3	0.133
8. Low back to seat	14.6	2.2	0.889
9. Vertex of thigh to seat	15.7	1.6	0.096
10. Top of knee to floor	49.8	2.8	0.303
11. Ankle to floor	7.0	0.2	0.043
12. Crown to floor	124.7	5.4	0.759
13. Eye to floor	114.0	5.3	0.694
14. Neck to floor	102.2	5.2	0.622
15. Shoulder to floor	96.3	5.1	0.587
16. Elbow to floor	60.7	4.7	0.370
17. Low back to floor	53.3	3.9	0.325
18. Hip to floor	60.8	4.5	0.370
19. Vertex of thigh to floor	54.6	2.9	0.333
20. Buttock to front of knee	58.4	3.5	0.356
21. Buttock of angle of knee	48.5	3.3	0.295
22. Buttock to hip joint	13.8	2.0	0.084
23. Buttock to femora abdominal angle	19.4	2.4	0.118
24. Buttock to front of abdominal wall	24.7	4.0	0.150
25. Elbow to wrist joint	24.9	1.2	0.152
26. Top of knee to seat	10.8	1.9	0.068
Standing			
Stature	164.2	6.2	—
Eye to floor	153.4	6.2	0.934
Shoulder to floor	135.7	6.0	0.826
Elbow to floor	102.5	7.3	0.624
Wrist joint to floor	80.3	6.0	0.489
Hip joint to floor	83.1	5.2	0.516
Knee joint to floor	43.2	2.5	0.263
Ankle joint to floor	7.0	0.2	0.043
Hip to floor	100.0	5.2	0.609
Shoulder to elbow	33.2	—	0.202

Figuur 11.21 Lichaamsafmetingen als % van de lichaamslengte volgens Lewin (1969)

DIN33402 (1986)

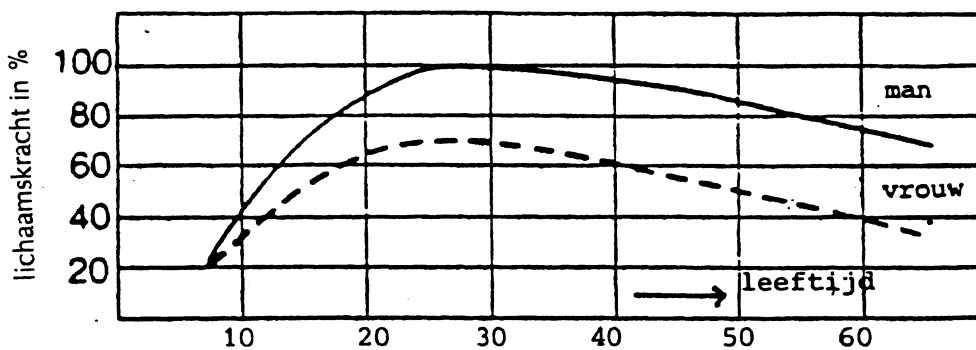
DIN33402 lichaamsafmetingen is de Duitse Norm, die gebaseerd is op onderzoek uit de jaren 1968 - 1974 bij (mannen en) vrouwen van 3 - 60 jaar. Van elke van de 59 maten zijn steeds P5, P50 en P95 gegeven voor elk van de 15 leeftijdsgroepen. Dit is dus voor het ontwerpen nauwkeurig genoeg en ook betrouwbaar, omdat de onderzoeken, die tot de norm hebben geleid ook apart gepubliceerd zijn. Er resteert dan nog het verschil tussen de Duitse en de Nederlandse vrouw en de mogelijke seculaire groeiverschuiving. Beide dienen geschat te worden; hetgeen bij de Dined voor de volwassenen gedaan is.

DIN3308

DIN3308 is de Duitse norm, die de omschrijving geeft voor de Kieler Puppe, zijnde een tekensjabloon. Hierbij bestaat een set van 6 sjablonen uit 3 vrouwelijke en 3 mannelijke manikins in zij-aanzicht. Van de vrouwelijke zijn aanwezig de manikins die respectievelijk de P1, P5 en P95 van de lichaamslengte voorstellen (1449, 1510 en 1725 mm). Van de mannelijke manikins zijn P5, P50 en P95 lichaamslengte aanwezig (1629, 1733 en 1841 mm). Dit betekent dat deze manikins voor de Nederlandse situatie wel bruikbaar zijn (zolang er geen nadere informatie over de proportionering is), mits er een correctie op de percentielwaarden wordt uitgevoerd.

Spierkracht bij vrouwen

Een algemene indruk geeft het grafiekje uit Lange (1981):



Figuur 11.22 Invloed van leeftijd en geslacht (Lange, 1981)

Beter is het te kijken naar de sexe-verschillen bij spiergroepen, zoals Laubach (1976) heeft gedaan en vervolgens de resultaten uit te drukken in gemiddelde waarden van vrouwen in vergelijking met mannen, met een spreiding (zie figuur 11.23).

Aanbevolen werkwijze bij het zoeken naar data van de P5 vrouw, terwijl \bar{x} en s van de man bekend is:

- bereken P5 man via $\bar{x} - 1,65 s$
- bereken vervolgens P5 vrouw via P5 man factor MV waarbij deze "factor MV" af te lezen is uit onderstaande tabel of uit de uitgebreidere versie in het Anthropometric Source Book (Churchill, 1978), waarin ongeveer 20 tabellen van Laubach staan voor diverse situaties met spierkrachtuitoefeningen.

totale spierkracht	1	63,5	35 - 86 %
armen	2	59,5	44 - 79
benen	2	71,9	57 - 86
romp	2	63,8	37 - 70
dynamisch	3	68,6	59 - 84

Figuur 11.23 Gemiddelde spierkracht van vrouwen als percentage van de spierkracht van mannen (Laubach, 1976)

- 1 = inclusief statische en dynamische metingen
- 2 = statische spierkracht
- 3 = vooral gemeten bij tillen, trekken en duwen

Dat spierkracht samenhangt met de activiteiten van mensen, blijkt uit een voorbeeld van Redgrove (1979), waarbij de knijpkracht van vrouwen (245 N) dicht benaderd werd door werkloze mannelijke fabrieksarbeiders (258 N). Omdat er normaliter sexe-verschillen in activiteiten zijn, resulteert dat ook in sexe-verschillen bij diverse spiergroepen. Dit voorbeeld wordt gestaafd met de onderzoeksresultaten van het Amerikaanse trainingscentrum voor militaire officieren in Westpoint. Hier werd enkele jaren geleden aan een groep "jonge gezonde mannen en vrouwen" twee jaar lang dezelfde training gegeven. Hierbij bleek dat de vrouwen wel meer moeite hadden om de training vol te houden, maar dat uiteindelijk de fysieke resultaten gelijk waren. De vrouwen konden evensnel veldlopen, 30 keer opdrukken of 15 keer optrekken. De verandering in postuur, die men verwachtte bij de vrouwen kwam niet uit, ze waren nog even vrouwelijk als voorheen.

Over het ergonomische aspect van sexe-verschillen bij houdingen is nog weinig bekend. In de literatuur wordt wel melding gemaakt van het feit dat vrouwen vaker "rechttop" zitten met hun voeten onder het zitvlak dan mannen, die liever "achterover" zitten met hun benen gestrekt. Dit kan de oorzaak zijn geweest van het verschil dat Smeets (1978) constateerde bij gebruik van de zogehete Mandal-stoel.

De Mandal-stoel is een kantoorstool met kantelbare zitting, waarvan Mandal beweerde dat deze bij het voorovergebogen zitten minder afknelling van de bloedvaten en zenuwen zou veroorzaken. Mandal deed zijn onderzoek met vrouwelijke proefpersonen (Mandal, 1976). Smeets controleerde dit onderzoek met mannelijke proefpersonen en constateerde dat de zitting ging kantelen bij "achterover zitten met gestrekte benen" en juist niet bij "voorover zitten".

Een gevolg van langdurige belasting op houding is onderzocht door Snijders (1975). Hij legde de vorm en afmetingen vast van de wervelkolom van zwangere vrouwen en constateerde daarbij dat zij door verplaatsing van het massamiddelpunt hun wervelkolom iets meer strekken dan anders en daardoor ± 10 mm langer worden. Deze lengteverandering verdwijnt onmiddellijk na de geboorte van het kind. Een andere houdingsverandering bij (voornamelijk) vrouwen wordt door het dragen van schoenen met hoge hakken teweeg gebracht. Het massamiddelpunt wordt daardoor iets naar ventraal (buikzijde) verschoven, wat weer gecompenseerd wordt door het bovenlichaam iets naar dorsaal te bewegen. Het gevolg is lopen met een extreem holle rug, hetgeen ongezond is wegens de dan ongelijkmatige druk op de tussenwervelschijven.

Omdat veel vrouwen in beroepen werken waar staan een veelkomende bezigheid is (horeca, detailhandel, etc.), is het aan te bevelen werktafelhoogte zodanig aan te

brengen dat er afwisselend staand en zittend gewerkt kan worden, bijvoorbeeld door een vaste werkbladhoogte met een verstelbare stoel en voetensteun.

Bij computermeubilair wordt tegenwoordig ook gewerkt met instelbare steunvlakken, die in een geheugen worden vastgelegd, zodat elk individu slechts een code hoeft in te toetsen die overeenkomt met de eenmaal voor haar/hem ingestelde stand.

Tenslotte wordt lang staan voor zwangere vrouwen in ieder geval afgeraden vanwege de grotere kans op dikke enkels, omdat de veneuze druk in de benen tijdens zwangerschap toeneemt (Redgrove, 1979).

Beweging

Vrouwen zijn meer flexibel in diverse gewrichten dan mannen. Van mannen zijn diverse onderzoeken van gewrichtsexcursies bekend (zie Anthropometric Source Book), maar om een onderzoek te vinden, waarin mannen en vrouwen onderzocht waren, dienen we terug te gaan tot 1931 volgens Redgrove (1979). Sinelnikoff vond bij 100 mannen en 100 vrouwen een significant groter bereik bij vrouwen in alle gewrichten. Uitzondering vormde het kniegewricht. Verder bleken dunne vrouwen hogere waarden te hebben dan dikke vrouwen.

Ten aanzien van de reactiesnelheid blijkt dat boven 10-jarige leeftijd vrouwen gemiddeld 22% langzamer zijn dan mannen (Henri, 1961) bij hand-reactietijdproeven. Voet-reactietijdproeven, vooral remproeven, geven als resultaat dat vrouwen gemiddeld 3 m meer remweg nodig hebben bij een snelheid van 100 km/uur. Vrouwen zijn voorzichtiger en passen hun strategie van beweging echter hierop aan blijkens een onderzoek naar het gedrag van automobilisten bij verkeerslichten. Als het licht groen is komen er relatief twee keer zoveel mannen als vrouwen door het kruispunt, terwijl dit bij de overige situaties ongeveer gelijk is. Vrouwen minderen hun snelheid bij groen licht, zou een verklaring kunnen zijn, terwijl mannen meer gas geven.

11.2.3 Ouderen en gehandicapten

De markt voor producten voor ouderen groeit niet alleen door de toename van de vergrijzing, maar ook doordat er meer gedacht wordt aan die lang vergeten bevolkingsgroep.

De markt van producten voor gehandicapten, vaak aangeduid met hulpmiddelen voor gehandicapten, vergt van de ontwerper een zeer speciale benadering vanwege de kans op het stigmatiserend zijn en vanwege de noodzaak van de bijzondere oplossing (voor intensief, langdurig en onmisbaar gebruik) en het verstrekkingenbeleid.

Het ontwerpen voor ouderen als doelgroep verdient nadere aandacht, niet alleen omdat hun specifieke fysieke en psychische eigenschappen anders zijn dan bij jongeren, maar ook omdat het aantal zo groot is. Momenteel zijn er ongeveer 2,5 miljoen (13,1%) mensen 65 jaar en ouder waarvan 41% man en 59% vrouw is; een sex ratio van 0,69 dus (die veel lager is dan die van de kinderen met 1,05). Dit hangt samen met het feit dat de gemiddelde levensverwachting van vrouwen (80 jaar) hoger ligt dan bij mannen (74 jaar). Nederlanders horen hiermee tot de langst-livenden onder de bevolking van 35 geïndustrialiseerde landen. In de toekomst zal naar verwachting, zowel absoluut als relatief, het aantal ouderen nog groter worden. In 1976 verwachtte het CBS nog dat er in 2020 15 miljoen Nederlanders zouden zijn waarvan 2,6 miljoen ouder dan 65 jaar. Dat hebben we nu in 1995 al bereikt. Japan heeft de hoogste levensverwachting van de wereld zegt men. In Europa is dat Zwitserland (tevens het land met het hoogste BNP in Europa) met 81,2 jaar voor de vrouw en 74,3 voor de man. Een uitgebreide tabel met demografische gegevens staat in Bijlage 5.

Basisbegrippen ouderen

In dit kader verstaan we onder ouderen: mensen van 65 jaar en ouder. Enkele fysieke en psychische eigenschappen van ouderen, waarmee ontwerpers rekening dienen te houden; zijn:

- verminderde coördinatie en evenwicht;
- vermindering van spierkracht;
- vermindering van zintuiglijke vermogens;
- vermindering van bewegingsmogelijkheden van het spierskeletstelsel;
- verminderde bloedcirculatie (duizeligheid en flauwtes);
- verminderde werking van het centraal zenuwstelsel (ziekte van Parkinson, Alzheimer, hemiplegie, etc.);
- verminderde werking van het geheugen (vergeetachtigheid en slechte oriëntatie);
- teleurstelling over het bovenstaande;
- sociale isolering door wegvallen van partner of baan;
- meer stressvolle gebeurtenissen: overlijden van goede kennissen etc.

We kunnen echter niet genoeg benadrukken dat, ondanks de toenemende kans op stoornissen met het stijgen van de leeftijd, de grote meerderheid van de 65-85 jarigen, gezond, zelfstandig en vitaal is, ondanks de stereotype misvattingen hier omtrent.

Omgeving

Ouderen stellen andere eisen aan de omgeving. Denk maar aan de hogere temperatuur van lucht en water, de hogere gevoeligheid voor ruis en verblinding. Door de toenemende slechthorendheid deert hun lawaai wat minder, maar is de spraakverstaanbaarheid moeilijker. Door een aantal van dit soort elementen ervaren ze wellicht een stigma als onderscheid met gezonde, meestal jongere mensen.

Interactie

Bij kinderen, vrouwen, ouderen en gehandicapten is de noodzaak van gebruiksonderzoek wegens onbekendheid en individualisering des te groter.

Oneigenlijk gebruik

Volwassenen willen of kunnen niet altijd de logica zien van de wijze, waarop de ontwerper gedacht heeft dat zijn produkt gebruikt zou moeten worden. Als kinderen met een produkt voor volwassenen in aanraking komen, is de kans op oneigenlijk gebruik nog groter; vooral als er geen begeleiding in de buurt is. Dit is niet altijd te voorkomen, maar de ontwerper dient wel zoveel mogelijk met het te verwachten gebruik rekening te houden. Dat kan door veel observatie van gelijksoortige produkten en situaties.

Bruikbaarheid

Het onderzoeken van de bruikbaarheid van hulpmiddelen voor ouderen en gehandicapten gebeurt veel minder dan van de meer algemene consumentengoederen. De oorzaak hiervan is dat het niet voldoende is indien een gangbare methode van vergelijkend waren onderzoek (VWO) wordt toegepast om een hulpmiddel op bruikbaarheid te testen. De gebruikseigenschappen zijn namelijk veel meer gedifferentieerd. Wat voor een reuma-patient geldt, hoeft niet voor een visueel gehandicapte of een multiple sclerose-patient te gelden. Daarom komt Jonkers (1978) tot de conclusie dat kwaliteit- en bruikbaarheidsonderzoek alleen maar resultaten kan leveren in de zin van pro-en contra indicatie en niet in de zin van een overall-oordeel, met een keurmerk, of zoals de Consumentenbond dat kan doen voor bijvoorbeeld

klopboomachines. Van 1983-1990 heeft er een aparte Stichting gefunctioneerd die kwaliteit- en bruikbaarheidsonderzoek van hulpmiddelen voor gehandicapten tot doel had (Stichting Waren Onderzoek Gehandicapten of SWOG). De SWOG was onafhankelijk van de verstrekker, analoog aan de SVWO (de Stichting Vergelijkend Waren Onderzoek) die met de Consumentenbond veel onderzoek doet.

In 50% van de gevallen was bij de verstrekking advies verleend door een revalidatiecentrum e.d. en in de overige gevallen was advies verleend door een arbeidskundige van de GMD (Gemeenschappelijke Medische Dienst).

Enkele voorbeelden van gebreken:

- het contactslot van een elektrische rolstoel dat niet op een voor de gebruiker bereikbare plaats zit;
- het zodanig verend ophangen van de achterwielen van een elektrische aangedreven rolstoel, dat bij het starten grote schokbewegingen ontstaan.

In 1974 waren de reparatiekosten per jaar van een elektrisch aangedreven rolstoel ongeveer 2000 gulden, terwijl de prijs ongeveer 6000 gulden was. Nu is de prijs ongeveer 10.000,-. Een ander onderzoek uit Jonkers (1978) meldt dat van de verstrekte hulpmiddelen bij een steekproef bleek dat: 44% weinig werd gebruikt; 13% matig werd gebruikt; 43% veel werd gebruikt. De klachten die gebruikers opgeven betreffen vooral: - geringe betrouwbaarheid (de extra assen van de rolstoel hebben veel gebruikers in hun handtas);

- slechte service (soms moet eerst goedkeuring via een administratieve procedure verkregen worden, die wel enkele weken kan duren);
- te groot gewicht van prothesen eruitzien;
- esthetisch niet aantrekkelijk;
- beperkte bruikbaarheid.

Voorbeelden:

- bladzijomslagapparaten die onnauwkeurig bladeren of alleen maar vooruit kunnen bladeren;
- oriëntatiehulpmiddelen voor blinden, die sommige obstakels wel en andere niet signaleren;
- een elektronisch leeshulpmiddel voor blinden, dat zoveel lawaai maakt, dat men zich geremd voelt om het te gebruiken.

Basisbegrippen gehandicapten

Onder een lichamenlijk gehandicapte verstaan we iemand die ten minste één functiestoornis heeft in een bepaalde mate. Een functiestoornis is het gevolg van een ziekte, zoals bijvoorbeeld een stoornis in de loopfunctie, hand- en arm- functie of in het zien. Een beperking duidt hoofdzakelijk op problemen bij de uitvoering van individuele activiteiten. Een handicap is het sociale gevolg (socialisering) van stoornissen/beperkingen. Het woord handicap ontstond bij het paardrennen, waarbij soms een jockey een extra gewicht op zijn zadel wordt meegegeven als 'handicap'. Vaak worden bij handicaps zeven hoofdgroepen onderscheiden, waarvan er zes essentieel zijn voor het voortbestaan:

- oriëntatievermogen;
- fysieke onafhankelijkheid;
- mobiliteit;
- bezigheden;
- sociale integratie;
- economische zelfstandigheid.

De Wereld Gezondheids Organisatie (WHO) gebruikt in dit verband het volgende stamien, dit wordt algemeen gehanteerd binnen de revalidatiewereld:

ziekte of aandoening →	stoornis →	beperving →	handicap
(innerlijke toestand)	(uitdrukking)	(objectivering)	(socialisering)
disease or disorder	impairment	disability	handicap

Voor de ontwerper is het begrip 'beperving' het meest nuttig, omdat dat het niveau is dat aansluit bij eisen aan produkten; immers eenzelfde beperving (bijvoorbeeld in het lopen) kan afkomstig zijn van verschillende stoornissen (beenverkorting, hartfalen) of nog meer ziekten. Vandaar dat de Internationale classificatie van stoornissen, bepervingen en handicaps 1980 spreekt over I-codes, D-codes of H-codes, analoog aan de ICD-code (International classification of Disease).

Bijvoorbeeld:

I 78.3 = lengte deficiëntie van het dijbeen;

D 46.2 = verandering in de stahouding;

H 3.2 = belemmering in de mobiliteit.

Dit zouden drie bijbehorende classificatieonderdelen kunnen zijn.

Revalidatie is volgens de World Health Organisation (WHO) het gecombineerde en gecoördineerde gebruik van maatregelen op medisch, sociaal, onderwijskundig en arbeidsvaktechnisch terrein dat de handicapte op de voor hem/haar optimale plaats in de samenleving moet brengen en houden. Elementen van revalidatie kunnen zijn:

- diagnose;
- therapie;
- psycho-sociale begeleiding;
- adaptatie.

Adaptatie is in dit verband het op elkaar afstemmen van de omgeving aan de eigenschappen van de gehandicapte en heeft daarom veel ergonomie en ontwerpen in zich. Onder speciale technische voorzieningen (Jonker, 1978) worden alle hulpmiddelen verstaan, die worden gebruikt voor instrumentele compensatie van de aanwezige lichamelijke functiestoornissen.

Men kan deze in drie categorieën indelen:

1. De lichaamsgebonden hulpmiddelen;
2. De niet-lichaamsgebonden hulpmiddelen;
3. De aanpassingen van woningen, openbare gebouwen, openbaar vervoer, etc.

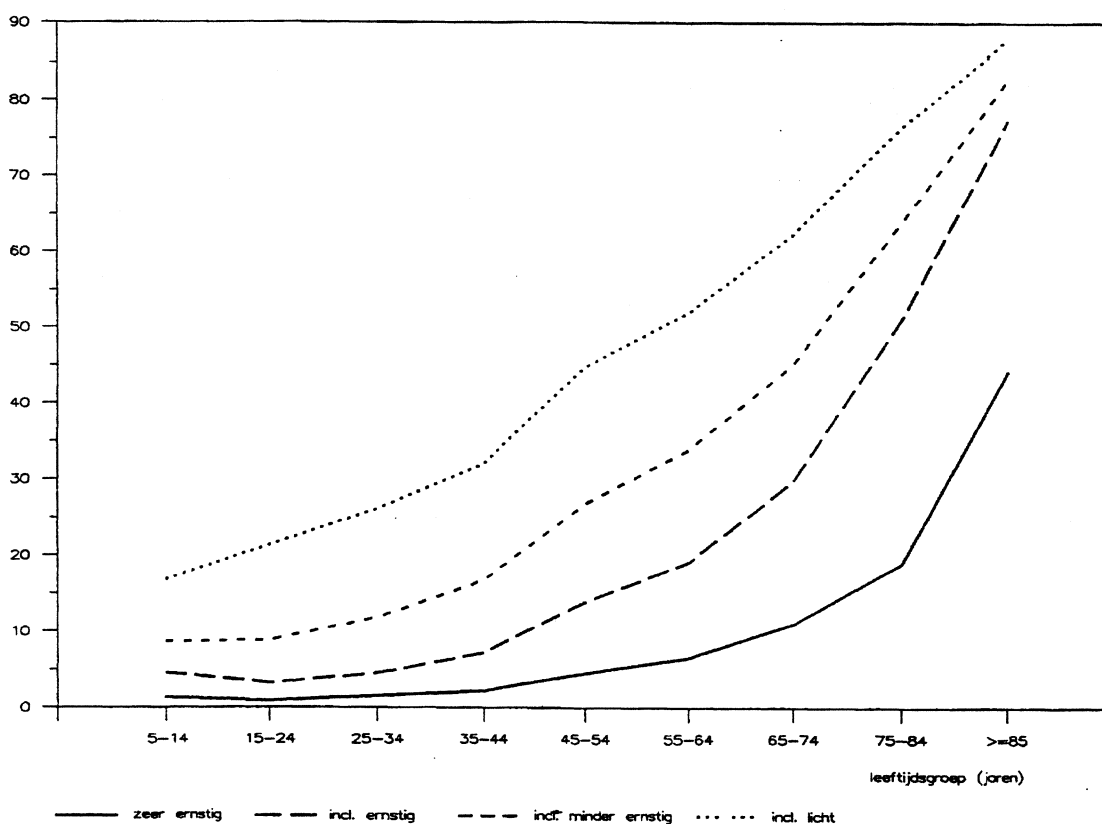
Maar de indeling volgens het Nordic-system (zie verderop in dit hoofdstuk) is meer gedifferentieerd. Ontwerp, ontwikkeling, produktie, verstrekking en gebruik van hulpmiddelen zijn onderwerp van de adaptatie-technologie. Deze basisbegrippen staan uitgebreider in Jonkers (1978). In Nederland hebben ongeveer 10% van de mensen één of andere vorm van handicap, zoals boven omschreven. Dit wil zeggen met een medisch definieerbare lichamelijke of geestelijke stoornis, zodanig dat de uitvoering van arbeid of levensverrichting in een bepaalde mate wordt belemmerd. Als onderverdeling kan gelden:

- lichamenlijk 9%;
- geestelijk 1%.

En als nadere indeling van de lichamelijk gehandicapten wordt meestal gesproken van:

- zintuiglijk gehandicapt, bijv. auditief of visueel;
- orgaan gehandicapt, bijv. afwezigheid van nier;
- motorisch gehandicapt, bijv. verlamming van benen door dwarslaesie wegens een auto-ongeval.

Het percentage functiestoornissen neemt sterk toe met de leeftijd boven de 40 jaar, zoals is te zien in figuur 11.24. Het meest frequent komt een beperking in het uithoudingsvermogen voor.



Figuur 11.24 Lichamelijk gehandicapten in % van de Nederlandse bevolking (NIWAWO/CBS, 1990)

In 1971/1972 werd door Mevr Kleijn-de Vrankrijker het later veel geciteerde onderzoek uitgevoerd, om inzicht te krijgen in het aantal lichamelijk gehandicapten, onderscheiden naar aard, ernst en oorzaak, leeftijd, geslacht, etc.. Daarna werden bevolkingsonderzoeken, zoals in de USA jaarlijks op 1 april (Census-day) plaatsvinden, in Nederland verboden wegens privacy problemen. Dit maakte het de onderzoekers wel moeilijk om een indruk te krijgen van populatie-eigenschappen. Pas in 1990 heeft CBS, samen met het Nederlands Instituut voor Maatschappelijk Werk Onderzoek weer een gericht onderzoek, kunnen doen naar beperkingen bij Nederlanders, aan de hand van een enquête bij steekproef van 10.000 mensen. Figuur 11.24 komt daaruit voort.

Figuur 11.25 komt uit de volkstelling van 1971. De cijfers van 1971 zijn ge-updated naar die van 1981.

Aard van de functiestoornis	absoluut	% van de bevolking
loopfunctie	513.200	3,9
arm/handfunctie	201.700	1,5
zien	106.000	0,8
horen	199.900	1,5
spreken	47.400	0,4
uithoudingsvermogen	538.400	4,0
urineren/ontlasting	78.100	0,6
evenwichtfunctie	194.600	1,5
overig	18.700	0,1

Figuur 11.25 Geschat aantal lichamelijk gehandicapten van 5 jaar en ouder naar functiestoornissen (1981)

(Zeer)ernstige beperkingen in	totaal	%	man	vrouw
spreken	75000	0,5	0,7	0,4
zien	180000	1,2	0,8	1,5
gaan zitten/staan	225000	1,5	1	2
plassen/ontlasting	240000	1,6	0,9	2,4
horen	330000	2,2	2,1	2,2
lopen	405000	2,7	1,8	3,6
uithouding	420000	2,8	2,6	2,9
verplaatsing	435000	2,9	1,5	4,1
arm/hand gebruik	465000	3,1	2,3	3,9

Figuur 11.26 Personen met beperkingen naar ernst per geslacht 1986/1988(Nimawo/CBS,1990)

Naast dit CBS onderzoek zijn er cijfers over mensen die arbeidsongeschikt zijn en een uitkering van WAO of AAW krijgen (WAO = Wet op de ArbeidsOngeschiktheid; AAW = Algemene ArbeidsOngeschiktheidswet). Hiervoor komen ruim 700.000 mensen in aanmerking. Verder zijn er ruim 1 miljoen mensen met CARA (ademhalingsziekten) in Nederland. Het interpreteren van de cijfers dient met enige voorzichtigheid te gebeuren. (Revalidatievademecum, 1985) De ernst van de functiestoornissen is immers net zo belangrijk en dit neemt ook sterk toe met de ouderdom. Het aantal gehandicapten in Nederland tengevolge van een ongeval wordt geschat op 160.000 . In 1979 werden ongeveer 1350 mensen (950 mannen + 400 vrouwen), die ten gevolge van een ongeval in een revalidatie-inrichting waren opgenomen, als patient ontslagen. De helft bestond uit verkeerslachtoffers (CBS, 1982). Daarmee is een bedrag van 1,2 miljard gulden vertegenwoordigd. Verder worden ongeveer 5500 mensen per jaar arbeidsongeschikt verklaard tengevolge van een ongeval.

Classificatie van hulpmiddelen

Bij het verzamelen van informatie over hulpmiddelen voor gebruikers, hulpverleners, verstrekkers, ontwerpers e.d. is het in Scandinavië ontwikkelde systeem gebruikt (Nordic Information System of technical aids for disabled persons) als basis voor een grote database HANDYNET, die on-line bereikbaar is voor nationale centra voor elk der Scandinavische landen en de EEG-landen. Door het downloaden en vertalen van die bestanden is ondermeer in Nederland nu al enkele jaren een CD-ROM bestand NIGSYS en TECHULP verkrijgbaar. Het is ondermeer in de Openbare bibliotheek van

Delft maar ook in het laboratorium van de sectie Fysieke Ergonomie aanwezig. NIGSYS is een soort encyclopedie op het gebied van de revalidatie en TECHHULP is een inventarislijst van in Nederland verkrijgbare hulpmiddelen, op het niveau van een type aanduiding, naam en adres van de fabrikant. In de nabije toekomst is een plaatje van elk hulpmiddel te verwachten.

Organisaties voor gehandicapten

Er zijn talrijke organisaties in de wereld voor de gehandicapten opgezet, soms door deskundigen, soms door gebruikers en soms door beiden. De gehandicapte gebruikers hebben in Nederland een overkoepelende organisatie, de Stichting Nederlandse Gehandicapten Raad, TNO heeft samen met de Rijksuniversiteit Limburg en de Lucas Stichting voor Revalidatie het IRV en het RIC opgericht. Deze beide instanties zijn gevestigd in Hoensbroeck. Het IRV is het Instituut voor Revalidatie Vraagstukken en doet wetenschappelijke onderzoek; het RIC is het Revalidatie Informatiecentrum en is een erg handig archief, waar ondermeer wordt gewerkt aan HANDYNET en NIGSYS en TECHHULP, in samenwerking met het NIZW (Nederlands Instituut voor Zorg en Welzijn). Het NIZW is de uitgever van de CD-ROM schijven en heeft een infolijn (030) 2306603.

De revalidatie-instituten in Nederland zijn georganiseerd in de Vereniging voor Revalidatie Instituten (VRIN). De revalidatieartsen in Nederland zijn georganiseerd in de Vereniging voor Revalidatieartsen (VRA). De wetenschappelijke onderzoekers op het gebied van de revalidatie zijn georganiseerd in het Wetenschappelijk Genootschap voor de Revalidatie (WGR).

Een innovatieve rol hierin is Stichting KBO in Woerden gaan spelen. Dit is een soort verzelfstandigde eenheid van het vroeger GMD, met meer nadruk op contacten met gebruikers. Deze stichting voert vergelijkend onderzoek uit of laat dit uitvoeren bijvoorbeeld door TNO en kent een GQ- keurmerk toe.

Ook de vroeger uitgaven van de GMD worden nu door de Stichting KBO uitgegeven.

11.3 Ontwerpmethoden en -overwegingen

- 1 Zorg voor voldoende ergonomische kennis op het betrokken deelgebied, via tijdschriften in de IO bibliotheek.
2. Kijk in de IO-bibliotheek naar afstudeeropdrachten op hetzelfde gebied.
3. Kijk in de Centrale Bibliotheek of in het Normalisatie Instituut naar Normen.
4. Kijk welke organisaties op dat gebied actief zijn, benader zowel gebruikers als deskundigen, bijvoorbeeld via het NIZW (030) 2306603 in Utrecht; tracht hierdoor problemen, eisen en wensen op tafel te krijgen.
5. Ga na bij enkele beurzen zoals de tweejaarlijks Medica, de tweejaarlijkse Support of via de catalogi ervan, welke produkten er op dit gebied zijn.
6. Kijk of er onderzoek is gedaan door SWOG, Consumentenbond, TNO, GMD, etc..
7. Gebruik "Geboden Toegang" kritisch als databron en als checklist; wellicht wordt dit op grote schaal verspreide boek in de toekomst nog eens aangevuld en verbeterd met de resultaten uit het wetenschappelijk onderzoek.
8. Integratie van ergonomie, vormgeving en constructie is van groot belang bij deze ontwerpen.
9. Ontwerp niet alleen voor gehandicapten als doelgroep als het ook ruimer kan (Dirken, 1981 en 1994).
- 10 Zorg ervoor dat het ontwerp zo weinig mogelijk gerepareerd moet worden, omdat de gebruiker hiermee een grotere vrijheid bereikt. "Men kan wel wennen aan zijn handicap maar niet aan de kans op gebreken van zijn hulpmiddel".

- 11 Probeer modulair te ontwerpen, zodat toch een serieproductie opgezet kan worden van onderdelen; dit in tegenstelling tot veel hulpmiddelen, die nog ambachtelijk vervaardigd moeten worden om ze voldoende bruikbaar te maken.

Dat een en ander ook beter geregeld kan worden, is te illustreren met twee voorbeelden:

1. In Skien in Noorwegen is een project gestart, waar gehandicapten in één dag een aangepast hulpmiddel kunnen krijgen, waarbij ook de nodige formaliteiten tegelijkertijd worden vervuld. (In Nederland kan dit soms 8 maanden duren).
2. In Nederland zijn er sommige revalidatie firma's die een goede relatie met de verstrekker hebben opgebouwd, zodat de nodige formaliteiten pas na de reparatie van de rolstoel e.d. (die binnen 1 of 2 dagen plaatsvindt) hoeven te worden vervuld.

Literatuur

- Berns, T. (1979).
The handling of consumer packaging. *Applied Ergonomics* 12 (1979) 3, 153 - 161.
- Braam, G.P.A. et al. (1982).
Ouderen een vergeten bevolkingsgroep. *Natuur en Techniek* 50 (1982) 11, p814 - 829.
- Braunfels, S. et al. (1973).
Der vermessene Mensch. Antropometrie in Kunst und Wissenschaft. Moos, Münch.
- CBS. (1976).
De toekomstige demografische ontwikkeling in Nederland na 1975. Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg.
- CBS. (1982).
Ongevallen van klein tot groot. Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg.
- CBS (1982).
Bevolkingsstatistiek op 1-1-1981. Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg.
- Consumentengids, (1985).
Ontwerprichtlijnen voor een buggy/wandelwagen, *Consumentengids*, febr. 1985.
- Cruyf - Arts, W.C.M. et al. (1983).
Blindelings bruikbaar. Nederlandse Vereniging van Blinden en Slechtzienden NVBS, Arnhem.
- DIN 33402 (1981).
Körpermasse des Menschen. Teil 1, 2 und 3. Beuth, Berlin.
- DIN33408. (1981).
Körperumrisschablonen. Beuth, Berlin.
- Dirken, J.M. (1981).
Testing products for the handicapped, a multidisciplinary approach. *International Symposium on Design for the Disabled.* Shefayuis, Israel. Technische hogeschool Delft, Tussenafdeling industrieel ontwerpen.
- Dirken, J.M. en R. den Buurman. (1984).
Collegedictaat ergonomie 2. Technische hogeschool Delft, Tussenafdeling industrieel ontwerpen.
- Duyn, A. (1982).
Kinderveilige verpakkingen. Technische hogeschool Delft, Tussenafdeling industrieel ontwerpen, 1982. Afstudeerverslag.
- Frank, P. et al. (1985).
Onderzoek naar trek- en duwkrachten bij kinderen in zittende positie. Technische hogeschool Delft, Tussenafdeling industrieel ontwerpen.
- Goldschmidt, S. (1967).
Design for disabled. Royal Institute of British Architects, London.
- Harnack, G.A. von (1974).
Kinderheilkunde. Springer, Berlin.
- Heberer, G. et al. (1959).
Anthropologie. Fischer, Frankfurt am Main.
- Hudgens, G.A. and P.A. Billingsley, (1978).
Sex: the missing variable in human factors research. *Human Factors* 20, p245-250.
- IOP. (1985).
Samenvatting van het rapport over de inventarisatie van de infrastructuur van de revalidatie in Nederland. Programmabureau Innovatie Hulpmiddelen Gehandicapten, Amsterdam.

- Jonkers, H.L.(1978).
Enkele aspecten van bruikbaarheid en gebruik van hulpmiddelen voor mensen met lichamelijke functiestoornissen. Delftse Universitaire Pers, Delft.
- Jurgens, H.W. et al. (1979).
Antropometrisch-ergonomische Untersuchungen an 14 -19 jarhrigen Jugendlichen und Frauen. Der Bundesminister fur Arbeit und Sozialordnung, Bonn.
- Kleijn-de Vrankrijker, M.W. de. (1981).
Gehandicapten - om hoeveel mensen gaat het? Huisarts en Wetenschap, 1981, 24, 446-468, 475
- Koopmans, P. (1986).
Maten van baby's en peuters, 0-4 jaar. Literatuuronderzoek IO52, TU Delft, Faculteit Industrieel Ontwerpen.
- Knook, D.L. (1982).
Het venijn zit in de cel. *Natuur en Techniek* 50 (1982) 11, 830 - 849.
- Lange, W. (1981).
Kleine Ergonomische Datensammlung. Mitarb. J.H. Kircher, H. Lazarus und H. Schnauber. TUV Rheinland, Dortmund.
- Lankhorst, G.J. en T.W. Vogelaar. (1977).
Rolstoelen; een patiëntenonderzoek naar gebruik en bruikbaarheid van verstrekte rolstoelen. *Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde* (1977) 20, 821 - 825.
- Laubach, L.L., (1978).
Muscular strength of women and men. In: Churchill, E.: *Antropometric source book*. Webb, Yellow Spings, Ohio.
- Lenior, T.M.J. en C. Slappendel
Ergonomisch ontwerpen, ook ten gunste van vrouwenarbeid. *Tijdschrift voor Sociale Gezondheidszorg* 63 (9185) 5 (zie IO-bibliotheek).
- Lewin, T. (1969).
Antropometric studies on Swedisch industrial workers when standing and sitting. *Ergonomics* 12 (1969) p883 - 902.
- Maan - Faber, M.L. et al. (1984).
Faciliteiten voor zwangere werkneemsters. Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, Den Haag.
- Mackay C.J. and C.M. Bishop (1984).
Occupational health of women at work; *Ergonomics* 27 (1984) 5, p489 - 498
- Mandal, A.C. (1976).
Work-chair with tilting seat. *Ergonomics* 19 (1976) 2, p157 - 164.
- Marinissen, A.H. en J.F.M. Molenbroek (1985).
Dictaat productveiligheid Afd. Industrieel Ontwerpen TH Delft.
- Molenbroek, J.F.M. (1983).
Industrial design engineering at Delft. *Ergonomics* 26 (1983) 10, 1105 - 1107.
- Molenbroek, J.F.M. et al. (1983).
Bejaardenantropometrie. Rapport bijzondere onderwerpen deel 6. Technische hogeschool Delft, Tussenafdeling industrieel ontwerpen.
- Molenbroek, J.F.M. (1984).
Industrieel ontwerpers kunnen betere rolstoelen maken. *Symposium Rolstoelinnovatie*, mei 1983. Gehandicapteraard, Utrecht.
- Molenbroek, J.F.M., (1994).
Op maat gemaakt, Menselijke maten voor het ontwerpen en beoordelen van gebruiksgoederen. Dissertatie. Series Physical Ergonomics, Faculteit Industrieel Ontwerpen, Technische Universiteit Delft, Delftse Universitaire Pers.

- Murrell, K.F.M (1969).
Ergonomics. Chapman and Wall, London.
- NBD. (1983).
Produktinformatie Gehandicaptten, Productinformation systems, Deventer.
- Newsweek. (1984).
An aging World: Counting the Costs. *Newsweek* (1984) 4, 30 - 34.
- NIMAWO/CBS (1990).
Lichamelijke beperkingen bij de Nederlandse bevolking, 1986/1988
SDU, Den Haag, 1990
- Norris, B and J. Wilson (1995).
Childata, The Handbook of Child Measurements and Capabilities
Data for Design Safety, Institute for Occupational Ergonomics, University of Nottingham, Nottingham, UK.
- Redgrove, J. (1984).
Women are not from Lilliput or Bedlam; *Ergonomics* 17 (1984) 5, 469 - 474.
- Rijke, M. (1985).
De Kinderen en hun maatjes, Literatuuronderzoek IO52, TU Delft, Faculteit Industrieel Ontwerpen.
- Roede, M.J. (1979).
Somatic development. In: Prah Anderson o.a. *A mixed longitudinal interdisciplinary study of growth and development*. Academic Press, London.
- Roede, M.J. en J.C. van Wieringen (1982).
Groeiagrammen 1980. Samson, Alphen aan de Rijn.
- Sittig, J. en H. Freudenthal, (1951).
De juiste maat; Stafleu, Leiden.
- Slappendel, C. (1983).
Ergonomische aspecten voor vrouwenarbeid. Werkgroep Ergonomie TH Twente. Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, Den Haag.
- Smeets, J.W. en F. Jenner. (1977).
Werkstoel met kantellende zitting: een betere manier van zitten? *Ergonomie* 3 (1977) 3, p267 - 272.
- Snijders, C.J. (1975).
Schaalwetten in de levende natuur. Interne nota. TH Eindhoven.
- Snyder, R.J. (1975).
Antropometry of US infants and children. Society of Automotive engineering, Cobo Hall Detroit, Michigan.
- Steenbekkers, L.P.A. (1993).
Child development, design implications and accident prevention, Dissertation, Series Physical Ergonomics, Faculty Industrial Design Engineering, Delft University Press.
- SWOG. (1983).
Vergelijkend onderzoek naar de kwaliteit en bruikbaarheid van mengkranen voor gehandicaptten.
- Vademecum Nutricia (1982).
Nutricia, Zoetermeer.
- White, R.M. (1946-1977).
The anthropometer of USA men and women: 1946 -1977. *Human factors* 21 (1979) 4, p473 - 482.
- WHO. (1980).
International Classification of Impairments, Disabilities and Handicaps. WHO.

12 Opnemen en verwerken van informatie; perceptie

Inleiding

Onze zintuigen worden voortdurend overstelpt met signalen, extern uit onze omgeving en intern vanuit ons eigen lichaam, over houding en functioneren. Potentieel is dit een chaos die we evenwel niet als zodanig ervaren omdat doorgaans slechts een zeer klein deel van deze signalen doorkomt, dat wil zeggen, onze, zeer selectieve, aandacht krijgt. Perceptie, of te wel het extraheren van informatie uit deze veelheid aan signalen en het verwerken ervan vindt plaats tegen de achtergrond van eerdere ervaringen, herinneringen, opdrachten, behoeften, verwachtingen, hoop en vrees, die onze interne wereld uitmaken. De sensorische kant van het opnemen van informatie is behandeld in de 130 'Inleiding tot de Produkt- en Systeemergonomie', hoofdstuk 12. Hier gaat het meer om (selectieve) aandacht, het verwerken van informatie, waaronder informatie-opslag, het terugvinden van informatie en het nemen van beslissingen. Ook komen de technische systemen die ons daarbij kunnen ondersteunen kort aan de orde en wordt er aandacht besteed aan de extra problemen van de ouder wordende mens.

12.1 Modellen van het proces van informatie verwerken

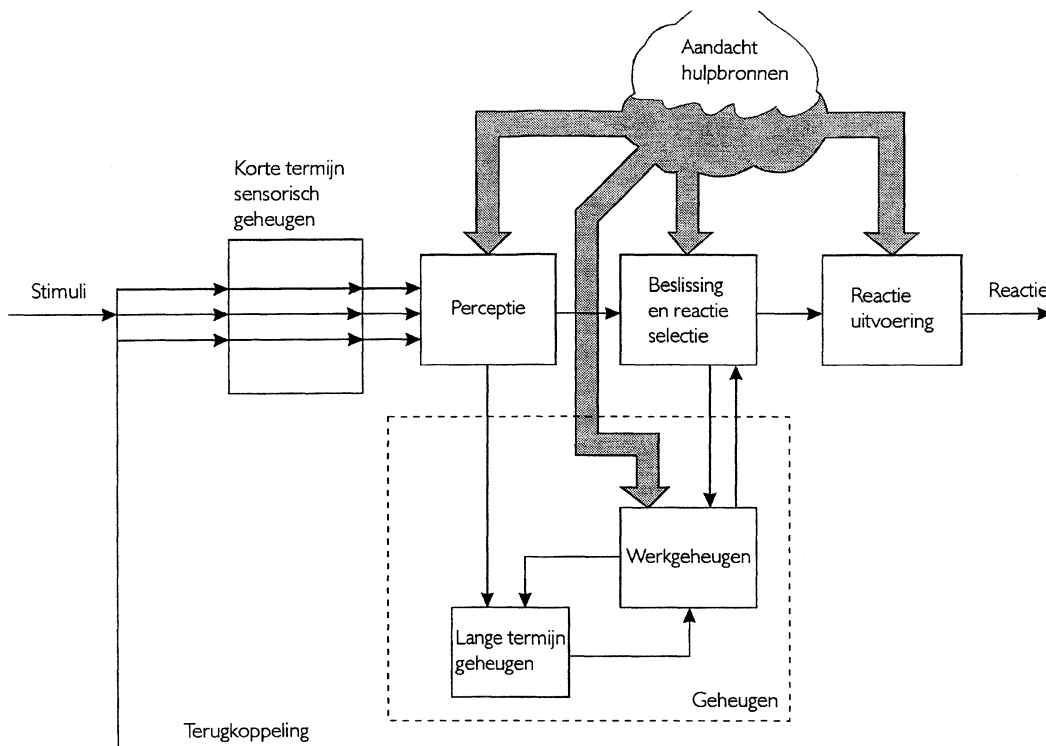
Modellen van dit proces zijn goed of slecht, al naar gelang ze meer of minder bruikbaar zijn om het gedrag ervan in werkelijkheid te beschrijven. Het zijn abstracte weergaven van het proces (bijvoorbeeld wiskundige of fysische) die geschikt zijn om hypotheses uit af te leiden die toetsbaar zijn aan de werkelijkheid. De literatuur kent veel modellen voor de verwerking van informatie door mensen. Deze modellen beschrijven de veronderstelde belangrijkste onderdelen of stadia van het proces en de relaties daartussen. Als voorbeeld geven wij hier het model van Wickens (1984), zie figuur 12.1. De andere modellen, zoals bijvoorbeeld Welford (1976) en Sanders (1993) zijn niet essentieel anders. Het belangrijke begrip aandacht blijft bij deze modellen nogal in het vage. We komen hier later nog op terug, ondermeer bij het bespreken van de beperkingen die mensen kennen waar het de verdeling van aandacht over meerdere taken tegelijk betreft.

In het schema van Wickens geeft de pijl tussen het blok 'lange termijn geheugen' en het blok 'perceptie' aan dat onze waarneming en informatieverwerking beïnvloed wordt door eerdere ervaringen, door datgene wat we geleerd hebben en door de ons opgedragen taken. Ook iets ogenschijnlijk simpels als het detecteren van een signaal in achtergrondruis is toch reeds een vrij complex gebeuren van informatieverwerking en beslissen. Dit wordt gedemonstreerd aan de hand van de signaal-detectie theorie (Swets, 1988, Green en Swets, 1988).

Signaal-detectie theorie (SDT)

Deze theorie is eigenlijk een mathematisch model, toepasbaar in het geval dat er een signaal is, variërend in sterkte, dat gedetecteerd dient te worden tegen een achtergrond van een eveneens in sterkte variërende ruis. Deze detectie is uiteraard lastiger naarmate de situaties signaal + ruis en uitsluitend ruis minder van elkaar verschillen.

Voorbeelden zijn het opvangen van een zwak S.O.S.-signaal op de radio te midden van atmosferische ruis, het horen van de huisbel tijdens het stofzuigen en het detecteren van een afwijking op een Röntgenfoto of ook het ontdekken van een oplichtend stipje van een vliegtuig op een radarscherm. Wie wel eens met Windows werkt, weet hoe lastig het soms kan zijn om de 'mousepointer' te vinden te midden van alle kleuren en vormen op het scherm.



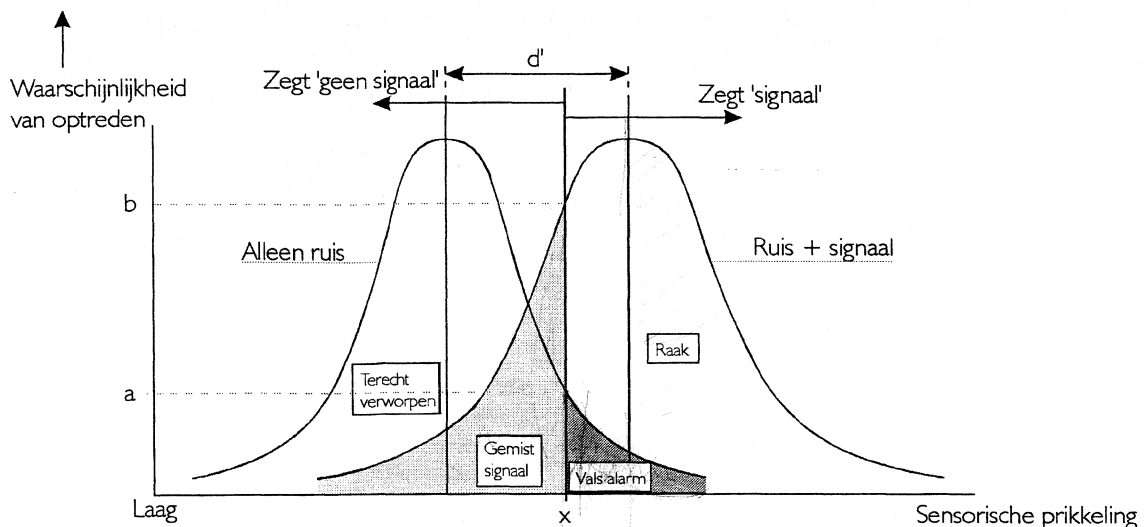
Figuur 12.1 Menselijke informatieverwerking (naar Wickens, 1984).

Zoals gezegd is er bijna altijd sprake van een signaal en van (achtergrond)ruis. Nu neemt de waarnemer bijvoorbeeld een geluid waar. De waarnemer zal moeten bepalen of het om alleen ruis gaat of om ruis plus signaal. Er van uitgaande dat er twee mogelijkheden zijn: er is wel of niet een signaal, zijn er vier mogelijke situaties:

- De gebruiker denkt dat er een signaal is en er is inderdaad een signaal (Raak);
- De gebruiker denkt dat er een signaal is maar er is geen signaal (Vals alarm);
- De gebruiker denkt dat er geen signaal is en er is inderdaad geen signaal (Terecht verworpen);
- De gebruiker denkt dat er geen signaal is maar er is wel een signaal (Gemist signaal).

In figuur 12.2 wordt het één en ander geïllustreerd. Ruis, zowel als ruis + signaal heeft een bepaalde sensorische activiteit bij de gebruiker tot gevolg. De grens waarbij de waarnemer zal zeggen dat het of alleen om ruis gaat of om ruis + signaal (in de figuur met x aangegeven), is voor iedere waarnemer anders en kan ook anders komen te liggen in de tijd of al naar gelang de situatie. Aangenomen wordt dat de kans dat een bepaalde sensorische activiteit wordt gegenereerd door één van de geluiden afzonderlijk, normaal verdeeld is; dan is ook de kans op een bepaalde sensorische activiteit door beide signalen te zamen normaal verdeeld (bredere verdeling). Doordat de beide verdelingen elkaar overlappen, ontstaan de vier genoemde situaties.

Bij de grens die een waarnemer stelt kunnen de snijpunten met de beide normale verdelingen bepaald worden (a en b). Het quotiënt $\beta = b/a$ zegt iets over deze waarnemer. In figuur 12.2 is β groter dan 1. Dit duidt er op dat de gebruiker relatief laat zegt dat er een signaal is en dus relatief vaak een signaal zal missen. Deze persoon wordt in dit verband conservatief genoemd.



Figuur 12.2 Illustratie van het concept van de signaal detectie theorie. Op de horizontale as staat de (interne) sensorische prikkeling van de waarnemer, in het ene geval gegenereerd door uitsluitend ruis, in het andere door ruis + signaal.

Er zijn twee variabelen die invloed hebben op de plaats van de grens x : de waarschijnlijkheid van het optreden van een signaal en de kosten en baten van de vier genoemde situaties als mogelijke uitkomsten van de beslissing. Stel dat een patiënt tegen de tandarts zegt last te hebben van kiespijn, dan wordt daarmee de waarschijnlijkheid dat deze patiënt een gaatje heeft groter. De tandarts zal een verdacht plekje dan eerder als 'gaatje' oormerken.

In dezelfde situatie kan afgewogen worden wat de 'kosten' kunnen zijn van zeggen dat er geen gaatje is, terwijl het er wel is (gemist signaal); misschien wordt het zo erg dat de tand verloren gaat. Aan de andere kant zijn er ook kosten verbonden aan het zeggen dat er een gaatje is, terwijl dit er niet is; er zal dan nodeloos geboord en gevuld worden. Het is aan de tandarts om in te schatten hoe conservatief het criterium gesteld moet worden (bijvoorbeeld op basis van het al dan niet op halfjaarlijkse controle komen, waardoor het minder erg is om dit keer een gaatje te missen omdat het dan volgende keer wel opgemerkt zal worden).

Tot slot speelt ook de 'gevoeligheid' (of de resolutie van het sensorische systeem) van de persoon een rol. Hoe groter daardoor de scheiding tussen de (gemiddelden van de) twee verdelingen, des te groter de gevoeligheid (d'). Van invloed op de gevoeligheid is onder andere de 'interne ruis' van de persoon in kwestie. Daarnaast is d' uiteraard kleiner naarmate het signaal zwakker en minder duidelijk is. Tot slot speelt ook het vermogen van de gebruiker om de fysische karakteristieken van het signaal te onthouden een rol. Een hulpmiddel kan de gevoeligheid vergroten; denk aan een Röntgenfoto voor de tandarts.

Toepassingsmogelijkheden van de signaal-detectie theorie liggen bijvoorbeeld bij het detecteren van een doel met sonar, bij industriële inspectietaken, medische diagnostiek en bij verkeersleiding in de luchtvaart. De signaal-detectie theorie is ontwikkeld met behulp van gecontroleerde laboratoriumexperimenten, waarbij proefpersonen veel taken kregen met nauwkeurig gecontroleerde signalen en dito niveaus van achtergrondlawaai. Aangenomen wordt dat in veel praktische situaties niet voldaan wordt aan deze condities en dat er dan foute conclusies getrokken kunnen worden als hiermee onvoldoende rekening wordt gehouden.

Deze beschouwing betreft dan nog alleen het detecteren, de meest eenvoudige vorm van perceptie, dat wil zeggen vaststellen of een signaal wel of niet aanwezig is. Het wordt al lastiger als we iemand ook vragen om aan te geven tot welk van een aantal verschillende klassen het signaal behoort. We raken dan aan het identificeren en herkennen, waarbij naast gerichte aandacht, zoals bij het detecteren, in veel belangrijker mate eerdere ervaringen en datgene wat geleerd is en opgeslagen is in het lange termijn geheugen, een rol spelen.

12.2 Het geheugen

(Voor een groot deel is de onderstaande tekst vrij vertaald naar Sanders & McCormick, pag. 61-85, 1993.)

Het menselijk geheugensysteem wordt vaak voorgesteld als bestaande uit drie subsystemen met daaraan toegeschreven processen (zie ook ide130):

- zintuiglijk kort geheugen;
- werkgeheugen;
- lange-termijngeheugen.

Het werkgeheugen is tevens de poort naar het lange-termijngeheugen. De informatie uit het zintuiglijke korte geheugen moet via het werkgeheugen om in het lange-termijngeheugen opgeslagen te kunnen worden. Het menselijk geheugen is enorm, maar verre van perfect. In het lange-termijngeheugen hebben we enorme hoeveelheden globale informatie opgeslagen, maar in veel gevallen hebben we moeite met het terugvinden van informatie op het moment dat we die nodig hebben. Hier behandelen we slechts de manier waarop informatie wordt gecodeerd in de drie subsystemen en een aantal van de praktische implicaties hiervan. Er zijn veel modellen die de werking van (een deel van) het geheugen beschrijven, maar in geen van die modellen worden de verschillende eigenschappen behandeld die geassocieerd worden met het werkgeheugen.

12.2.1 Zintuiglijk kort geheugen

Elk sensorisch kanaal lijkt een tijdelijk opslagmechanisme te bezitten waardoor de representatie van de stimulus, nadat deze is aangeboden, voor een korte tijd verlengd wordt. Het meeste is bekend over de mechanismen die horen bij het visuele systeem, het iconisch geheugen en bij het auditieve systeem, het klankgeheugen. Er is enig bewijs van het bestaan van een tactiel en een olfactorisch geheugen, maar daar is nog zeer weinig over bekend.

Als een visuele stimulus zeer kort wordt aangeboden, houdt het iconisch geheugen dit beeld nog voor een korte tijd vast, waardoor verdere verwerking van het signaal mogelijk gemaakt wordt. Deze iconische opslag duurt doorgaans minder dan ongeveer één seconde. Bij auditieve signalen kan deze opslag enige seconden duren, waarna de klank vervaagt. Informatie in het zintuiglijk geheugen is nog niet gecodeerd, maar wordt in zijn oorspronkelijke sensorische representatie bewaard. Voor deze opslag is geen actieve inspanning van de persoon nodig. Kortom, opslag in het zintuiglijk geheugen is een relatief automatisch proces en er is weinig dat men kan doen aan het langer vasthouden van deze informatie op die plaats. Om de informatie langer op te slaan, moet deze gecodeerd en overgebracht worden naar het werkgeheugen.

12.2.2 Werkgeheugen

Voor het coderen en overbrengen van informatie naar het werkgeheugen is inspanning van de persoon nodig. Algemeen wordt aangenomen dat voor de codering in het werkgeheugen drie typen codes gebruikt worden: visueel, fonetisch en semantisch.

Visuele en fonetische codes zijn visuele en auditieve representaties van stimuli. Deze representaties kunnen ook gegenereerd worden door stimuli van het andere type, of intern uit het lange-termijngeheugen. Zo kan het visueel gepresenteerde woord 'HOND' fonetisch gecodeerd worden als het geluid dat gegenereerd wordt bij het uitspreken van het woord. Andersom, bij het horen van het woord 'HOND' kan een visuele code (mentaal beeld) van een hond gegenereerd worden. Bovendien is het mogelijk om een visueel beeld te vormen van een object, op basis van informatie uit het lange-termijngeheugen, zonder het op dat moment te zien of te horen.

Semantische codes zijn eerder representaties van de abstracte betekenis van een prikkel dan van het beeld of het geluid ervan. Met name de semantische codes zijn belangrijk voor het lange-termijngeheugen. Hoewel er een natuurlijke progressie is van de fysische codes naar semantische codes, zijn er aanwijzingen dat alle drie de codes naast elkaar voorkomen in het werkgeheugen.

Een praktische blijk van het gelijktijdig voorkomen van codes is het gegeven dat letters die van papier gelezen worden, automatisch geconverteerd worden naar fonetische codes. Als proefpersonen de taak krijgen om een lijst met letters te lezen en deze later uit het geheugen te herhalen, blijken er meer fouten gemaakt te worden door akoestische verwarring dan door visuele verwarring (een E herinneren als een D omdat deze ongeveer hetzelfde klinkt in plaats van een E herinneren als een F omdat deze er ongeveer hetzelfde uitziet). Als nu bijvoorbeeld een lettercodering op een computerscherm gebruikt moet worden, is het belangrijk om letters te kiezen die fonetisch niet op elkaar lijken.

De capaciteit van het werkgeheugen

De enige manier om informatie in het werkgeheugen op te slaan is door herhaling. In een experiment kan dat aangetoond worden door een proefpersoon vier letters aan te bieden (zeg J, T, N en L) en haar/hem vervolgens de opdracht te geven met stapjes van drie terug te tellen vanaf 187. Na 15 seconde tellen (waardoor de letters niet herhaald kunnen worden) zal de proefpersoon de letters waarschijnlijk niet meer kunnen reproduceren. Maar zelfs met tussentijdse herhaling kan de informatie in het werkgeheugen na verloop van tijd verloren gaan. Hoe meer gegevens in het werkgeheugen, des te sneller gaan er gegevens verloren. Een verklaring hiervoor is dat bij een groot aantal gegevens de tijd tussen de opeenvolgende herhalingen van een bepaald gegeven langer wordt.

Wetende dat het herhalen vertraagd wordt door het aantal gegevens te vergroten, kan de vraag gesteld worden hoeveel gegevens er in het werkgeheugen opgeslagen kunnen worden. Het antwoord is 7 ± 2 (dus 5 tot 9). Om dit aantal op zijn juiste waarde te schatten is het belangrijk om te weten hoe zo'n gegeven wordt gedefinieerd. Volgens Miller (1956) kunnen mensen informatie 'verblokken' in bekende eenheden, ongeacht de grootte ervan en kunnen deze herinnerd worden als een geheel. Op die manier wordt de grens 7 ± 2 blokken. Bijvoorbeeld de letters K.A.T.H.O.N.D.R.A.T. In plaats van deze als een rij van negen letters te onthouden, zal dit volgens Miller onthouden worden als drie blokken; kat, hond en rat. Op een soortgelijke manier zouden woorden gecombineerd worden in betekenisvolle zinnen en zouden die zinnen dan onthouden worden. Daarmee wordt de capaciteit van het werkgeheugen efficiënter benut.

De manier waarop de informatie wordt aangeboden kan het verblokken van die informatie vergemakkelijken. Zo kunnen lange getallen beter onthouden worden door er blokken van bijvoorbeeld drie of vier cijfers van te maken (010 422 6631 is makkelijker te onthouden dan 0104226631). Bovendien is het zo dat een blok

makkelijker onthouden kan worden als het een betekenis heeft (KPN MTV CD is makkelijker te onthouden dan JWM CHT PF).

De praktische implicaties van dit alles zijn:

- 1 Vermijd het aanbieden van meer dan vijf tot negen blokken informatie als mensen deze informatie moeten onthouden;
- 2 Presenteer informatie in betekenisvolle en onderscheidbare blokken;
- 3 Bied training aan om het onthouden van informatie door deze te verblokken te stimuleren.

Schneidermann (1980) geeft aan dat, als een menu getoond wordt op een computer beeldscherm en de opties in het menu moeten simultaan met elkaar vergeleken worden, het aantal opties niet groter mag zijn dan de maximale capaciteit van het werkgeheugen. Reeds als meer dan zeven opties aangeboden worden, dan bestaat de kans dat de eerste vergeten is voordat de gebruiker bij de laatste optie is aangekomen.

Zoeken in het werkgeheugen

De tijd die nodig is om een gegeven te vinden in het werkgeheugen, neemt lineair toe met het aantal gegevens daarin. Bovenop de tijd die nodig is voor de perceptie en het decoderen komt dus nog de zoektijd, waarmee de totale responsietijd per gegeven ongeveer 38 ms bedraagt. Het is interessant om hierbij op te merken dat het dan niet uitmaakt of het gegeven dat gezocht wordt wel of niet daadwerkelijk in het geheugen voorkomt. Dit impliceert dat alle gegevens nagelopen worden, ook al is er een 'match' gevonden direct in het begin.

12.2.3 Lange-termijngeheugen

Informatie uit het werkgeheugen wordt overgebracht naar het lange-termijngeheugen door deze semantisch te coderen, dat wil zeggen door betekenis toe te kennen aan de informatie en deze te relateren aan de informatie die al opgeslagen is. Bijvoorbeeld bij het bestuderen van studiemateriaal is herhaaldelijk lezen niet voldoende om de stof op een later tijdstip te kunnen reproduceren. Dat komt omdat de semantische codering te weinig aandacht heeft gekregen. Om meer informatie te kunnen reproduceren moet deze geanalyseerd, vergeleken en aan bestaande informatie gerelateerd worden. Hoe meer de informatie in eerste instantie georganiseerd is, des te makkelijker kan deze naar het lange-termijngeheugen overgebracht worden. Andersom is het makkelijker om informatie uit het lange-termijngeheugen op te halen als deze beter georganiseerd opgeslagen is. Doorgaans is het terughalen van (nauwkeurige) informatie de beperkende factor in het gebruik maken van het lange-termijngeheugen.

12.3 Beslissen

Het nemen van beslissingen is eigenlijk de essentie van informatieverwerking. Het is een complex proces waarbij mensen alternatieven tegen elkaar afwegen en op basis daarvan een actie kiezen. Daarbij moet informatie verzameld worden die relevant is voor de betreffende beslissing en moeten schattingen gemaakt worden van de verschillende mogelijke uitkomsten, waarvan ook afgewogen moet worden wat de consequenties van die uitkomsten zijn.

De mens is echter niet een optimale beslisser en handelt niet altijd rationeel, wat betekent dat hij niet altijd handelt zoals verwacht zou worden op basis van objectieve kansberekening en berekening van kosten en baten. Een aantal 'onzuiverheden' zijn inherent aan de manier waarop mensen informatie zoeken, kansen inschatten en waarde toekennen aan mogelijke uitkomsten. Een aantal van deze 'onzuiverheden'

staat hieronder genoemd (Wickens, 1984):

- 1 Mensen geven soms teveel gewicht aan informatie of feiten uit het verleden. Het gevolg is dat aan nieuwe informatie te weinig waarde wordt gehecht;
- 2 In het algemeen is de mens conservatief en onttrekt zij/hij niet alle informatie aan een bron;
- 3 Hoe meer informatie ingewonnen wordt, des te meer vertrouwt de mens op haar/zijn beslissing, ook al wordt deze niet per definitie nauwkeuriger;
- 4 Alle informatie wordt vaak als even betrouwbaar behandeld, wat zeker niet altijd terecht is;
- 5 Er wordt vaak naar een klein aantal kenmerken gekeken en vervolgens worden dan vaak maar twee tot vier mogelijke uitkomsten in aanmerking genomen, die gerangschikt zijn op basis van dat kleine aantal kenmerken;
- 6 Mensen zoeken vaak informatie die de genomen beslissing bevestigt en ontwijken vaak informatie die de keuze zou ontcrachten.

Deze 'onzuiverheden' verklaren voor een deel waarom mensen niet altijd de beste beslissing nemen, op basis van de beschikbare informatie. Een arts die een diagnose moet stellen of een consument die een tandenborstel gaat kopen hebben beide te maken met de beperkingen van de capaciteit om informatie te verwerken en te evalueren om zo tot een optimale beslissing te komen. Inzicht hierin bij de ontwerper van informatie kan leiden tot een betere presentatie en voorbereiding van informatie, waarmee de kwaliteit van de beslissingen verhoogd wordt. De hulp van een computer kan ingeroepen worden om de verschillende mogelijkheden in een bepaalde situatie te aggregeren, voor het bijhouden van verschillende hypothesen, alternatieven, of uitkomsten van sequentiële tests op een bepaald moment; of om de beste informatie te selecteren om een specifieke hypothese te testen. Het terrein van computerondersteund beslissen heeft zich sterk uitgebreid en zal zich uit blijven breiden, mede dankzij het voortschrijdend inzicht in de mogelijkheden en beperkingen van de menselijke beslisser.

12.4 Aandacht

Aandacht of attentie kan op de een of andere manier gericht worden op of geschonken worden aan voorwerpen of activiteiten. Van de andere kant zullen zaken die onze aandacht niet krijgen niet erg bewust waargenomen worden (of althans niet herinnerd worden). Er zijn vier typen van situaties of taken te onderscheiden:

- 1 Controleren van verschillende informatiebronnen om vast te stellen of een bepaalde situatie is opgetreden. Een piloot die de instrumenten in de cockpit in de gaten houdt is hiervan een voorbeeld. In de cognitieve psychologie wordt dit selectieve attentie genoemd;
- 2 Het in de gaten houden van één bron van informatie, waarbij de eventuele andere bronnen genegeerd moeten worden (gerichte attentie). Hierbij kan gedacht worden aan het lezen van een boek terwijl de radio aanstaat of er iemand in dezelfde ruimte aan het telefoneren is.
- 3 Het simultaan uitvoeren van twee of meer taken. Dit noemt men gedeelde aandacht. Een voorbeeld is het afstemmen van de autoradio tijdens het rijden;
- 4 Gedurende langere tijd iets in de gaten moeten houden, om te kunnen reageren als er een bepaald infrequent en onvoorspelbaar optredend en dikwijls zwak signaal verschijnt. Dit wordt vigilantie genoemd. Bijvoorbeeld het kijken naar een monitor door het bewakingspersoneel in een gevangenis (zie ook §19.4 in ide130).

Deze typen aandacht zullen apart besproken worden, waarbij ook enkele richtlijnen gegeven zullen worden.

12.4.1 Selectieve aandacht

Hierbij moet dus voor het vervullen van een taak, aandacht geschonken worden aan meerdere informatiebronnen. Stel iemand moet een display in de gaten houden waarop 25 signalen per minuut kunnen verschijnen. Er kan dan ook voor gekozen worden om de signalen te verdelen over vijf displays waarop dan 5 signalen per minuut kunnen verschijnen. De vraag is nu welke situatie beter is. De eerste. Ook al blijft de hoeveelheid informatie gelijk, bij een toenemend aantal informatiebronnen dat in de gaten gehouden moet worden, daalt de prestatie. Dit wordt 'load stress' genoemd (Conrad, 1951). Daarnaast spreekt hij ook over 'speed stress', wat te maken heeft met de snelheid waarmee de signalen gepresenteerd worden. Load stress is een belangrijkere oorzaak voor slechte prestaties dan speed stress.

Een neiging van mensen die meerdere informatiebronnen tegelijk in de gaten moeten houden is om met name die bronnen te kiezen waarop de informatie frequent verschijnt in plaats van de bronnen waarop deze infrequent verschijnt. In verband met de beperkte geheugencapaciteit vergeten mensen nogal eens een bron opnieuw 'af te lezen' als er veel bronnen aanwezig zijn. Het komt ook vaak voor dat iemand een bron relatief vaak 'afleest' als de oude waarde van die bron nog herinnerd wordt. In geval van stress worden minder bronnen geraadpleegd en de bronnen die geraadpleegd worden, worden als de meest belangrijke beschouwd.

Enkele richtlijnen voor selectieve-aandacht-taken zijn:

- 1 Als meerdere informatiebronnen geraadpleegd moeten worden, gebruik dan zo weinig mogelijk bronnen, zelfs als dat het verhogen van de frequentie van aanbieden betekent;
- 2 Bied de informatie aan in volgorde van relevantie voor de gebruiker, zodat de aandacht beter verdeeld kan worden;
- 3 Verlaag het algemene stressniveau van de gebruiker, zodat meer bronnen geraadpleegd zullen worden;
- 4 Bied de gebruiker informatie aan waaruit afgeleid kan worden waar de signalen gepresenteerd zullen worden;
- 5 Zorg dat de gebruiker geoefend raakt in het efficiënt scannen van alle informatie en steun hem daarbij door het ontwikkelen van efficiënte scanpatronen;
- 6 Als meerdere visuele bronnen gebruikt worden, plaats deze dan dicht bij elkaar zodat het scannen makkelijker wordt;
- 7 Als meerdere auditieve bronnen gebruikt worden, zorg er dan voor dat zij elkaar niet maskeren.

12.4.2 Gerichte aandacht

Het probleem met gerichte aandacht is het op één of enkele bronnen gericht houden van de aandacht en niet afgeleid worden door andere bronnen. Deze gerichte aandacht komt vooral veel voor en is duidelijk herkenbaar bij auditieve zaken. Te denken valt aan het luisteren naar één boodschap uit meerdere mededelingen tegelijk, zoals bij het voeren van een gesprek terwijl de TV hard aanstaat met daarop een praatprogramma of iemand die in een druk pratende groep aan een tafel een gesprek voert met één ander. In het algemeen kunnen mensen dat goed, vanwege richtingseffecten, stemherkenning en de context van de boodschap. Lastig wordt het als een aantal van deze aanwijzingen ontbreekt. Een bekend voorbeeld is het notuleren achteraf, uit de bandopname van een vergadering met veel actieve deelnemers. Dit blijkt vrijwel ondoenlijk als men de vergadering niet zelf bijgewoond heeft. Interessant is ook dat men zich vaak wel een deel van de woorden herinnert van de andere zegslieden in een bespreking, waar men eigenlijk niet naar luisterde. De inhoud, de

betekenis van hun betoog kreeg men niet mee, maar de woorden wel. Dit betekent dus dat een deel van de keuze van wat wel en wat niet tot de bewuste mededeling hoort pas gemaakt wordt laat in het proces van informatie verwerken. Overigens is gerichte aandacht evenzeer van belang voor visuele taken.

De fysieke nabijheid van de bron is ook van invloed op het vermogen om de aandacht ergens op te richten. Zo is het moeilijk om op één van twee visuele signalen te focuseren als deze binnen een visuele hoek van één graad van elkaar gepresenteerd worden.

Enkele richtlijnen zijn:

- 1 Maak de bron waarop de aandacht gevestigd moet worden zo verschillend mogelijk van de concurrerende bronnen;
- 2 Scheid de bron waarop de aandacht gevestigd moet worden van de concurrerende bronnen fysiek;
- 3 Reduceer het aantal bronnen;
- 4 Maak de bron waar het om gaat groter, helderder, luider of meer centraal gelegen dan de concurrerende bronnen.

12.4.3 Gedeelde aandacht

Als iemand meer dan één taak tegelijk moet verrichten, zal de prestatie voor minstens één van de taken verslechteren. Dit wordt ook wel time-sharing genoemd. De capaciteit om informatie te verwerken kan overschreden worden. Hiervoor zijn meerdere theorieën ontwikkeld. Hier worden twee typen beschreven.

- Eén-hulpbron theorie voor gedeelde aandacht (Single-resource theories of divided attention)

Hierbij wordt verondersteld dat voor het uitvoeren van meerdere taken tegelijk te weinig hulpbronnen aanwezig zijn om alle taken te kunnen verrichten. Hiermee kan verklaard worden dat de prestaties minder worden, bij toenemende complexiteit van de taak. Deze theorie geeft geen antwoord op vragen als waarom sommige taken een negatief effect hebben op de prestatie van een andere taak en niet omgekeerd.

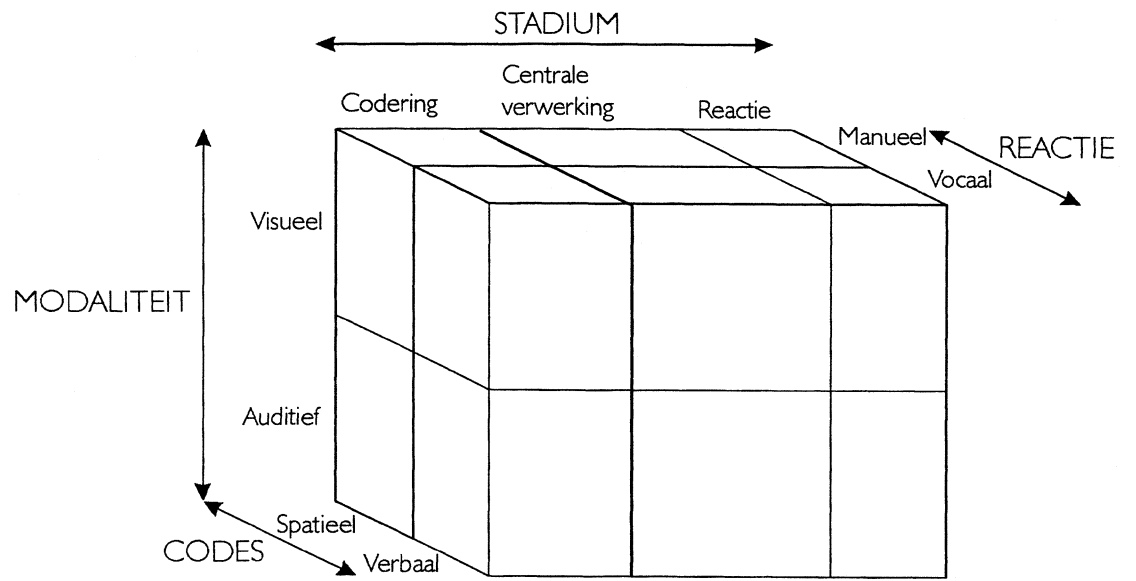
- Meer-hulpbronnen theorie voor gedeelde aandacht (Multiple-resource theories of divided attention)

Wickens postuleert de aanwezigheid van multiple resources die elk voor zich gespecialiseerd zijn in het faciliteren van bepaalde cognitieve of motorische activiteiten. Zoals in figuur 12.3 is weergegeven onderscheidt Wickens vier dimensies (resource pools) in de verdeling van resources: modaliteit of inputkarakteristiek (visueel versus auditief), de waarnemings- of verwerkingscode (verbaal of spatieel in beelden), stadia van informatieverwerking (codering, centrale verwerking en reactie) en als laatste de manier waarop gereageerd wordt (manueel versus vocaal).

Taken zullen niet of in mindere mate met elkaar interfereren wanneer zij een beroep doen op verschillende resources. Mensen kunnen verschillende taken tegelijk uitvoeren wanneer de taken in beperkte mate beslag leggen op de verschillende beschikbare resources en/of wanneer ze een beroep doen op verschillende resources. Het telefoneren tijdens het autorijden is een goed voorbeeld van een combinatie van taken, waarbij verschillende input-modaliteiten (visueel voor het rijden en vocaal voor het bellen) of output-modaliteiten (manueel voor het rijden en vocaal voor het bellen) een rol spelen. De coderingen voor het verwerken van de informatie van de beide taken is voor het overgrote deel gescheiden. Autorijden vraagt om spatiële codering en telefoneren vraagt om verbale codering. Maar op het moment dat de bestuurder een bord moet lezen, moet ook voor deze taak een verbale codering plaatsvinden en zal

het besturen van de auto dus wedijveren met het telefoneren als het gaat om de aandacht van de bestuurder.

Zowel voor het telefoneren als voor het autorijden zijn centrale geheugenprocessen nodig. In die zin zijn de taken competitief. Maar voor een groot deel worden deze taken niet zo bewust uitgevoerd omdat door ervaring het uitvoeren deels automatisch verloopt (zie ook hoofdstuk 13). Daardoor kunnen dergelijke taken toch zonder veel problemen tegelijk uitgevoerd worden.



Figuur 12.3 Vier dimensies in de verdeling van resources (Wickens, 1984).

Het is belangrijk op te merken dat de hier genoemde theorieën slechts een klein deel vormen van alle theorieën over dit onderwerp en dat deze verschillende theorieën niet met elkaar in overeenstemming zijn. Bij het hanteren van deze theorieën moet daarom de nodige voorzichtigheid in acht genomen worden.

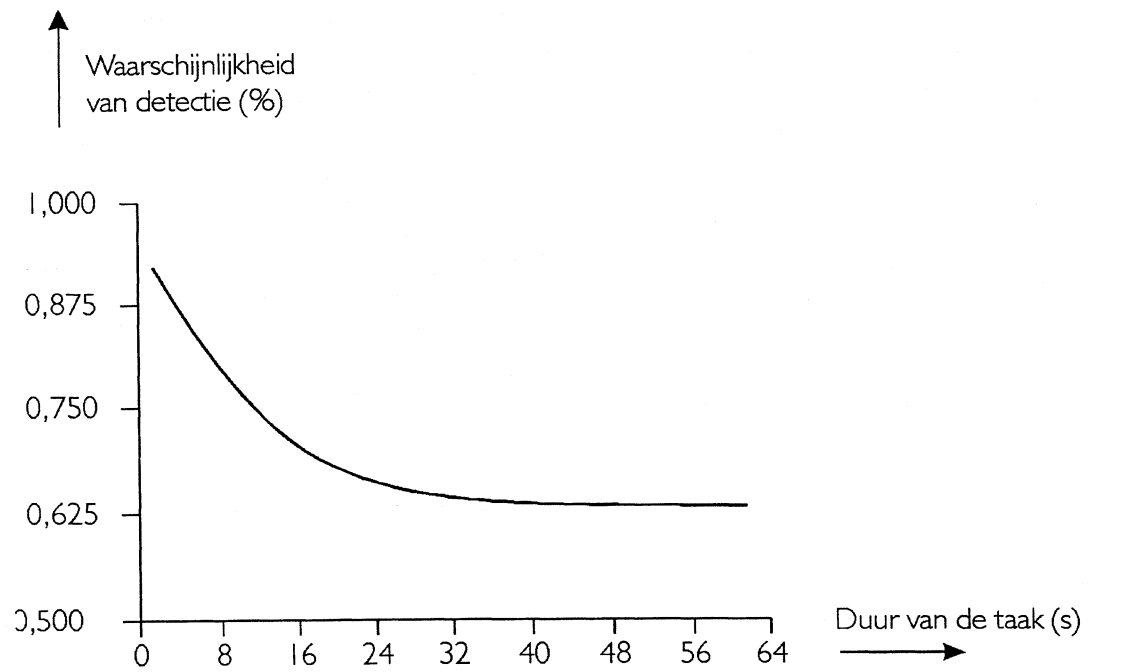
Richtlijnen voor taken met gedeelde aandacht:

- 1 Het aantal informatiebronnen moet zoveel mogelijk beperkt worden;
- 2 Als time-sharing de stress van de gebruiker kan verhogen, moet deze voorzien worden van informatie over de relatieve prioriteit van de verschillende taken;
- 3 De complexiteit van de taken moet zo klein mogelijk zijn;
- 4 De taken moeten zoveel mogelijk van elkaar verschillen voor wat betreft verwerkingsstadia, input- en outputmodaliteiten en geheugencodes;
- 5 In het bijzonder bij manuele taken die tegelijk uitgevoerd moeten worden met sensorische of met geheugen taken geldt dat hoe beter de manuele taak geleerd is, des te minder invloed deze heeft op de uitvoering van de andere taken.

12.4.4 Vigilantie

Het gaat bij dit soort taken om het langdurig richten van de aandacht op een bepaald object of een bepaalde situatie. Dit soort taken komt men veel tegen in bijvoorbeeld een regelkamer (zie hoofdstuk 20) waar een operator meerdere displays in de gaten moet houden om te controleren of er ergens een signaal aangeboden wordt dat duidt op een ongewenste of kritieke situatie en waarop (direct) gereageerd moet worden. Een cruciaal verschijnsel is de 'vigilance decrement' of vigilantie-afname; het

verminderen van de kans waarmee een signaal gedetecteerd wordt en de nauwkeurigheid van de waarneming, naarmate de taak langer duurt. Uit laboratoriumexperimenten blijkt telkens weer dat deze afname optreedt na de eerste 20 tot 35 minuten. Het verloop van de afname van de aandacht wordt geïllustreerd in figuur 12.4. De vigilantie wordt onderzocht aan de hand van de waarschijnlijkheid dat een signaal gedetecteerd wordt, uitgezet tegen de tijd die een taak al duurt.



Figuur 12.4 Afname van de aandacht bij voortdurende taak.

Dat de resultaten van de laboratoriumexperimenten vaak niet indicatief zijn voor de praktijk kan verklaard worden doordat er verschillen zijn in de aard van de signalen, de aard van de taak en de training, de omgevingsinvloeden en de ervaring en motivatie van de proefpersoon c.q. de gebruiker.

Richtlijnen voor het ontwerpen van vigilantietaken:

- 1 Voorzie in goede rust- en werktijdschema's en in variatie in de taken;
- 2 Vergroot de opvallendheid van het signaal. Maak het groter, intenser, langduriger en beter onderscheidbaar van andere signalen;
- 3 Verklein de onzekerheid over de plaats waar het signaal gepresenteerd zal worden;
- 4 Geef operators voldoende terugkoppeling over hun prestatie;
- 5 Zorg voor voldoende training om de aard van de te verwachten signalen goed te leren kennen;
- 6 Verhoog de motivatie van de operators door het belang van de taak te benadrukken.

12.5 Leeftijd en informatieverwerking

Met het stijgen van de stand der medische techniek zal waarschijnlijk ook de levensverwachting van de mens blijven stijgen. Ondanks het gezegde 'oud en wijs' is er toch enig bewijs van het minder worden van de informatieverwerkende capaciteiten van de ouder wordende mens. Natuurlijk zijn er grote inter-individuele verschillen in het proces van ouder worden en dus kan niet gezegd worden bij welke leeftijd dit een

rol van betekenis gaat spelen.

Volgens Welford (1976) vinden de volgende veranderingen plaats in de informatieverwerkende capaciteit, met het ouder worden:

- 1 Het langzamer worden van het presteren.
In het algemeen geldt dat oudere mensen meer tijd nodig hebben om informatie uit het lange-termijngeheugen op te halen, om uit verschillende alternatieven voor een actie te kiezen en om deze acties uit te voeren. Dit komt natuurlijk met name tot uiting in taken waarbij tussen opeenvolgende acties relatief weinig tijd mag zitten.
- 2 Toenemende verstoring van het werkgeheugen door wisseling van aandacht gedurende de tijd dat informatie daar opgeslagen is.
- 3 Moeilijkheden met het terugvinden van informatie in het lange-termijngeheugen. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de toenemende moeite met het overbrengen van informatie van het werkgeheugen naar het lange-termijngeheugen en omgekeerd. Ouderen hebben meer oefening nodig om iets te leren; maar als het eenmaal geleerd is, wordt het herinneren weinig slechter dan bij jongere mensen.
- 4 Moeilijkheden met incompatibiliteiten, met name conceptuele, spatiële en bewegingsincompatibiliteiten.
- 5 Achteruitgang van de perceptuele codering van niet-eenduidige signalen. Ouderen hebben toenemende moeite met het identificeren van niet complete representaties of met het verwerken van complexe of verwarrende signalen.

Welford interpreteert deze effecten met behulp van de signaal-detectietheorie door te stellen dat de gevoeligheid d' kleiner wordt in verband met het zwakker worden van de signalen die van de zintuigen afkomen en de toenemende willekeurige neurale activiteit (interne ruis).

Richtlijnen voor het ontwerpen van informatieverwerkingstaken voor ouderen zijn:

- 1 Versterk de signalen die aan ouderen aangeboden worden;
- 2 Ontwerp displays en bedieningsmiddelen zo dat er geen niet-relevante componenten aanwezig zijn die als ruis kunnen optreden;
- 3 Zorg voor een hoog niveau van conceptuele, spatiële en bewegingscompatibiliteit;
- 4 Beperk de noodzaak voor time-sharing (gelijktijdig uitvoeren van taken);
- 5 Zorg voor voldoende tijd tussen de reactie op een signaal en het aanbieden van een volgend signaal. Als dat mogelijk is moet de persoon zelf de plaats waar het signaal zal komen kunnen kiezen;
- 6 Sta meer tijd en oefening toe voor het voor de eerste keer leren van de taak.

12.6 Mentale belasting

(Deze paragraaf is een vervolg op hoofdstuk 19 van 'Inleiding tot de Produkt en Systeemergonomie'.)

In het dagelijks leven wordt men geconfronteerd met taken die de hersenen lijken te belasten. Er zijn echter ook taken die niet veel van de hersenen lijken te vragen, zoals het opmaken van een balans (tenminste voor sommigen is dit zo). Dit leidt tot het idee dat mentale belasting meetbaar is als een soort belasting van de informatieverwerking van een persoon als gevolg van een taak.

Vanaf de tweede helft van de zeventiger jaren is de belangstelling voor het vinden van een bruikbare eenheid van mentale belasting sterk toegenomen. Voor een groot deel is dit gedaan voor het schatten van de mentale belasting die ervaren wordt door vliegtuigpersoneel, in het bijzonder door piloten. Ook Wickens (1984) geeft dit aan; de Federal Aviation Administration verlangt certificering van vliegverkeerprocedures in termen van meetbare mentale belasting en de Air Force hanteert richtlijnen betreffende mentale belasting voor nieuw te ontwerpen systemen.

Als er een betrouwbare en hanteerbare methode voor het meten van mentale belasting beschikbaar zou zijn, dan zou die goed kunnen worden gebruikt voor doeleinden als:

- 1 Het verdelen van functies en taken tussen mens en machine gebaseerd op de voorspelde mentale belasting;
- 2 Het vergelijken van verschillende uitvoeringen van taakontwerpen in termen van de mate waarin deze de gebruiker blootstellen aan mentale belasting;
- 3 Operators taken en functies toewijzen c.q. deze functies en taken aanpassen zodat de gevolgen voor de mentale belasting beperkt worden;
- 4 Het kiezen van operators die een hogere mentale belasting kunnen verdragen voor taken die dit vereisen.

12.6.1 Voorstellingen van mentale belasting

De wijze waarop mentale belasting voorgesteld wordt, is een logische uitbreiding van de modellen die uitgaan van verdeling van aandacht zoals hiervoor geschetst. Deze modellen gaan er van uit dat de mens beperkte hulpbronnen tot zijn beschikking heeft om een taak uit te voeren, en dat men om deze taak uit te voeren hiervan dus enkele of alle mogelijkheden moet aanwenden.

Hoewel er geen algemeen geaccepteerde definitie van mentale belasting is (McCloy, Derrick, en Wickens, 1993), is de basisgedachte dat er een verschil bestaat tussen de mentale capaciteit die een gebruiker tot zijn beschikking heeft en die welke de taak vereist. Dit betekent dat de mentale belasting veranderd kan worden door het wijzigen van ofwel de beschikbare capaciteit van een gebruiker (bijvoorbeeld door iemand 24 uur wakker te houden) ofwel de eisen die de taak aan een gebruiker stelt (bijvoorbeeld een toename van het aantal informatiekanaalen). Deze voorstelling van mentale belasting is vergelijkbaar met die van fysieke belasting (zie ook dictaat ide 130, hoofdstuk 9).

12.6.2 Het meten van mentale belasting

Het merendeel van het onderzoek naar mentale belasting is gericht geweest op het verfijnen en ontwikkelen van een nieuwe maatstaf voor mentale belasting. Een bruikbare maat van mentale belasting behoort aan de volgende criteria te voldoen:

1. *Gevoeligheid*: De maat zou een goed onderscheid moeten maken tussen taken die intuïtief sterk verschillen in niveau van mentale belasting;
2. *Selectiviteit*: In de maat zouden geen zaken mogen worden opgenomen die geen deel uitmaken van mentale belasting zoals fysieke- of emotionele belasting;
3. *Interferentie*: Er mag geen beïnvloeding zijn van de mentale belasting horende bij de primaire taak door het meten hiervan;
4. *Betrouwbaarheid*: De meting zou betrouwbaar en reproduceerbaar moeten zijn (test-hertest betrouwbaarheid);
5. *Aanvaardbaarheid*: De meettechniek moet aanvaardbaar zijn voor de personen wier mentale belasting gemeten wordt.

De maten voor mentale belasting kunnen in vier categorieën worden ingedeeld: meting van de primaire taak, meting van de secundaire taak, fysiologische meting en subjectieve meting. Hierna worden van elke categorie enkele voorbeelden gegeven.

Meting van de primaire taak

In eerste instantie werd een taak-analytische benadering gevolgd waarbij werkbelasting gedefinieerd werd als de tijd die nodig is voor de taak gedeeld door de tijd die beschikbaar is voor de taak. Er zijn verschillende computermodellen ontwikkeld om

deze minuut voor minuut te berekenen voor een serie taken (een voorbeeld is het 'statistical workload assessment model' (SWAM) (Linton, 1975)). Het probleem van deze benadering is dat er normaliter geen rekening mee wordt gehouden dat sommige taken simultaan kunnen worden uitgevoerd en andere niet, noch dat cognitieve belasting soms niet tot uitdrukking komt in een toename van de benodigde tijd voor het voltooien van de taak.

De taakvervulling zelf lijkt een voor de hand liggende keuze in de maat van mentale belasting. Als twee uitvoeringen van één taak echter met elkaar vergeleken worden, die beide niet meer aandacht vragen dan beschikbaar is, met eventueel dezelfde prestatie, dan nog zou een van de taken meer belastend kunnen zijn dan de ander. Om dit probleem te omzeilen kan er een 'primaire taak belastingsmarge' worden geschat voor verschillende wijzen van uitvoeren van een taak (Wickens, 1984).

Uitgangspunt van deze techniek is het veranderen van één parameter van de taak waarvan bekend is dat deze invloed heeft op de benodigde mentale capaciteit, totdat de vervulling van de taak niet langer kan worden volgehouden op een vooraf bepaald referentieniveau. De mate van verandering van deze parameter is dan een maat voor de primaire taakbelastingsmarge. Het vervullen van een moeilijke taak zou eerder belemmerd worden door een kleine verandering van de capaciteit dan een eenvoudige taak.

Probleem bij het meten van de mentale belasting van een primaire taak is dat deze taakspecifiek is. Het vergelijken van mentale belasting van verschillende soorten taken is moeilijk, zo niet onmogelijk.

Meting van de secundaire taak

Bij het meten van de secundaire taak gaat het er om dat bij de primaire taak ongebruikte capaciteit, gebruikt wordt voor de secundaire taak. Hoe meer aandacht voor de primaire taak nodig is, des te minder aandacht zal beschikbaar zijn voor de secundaire taak.

Bij het gebruik van deze methode wordt een proefpersoon meestal geïnstrueerd een bepaald niveau van de vervulling van de primaire taak vol te houden, zodat verschillen in mentale belasting tot uitdrukking komen in verschillen in prestaties op/vervulling van de secundaire taak. Soms wordt het omgedraaid; de proefpersoon wordt geïnstrueerd alle aandacht die nodig is voor het vervullen van de secundaire taak op te brengen waarbij de prestatie in de vervulling van de primaire taak wordt beschouwd als een maat voor de moeilijkheidsgraad hiervan. Dit wordt de 'loading task technique' genoemd (Ogden, Levine, and Eisner, 1979). Hoe meer aandacht de primaire taak vraagt, des te minder is beschikbaar voor een 'loading' (of 'extra') (secundaire) taak.

Subjectieve meting

Sommige onderzoekers beweren dat subjectief ervaren mentale belasting de essentie het best benadert (Sheridan, 1980). Wellicht de oudste en meest betrouwbare subjectieve meting van mentale belasting (hoewel eigenlijk ontwikkeld om het vlieggedrag van vliegtuigen vast te stellen) is de Cooper-Harper Scale (Cooper en Harper, 1969). Wierwille en Casali (1983) stellen, dat de schaal voor een grote range van motorische taken kan worden gebruikt door enkel andere bewoordingen te gebruiken. Daarnaast geven Wierwille en Casali een aangepaste Cooper-Harper Scale die gebruikt kan worden voor perceptuele, cognitieve en communicatieve taken. In hun schaal worden een beslisboom en een uni-dimensionele schaal gecombineerd. De ordinale schaal gaat van (1) zeer gemakkelijk, zeer gewenst (de mentale inspanning van de operator is minimaal en de gewenste vervulling is eenvoudig te realiseren), via (5)

een aanzienlijke mentale inspanning wordt verlangd om een adequate vervulling te realiseren; tot (10) onmogelijk (de geïnstrueerde taak kan niet betrouwbaar worden uitgevoerd).

Discussie over het meten van mentale belasting

Ondanks het vele onderzoek is er nog geen algemeen aanvaarde maat voor mentale belasting. Moray (1988) geeft de huidige stand van zaken weer:

'Op het gebied van subjectieve meting is de meeste progressie geboekt. De gedragsmetingen, in het bijzonder dubbele taak metingen lopen uiteen en zijn zeer arbitrair. Er is enige voortgang in fysiologische meting gemaakt, echter van weinig praktische aard. Theorieën blijven onderontwikkeld. Een belangrijk probleem is het gebrek aan validiteit, en het gebrek aan een consistente correlatie tussen schattingen gebaseerd op verschillende benaderingen.'

Het is veilig te stellen dat er waarschijnlijk diverse metingen nodig zijn om mentale belasting te meten, hetgeen benadrukt dat het een multi-dimensioneel begrip is. In sommige gevallen waarin meervoudige metingen van mentale belasting met elkaar vergeleken zijn, geven de metingen verschillende resultaten.

Het vinden van een gestandaardiseerde meting van mentale belasting hangt in sterke mate af van het ontwikkelen en verfijnen van onze theorieën van de menselijke informatieverwerking.

12.7 Ergonomie in de informatierevolutie

Eén van de meest verrassende ontwikkelingen in de informatierevolutie is waarschijnlijk de artificiële intelligentie (AI). Hier zal niet worden gefilosofeerd over de vraag of computers ooit in staat zullen zijn om te denken. Feit is wel dat door de ontwikkeling in de computertechnologie en programmeertalen computers kwaliteiten hebben gekregen die eerst slechts voorbehouden leken aan de mens. Er dient een herbezinning te komen op de traditionele verdeling van functies tussen mens en machine.

De nieuwe toepassingen brengen nieuwe en andere ergonomische problemen met zich mee. Hierna wordt kort ingegaan op expert systemen en 'natuurlijke taal interfaces' en bij elk worden verschillende ergonomische probleemgebieden aangegeven.

12.7.1 Expert systemen

Een 'expert systeem' is een manier om de kennis en expertise van een deskundige vast te leggen en om te zetten in een computerprogramma dat het oplossen van problemen en het nemen van beslissingen van een expert kan overnemen (Hamill, 1984).

Expertsystemen zijn met succes ontwikkeld voor zeer specifieke, nauw omschreven probleemgebieden, zoals het in kaart brengen en behandelen van besmettelijke bloedziekten, het afleiden van structuren van onbekende chemische samenstelling, het oplossen van problemen met motoren van locomotieven, enzovoort.

Bijvoorbeeld Kidd (1983) behandelt enkele ergonomische aspecten van expert systemen. Ergonomen kunnen bijdragen aan de methoden die worden gebruikt om de kennis bijeen te halen en de beslisregels af te leiden van experts (Mitta, 1989).

Ergonomen besteden ook aandacht aan de interface tussen systeem en gebruiker.

Expert systemen behoren niet alleen over te dragen wat het systeem aan het doen is, maar ook waarom. De gebruiker zou hierdoor vertrouwen in het systeem moeten

krijgen en moeten kunnen ingrijpen in het probleemoplossingsproces om een verkeerde beslissingenreeks bij te sturen (deze systemen zijn niet perfect en zullen dat waarschijnlijk nooit zijn ook). Cognitief ergonomen zouden meer inzicht moeten kunnen geven in de manier waarop de mens problemen oplost. Dit kan ontwerpers van toekomstige expertsystemen hulp bieden.

12.7.2 Natuurlijke taal interfaces

Bij een natuurlijke taal interface kan de gebruiker van een interactief systeem spreken of schrijven in 'duidelijk Engels' (of Japans, Nederlands???, enz.) en 'verstaat' de machine dit. (Eigenlijk gelooft niemand dat de machine verstaat wat gezegd wordt, maar dat deze in feite slechts handelt alsof dat zo is.) Natuurlijke taal is zeer complex en meerduidig; zaken die wij heel gewoon vinden moeten zeer zorgvuldig worden 'uitgelegd' aan de computer. Neem de vraag 'Wie van onze Kamerleden woont in Zwammerdam?'. De computer moet uitvinden dat kamerleden, in deze vraag, betrekking heeft op de Tweede Kamer.

Tegenwoordig zijn natuurlijke taal interfaces ontwikkeld voor zeer specifieke, zeer duidelijk afgebakende terreinen, zoals het verkrijgen van gegevens uit een specifieke database.

Ergonomen hebben onderzocht wanneer en waar natuurlijke taal interfaces waarschijnlijk efficiënter zijn dan andere typen interfaces (Small en Weldon, 1977). Ergonomen hebben ook bepaald in hoeverre de structuur van natuurlijke taal veranderd kan worden zonder dat de betekenis voor de gebruiker verdwijnt.

12.8 Discussie

Het begrip artificiële intelligentie en zijn toepassingen in expertsystemen en natuurlijke taal interfaces zijn amper uitgewerkt. Met het ontstaan van dit gebied komen nieuwe problemen en mogelijkheden voor het integreren van mensen en machines in produktieve, efficiënte en veilige totaalsystemen op. De kennis van mogelijkheden en beperkingen van de menselijke informatieverwerking wordt steeds belangrijker bij het ontwerp van toekomstige systemen. Sommigen denken dat de betrokkenheid van mensen met systemen steeds kleiner wordt als computers meer het verwerken van informatie en het oplossen van problemen overnemen. De rol die gebruikers spelen in toekomstige systemen zal ongetwijfeld veranderen, maar bij een goed ontwerp kunnen mensen juist zeer betrokken zijn bij deze systemen en taken kunnen verrichten die met de huidige technologie nog niet mogelijk zijn.

Begrippen

Perceptie

Modellen van informatie verwerken

lange termijn geheugen

signaal-detectie theorie

Het geheugen

zintuiglijk kort geheugen

olfactorisch geheugen

iconisch geheugen

werkgeheugen

Aandacht

single resource theorieën

multiple resource theorieën

vigilantie

Mentale belasting

interferentie

ratioschalen

Cooper-Harper Scale

Expert systemen

cognitie

artificiële intelligentie

Literatuur

- Conrad, R., 1951.
Speed and load stress in sensory-motor skill, *British Journal of Industrial Medicine*, 8, 1-7.
- Cooper, G. and Harper, R., 1969.
The use of pilot ratings in the evaluation of aircraft handling qualities, NASA Ames Techn. Rept. (NASA TN-D-5153), Moffett Field, CA: NASA Ames Research Centre.
- Goldstein, I., and Dorfman, P., 1978.
Speed stress and load stress as determinants of performance in a time-sharing task, *Human Factors*, 20, 603-610.
- Gould, J., Lewis, C. and Becker, C., 1976.
Writing and following procedural, descriptive and restrictive syntax language instructions, IBM Research Rept. RC-5943, Yorktown Heights, NY: IBM Corp., Watson Research Centre.
- Hamill, B., 1983.
Psychological issues in the design of expert systems. Proceedings of the Human Factors Society 28th Annual Meeting, Santa Monica, CA: Human Factors Society, p 73-77.
- Kidd, A., 1983.
Human Factors in expert systems, In K.Coombes (ed.) Proceedings of the Ergonomics Society Conference, London: Taylor & Francis.
- Linton, P., 1975.
VFA-STOL crew loading analysis (NADC-57209-40), Warminster, PA: U.S. Naval Air Development Centre.
- Long, G., and Waag, W., 1981.
Limitations on the practical applicability of d' and β measures, *Human Factors*, 23(3), 285-290.
- McCloy, T., Derrick, W. and Wickens, C., 1983.
Workload assessment metrics, in Second Aerospace Behavioral Engineering Technology Conference Proceedings, Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, p 37-42.
- Miller, G., 1956.
The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information, *Psychological Review*, 63, 81-97.
- Moray, N., 1988.
Mental workload since 1979. *International Reviews of Ergonomics*, 2, 123-150.

- Ogden, G., Levine, J. and Eisner, E., 1979.
Measurement of workload by secondary tasks, *Human Factors*, 21(5), 529-548.
- Sanders, M.S., and McCormick E.J., 1993.
Human factors in engineering and design, New York: McGraw-Hill.
- Schneidermann, B., 1980.
Software psychology, Cambridge, MA: Winthrop.
- Sheridan, T., 1980.
Mental workload: What is it? Why bother with it? *Human Factors Society Bulletin*, 23, 1-2.
- Small, D. and Weldon, L., 1977.
The efficiency of retrieving information from computers using natural and structured query languages (Tech. Rept. SAI-78-655-WA), Arlington, VA: Science Application.
- Swets, J. (ed), 1988.
Signal detection and recognition by human observers, *Contemporary readings*, New York: Wiley.
- Welford, A.T., 1976.
Signal, noise, performance and age, *Human Factors* 23(1), 97-109.
- Wickens, C., 1984.
Engineering psychology and human performance, Columbus, OH: Merrill.
- Wierwille, W. and Casali, J., 1983.
A validated rating scale for global mental workload measurement applications, *Proceedings of the Human Factors Society 27th Annual Meeting*, Santa Monica, CA: Human Factors Society, p 129-133.

13 Cognitieve aspecten van produktgebruik

Samenvatting

Ieder mens wordt in zijn omgeving geconfronteerd met talloze gebruiksvoorwerpen. Deze voorwerpen zijn ooit ontworpen om als verlengstuk, als hulpmiddel voor die mens, te dienen. Maar hoe is iemand in staat om met al die gebruiksvoorwerpen om te gaan zonder al te veel fouten te maken bij de bediening ervan? Dat ligt ten dele opgesloten in de werking van de menselijke geest, in de psychologie van het denken. Maar dat is ook een gevolg van het ontwerp van die produkten zelf. Hoe duidelijk is de informatie die het produkt geeft, met andere woorden hoe bekwaam is de ontwerper geweest om een goed beeld te projecteren van de werking van het voorwerp? Een heel eenvoudig voorbeeld vinden we bij Norman (1988): Een deur stelt slechts twee essentiële vragen: In welke richting beweegt hij en aan welke kant (links/rechts) zal hij opengaan? Het antwoord zou gegeven moeten worden door het ontwerp zelf, zonder enige behoefte van de gebruiker aan 'trial and error'. Desondanks loop je in allerlei openbare gebouwen vaak tegen deuren op, die niet op voorhand prijsgeven naar welke kant ze open gaan. Hoe ingewikkelder het voorwerp of het systeem is, des te groter de behoefte zal zijn aan eenduidigheid van bediening. Waarom dat zo is wordt in belangrijke mate verklaard door de wijze waarop mensen op basis van mentale activiteiten hun handelingen aansturen. Vandaar het belang om binnen de ergonomie aandacht te besteden aan die mentale of cognitieve inspanningen. Op alle niveaus van de mens-produkt interactie spelen cognitieve factoren een rol. Op verschillende plaatsen in dit diktaat wordt aan deze factoren gerefereerd in relatie tot zowel fysieke als sensorische aspecten van de gebruiker die een voorwerp of systeem bedient. Het zou te ver voeren om op al die aspecten in te gaan. Daarom beperken wij ons hier tot een verkenning van de informatieverwerking door het individu voor zover van invloed op produktgebruik. In dit hoofdstuk wordt aandacht besteed aan de verschillende aspecten van het gebruik in relatie tot 'mentale' inspanning.

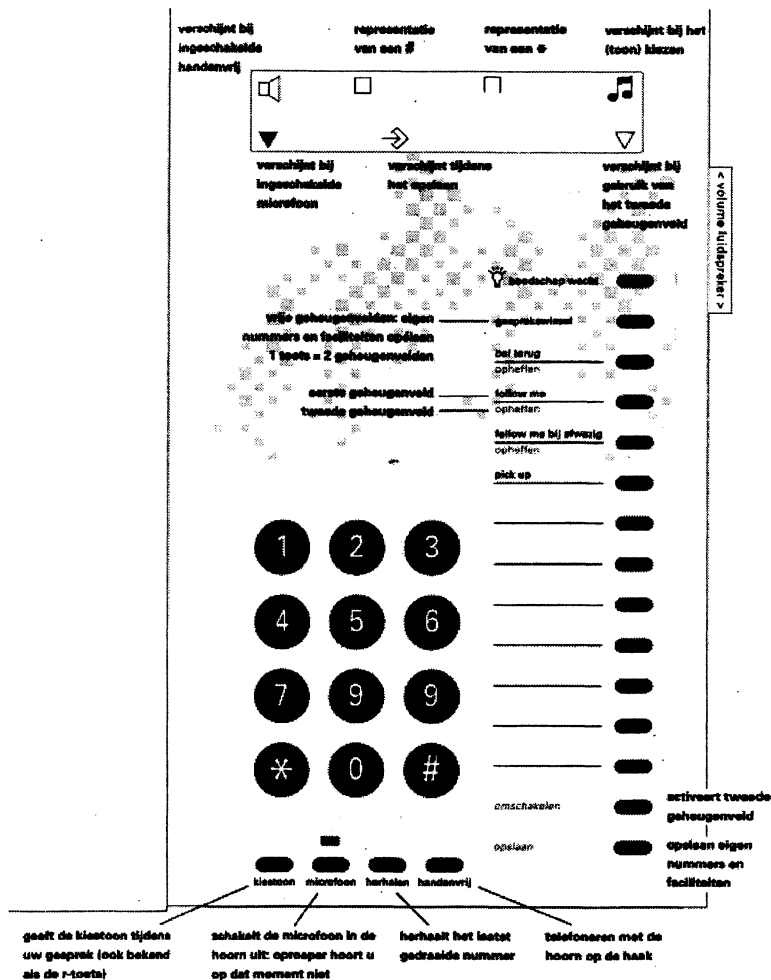
13.1 Het menselijk denken en produktgebruik

Een gebruiksvoorwerp of produkt kan worden gedefinieerd als een functievervuller. Deze functievervulling is een resultante van "het samentreffen in plaats en tijd van produktkenmerken, gebruiksacties en omgevingskenmerken" (meer informatie hierover is te vinden in de hoofdstukken over produktgebruik). In de *gebruiksacties* herkennen we de gebruiker. De waarneming van het voorwerp en de daarop volgende bediening zal bij de gebruiker tot een aantal prikkels leiden. Deze prikkels komen binnen via zintuiglijke waarnemingen om vervolgens een mentale activiteit dan wel rechtstreeks een motorische activiteit op te roepen. Het gebruiksvoorwerp wordt op die manier in werking gezet. Bij voor ons onbekende produkten zal in eerste instantie meer mentale activiteit nodig zijn. Zo ook voor produkten waarvan de bediening ingewikkeld is. Als je maar weinig de video programmeert, zul je daar elke keer weer moeite mee hebben. Meer moeite betekent in dit geval: meer nadenken over de te volgen handelingsprocedure. Uiteraard zal 'eenvoud van bediening' een eerste ontwerp-eis zijn. Toch lukt het vaak niet om aan die eis te voldoen, bijvoorbeeld omdat veel functies in eenzelfde produkt of onderdeel van een produkt verenigd zijn. Neem de computer met zijn diverse software-programma's of de moderne telefoon, zoals in box 1 is beschreven. Bij dergelijke voorwerpen stuurt eenzelfde toets of een combinatie van toetsen soms volledig van elkaar verschillende functies aan. De introductie van electronica in apparatuur heeft weliswaar de mogelijke functies aanzienlijk uitgebreid, maar dit is wel gepaard gegaan met een steeds grotere

Box 1: De complexiteit van een telefoon

Sinds begin 1994 heeft de TU Delft een nieuw soort telefoon geïntroduceerd, het "Standaard TU-toestel". En zoals dat in een 'technische' omgeving betaamt, kent het apparaat tal van gebruiksmogelijkheden. In de 28 pagina's tellende handleiding worden ze opgesomd. We laten een aantal van deze functies de revue passeren:

1. Het gesprek kan met van de hoorn dan wel 'handenvrij' plaatsvinden
 2. Het laatst gekozen nummer kan via de druk op een toets worden herhaald.
 3. Oproepen naar uw toestel doorschakelen naar een ander intern toestel ('follow me') Dit kan met een combinatie van toetsen ook weer ongedaan gemaakt worden.
 4. Hetzelfde als 3, maar nu bij langere afwezigheid ('follow me bij afwezig').
 5. Hetzelfde als 3, maar nu als uw toestel bezet is ('follow me bij bezet')
 6. Een gesprek doorverbinden.
 7. Een tweede gesprek beantwoorden.
 8. Automatisch teruggebeld worden bij bezet/niet beantwoorden ('bel terug').
 9. Ruggespraak per telefoon.
 10. Nummers/faciliteiten opslaan I
 11. Nummers/faciliteiten opslaan II
Conferentie tot stand brengen
- Speciale faciliteiten:
13. Antwoordapparaat ('voice mail'). *Voice mail kent 7 functie-toetsen met bijbehorende functies.
 14. Permanente follow me
 15. Communicatiegroep



Oproepsignalen: kiestoon (laag/hoog), onderbroken kiestoon, vrijtoon, acceptatietoon, bezettoon, fouttoon, gesprek wacht-toon, inbreek-toon, communicatie-toon.

Het bedienen van de telefoon om iemand op te bellen kost nauwelijks mentale inspanning, maar dit wordt anders als u de door u ingesproken boodschap op uw telefoonbeantwoorder wilt veranderen.

De procedure is als volgt: Kies 8080, toets uw toestelnummer en toegangscode in, kies cijfertoets 7 (= 'instelling deelnemer veranderen'), kies cijfertoets 4 (= 'persoonlijke groet veranderen'), kies cijfertoets 2 (= 'opname veranderen'), spreek na de toon en beëindig met *.

bedieningscomplexiteit. Steeds vaker moeten de noodzakelijke bedieningshandelingen eerst geleerd worden alvorens de functie van het apparaat te benutten. En 'leren' betekent mentale inspanning leveren, een inspanning die een persoon niet altijd kan of wil leveren. Want uit de werking van het geheugen is bijvoorbeeld af te leiden, dat de mens geneigd is zijn geheugenruimte zo weinig mogelijk te belasten. Deels kan dit gemakzucht zijn, deels is het een kosten-baten analyse: er is beperkte geheugencapaciteit.

In de grote stroom van informatie zal dus moeten worden geselecteerd wat wel en niet wordt opgeslagen. Derhalve is cognitieve belasting een belangrijke overweging bij het ontwerpen van gebruiksvoorwerpen. Zoals Baecker & Buxton (1987) aangeven, hangt de mate waarin een persoon mentaal belast wordt nauw samen met (a) de tijd die deze persoon nodig heeft om iets te leren, (b) zijn vermoeidheid op dat moment, (c) eventuele stress waarin hij verkeert, (d) zijn 'proneness to error' (de neiging om fouten te maken) en (e) zijn vermogen of onvermogen tot 'timesharing'. *Time-sharing* speelt een rol wanneer twee taken op hetzelfde moment plaats vinden. Bijvoorbeeld in een auto rijden en tegelijk naar de radio luisteren. Dit is mogelijk omdat een deel van onze handelingen zodanig is 'ingesleten', dat er nog maar nauwelijks sturing vanuit onze hersenen nodig is. Dreigt er echter acuut gevaar op de weg, dan zal alle aandacht daarop gericht worden terwijl de chauffeur de radio niet meer zal horen.

Het moge duidelijk zijn, dat de mate waarin deze vijf factoren een rol spelen van persoon tot persoon verschilt en bovendien per persoon nog eens afhankelijk is van de situatie waarin hij verkeert. Dat maakt het voor de ontwerper zo moeilijk om in zijn of haar ontwerp rekening te houden met al deze verschillen tussen personen en omstandigheden. Dus wordt vaak een 'gemiddelde' persoon uitgangspunt genomen en meestal is dat de ontwerper zelf. Pas als het product op de markt komt blijkt maar al te vaak, dat dit uitgangspunt een verkeerde is geweest. Er zijn inmiddels meer gegevens bekend over het denkproces van de gebruiker, die de ontwerper van nut kunnen zijn. Daarvan wordt in dit hoofdstuk een introductie gegeven. Het gaat hierbij voornamelijk om het schetsen van een nauwkeuriger beeld van het denkproces dat bij acties als het bedienen van een voorwerp plaats vindt. Het uitgangspunt blijft dat inzicht in de wijze waarop mentale inspanningen van het individu van invloed zijn op produktgebruik, kan leiden tot produktverbetering.

13.2 De mens als informatie-verwerkend systeem

Er zijn verschillende manieren om naar het individu als 'gegevensverwerker' te kijken. De nadruk kan liggen op de psycho-fysiologische processen bij de zintuiglijke waarneming, zoals dit onder andere in hoofdstuk 12 gebeurt. Een andere ingang is cognitief van aard waarbij gekeken wordt naar de mens als informatieverwerker. In dat geval gaat het om de wijze waarop informatie wordt opgeslagen of onthouden en op de invloed van eerdere ervaringen bij de waarneming en bij het gedrag in relatie tot produktgebruik. In dit hoofdstuk beperken we ons tot de tweede benadering.

In de literatuur over de werking van de menselijke geest wordt vaak de computer als metafoor gebruikt, met de erbij horende termen: input/output, geheugen, opslag en verwerking van informatie. Deze vergelijking gaat natuurlijk niet echt op, maar als model van de werkelijkheid heeft het voordelen. Men gaat ervan uit dat bij het uitvoeren van een taak of het oplossen van een probleem 'operatoren' worden toegepast op een bepaalde 'probleemtoestand'. Neem bijvoorbeeld een rekensom: $2x^2 + 3x + 5 = 0$. Deze som is aan te duiden als een 'probleemtoestand': een beschrijving van de elementen in het probleem, zoals de getallen en onbekende in de som. De tekens $+$, $-$, $:$ en x zijn operatoren. Een 'operator' is elke stap die de probleemplosser denkt 'legaal' te kunnen doen. Zo'n 'operator' kan zowel fysiek als mentaal worden toegepast, d.w.z. je kunt de som 'in je hoofd' oplossen, maar ook op papier. Is een deel van de som opgelost, dan is er sprake

van een nieuwe toestand.

Bij probleem-oplossen kom je bij het zoeken naar voorbeelden al gauw op schoolproblemen zoals bovengenoemde rekensom. Maar termen als probleemtoestand en operatoren zijn natuurlijk ook van toepassing als het gaat om problemen bij het bedienen van een apparaat zoals: hoe programmeer ik de thermostaat van mijn verwarming? Operatoren zijn dan te beschrijven in termen van: "druk knop A in en schuif met C naar punt X, ..." etc.

Het voorbeeld in box 1 van een procedure voor het invoeren van een boodschap in uw telefoonbeantwoorder is te vatten in termen van operatoren ("doe eerst dit..", "dan dat...") en probleemtoestanden. Een dergelijke analyse geeft vaak een helder inzicht in de mate van complexiteit van het gebruik, maar ook in de logica en de begrijpelijkheid van de achtereenvolgende stappen die men moet doorlopen.

Als derhalve het bedienen van nieuwe, nog onbekende producten op te vatten is als het oplossen van een probleem, dan is dit op twee manieren te beschrijven (Mayer, 1992):

1. Als een opeenvolging van mentale processen of operaties die in het geheugen van een persoon op informatie worden uitgevoerd.
2. Als een opeenvolging van interne toestanden of veranderingen in informatie die in de richting van het doel gaat.

Voor het leren omgaan met zo'n onbekend product heb je informatie nodig. Een deel van die informatie is wellicht al aanwezig, in je hoofd; een ander deel is vaak van het product zelf 'af te lezen' of wordt via een 'gebruiksaanwijzing' bijgeleverd.

Is eenmaal ervaring opgedaan met het oplossen van het probleem of, in dit geval, het gebruik/de bediening van een product, dan zal dit meestal leiden tot een automatisch verlopende reeks van handelingen, met een minimale hoeveelheid aan mentale inspanning. Gaat het om een eenvoudige bediening, dan zal daartoe noodzakelijke handelingsproces vermoedelijk wel te onthouden zijn c.q. als een soort procedure worden opgeslagen in ons geheugen. Maar bij een iets ingewikkelder procedure, neem bijvoorbeeld het programmeren van je video-apparaat, bestaat de kans dat deze geheel of gedeeltelijk wordt vergeten, zeker wanneer de handeling sporadisch voorkomt.

Hoe gaat die informatieverwerking en het leren eigenlijk in zijn werk? Daartoe verdiepen we ons in de werking van het geheugen.

13.3 De geheugenstructuur

In hoofdstuk 12 wordt ingegaan op het menselijk geheugensysteem, waarin drie subsystemen worden onderscheiden: het zintuiglijk kort geheugen, het werkgeheugen en het lange-termijngeheugen. Voor een beter begrip van de invloed van cognitieve aspecten op ons handelen is het belangrijk dit deel van hoofdstuk 12 nog eens te bestuderen.

Voorwaarde voor het goed functioneren van ons brein is, dat we snel en efficiënt informatie kunnen ophalen uit ons geheugen teneinde het toe te passen waar nodig. In alledaagse situaties zijn we voortdurend bezig om meer of minder ingewikkelde operaties uit te voeren hetzij mentaal hetzij met behulp van een voorwerp. De tekst, die u nu leest, is met behulp van een tekstverwerker op papier gezet. De typist(e) heeft een zodanige vaardigheid in het typen verkregen dat dit niet al te veel tijd heeft gekost. Hij of zij heeft leren omgaan met die tekstverwerker, d.w.z. de procedures aangeleerd en opgeslagen die nodig zijn om de handelingen uit te voeren. Het zou lastig zijn als telkens opnieuw de standaardprocedures voor de bediening van de tekstverwerker moeten worden aangeleerd.

Is de capaciteit van het lange-termijn geheugen dus niet beperkt, het probleem schuilt in

de organisatie van opgeslagen informatie. Opslag en terughalen van informatie zijn gemakkelijker als het materiaal betekenis heeft, als het past in wat al bekend is (Norman, 1988).

Mensen lijken in hun leren of herinneren niet op machines, d.w.z. ze hebben geen passief computer-geheugen, maar ze gaan actief en selectief om met informatie. Reeds in de theorie van de 'Gestalt' psychologie bestond het idee dat iemands inzicht in een probleem afhankelijk is van de wijze waarop het probleem in diens geheugen is 'gerepresenteerd'. Een van de meest invloedrijke theorieën op dit gebied is afkomstig van Bartlett (1932) in zijn "schema"theorie (zie voor een uitvoerige beschrijving Mayer, 1983). Volgens deze theorie houdt "inzicht" of begrip in: het construeren van een schema en het assimileren van inkomende informatie aan het schema. Een schema bestaat in het geheugen als iets wat je weet van een bepaald onderwerp of thema. Neem het onderwerp stoel: U kent ongetwijfeld verschillende typen stoelen en als toekomstig ontwerper ook nog eens verschillende stijlen per type. Als u daar nu aan denkt zult u die typen moeiteloos uit uw geheugen kunnen ophalen. Vermoedelijk zijn de representaties van die stoelen in uw geheugen 'geclustered'. Dat cluster wordt schema genoemd. Er bestaat een goede kans dat dit begrip in uw geheugen ook nog eens 'geclustered' is onder de algemener noemer 'meubelen'. Maar het kan tevens tot het schema 'huisinterieur' horen, afhankelijk van de situatie waarin het begrip wordt opgeroepen. Een schema is dus te omschrijven als een algemene kennisstructuur die dient voor het selecteren en organiseren van inkomende informatie in een geïntegreerd, zinvol kader, alsmede voor het snel ophalen van informatie uit het geheugen en het vervolgens toepassen. Een van de belangrijkste kenmerken van deze kennisstructuur is, dat mensen op basis van hun kennis een *verwachtingspatroon* ontwikkelen dat sterke invloed heeft op de wijze waarop zij met de omgeving omgaan. Men beoordeelt bijvoorbeeld een ander alleen al op basis van diens uiterlijk ('liefde op het eerste gezicht'). Zo ook zal men op basis van uiterlijke kenmerken van een product verwachtingen hebben omtrent de bedieningswijze. Dat schijn soms bedriegt zullen we later nog zien bij de bediening van blikopeners. Het zal duidelijk zijn dat het voor de ontwerper van wezenlijk belang is om weet te hebben van deze verwachtingspatronen.

Een aardig voorbeeld van het assimileren van inkomende informatie aan een bestaand schema en het daarop baseren van een verwachtingspatroon wordt gegeven in een experiment van Bartlett (in Mayer, 1992) met het doorvertellen en onthouden van een verhaaltje. In een groep kreeg de eerste persoon het verhaaltje te lezen, een volksverhaal uit een onbekende cultuur, waarna deze persoon het moest doorvertellen aan de volgende, etc. De uitkomst hiervan was interessant, niet alleen omdat het verhaal bij het doorvertellen van inhoud veranderde, maar omdat dit op een systematische manier gebeurde. Mayer beschrijft de observaties van Bartlett als volgt:

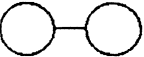

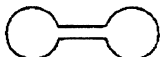






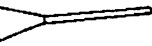
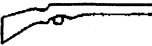

- *Nivellering*. De meeste details in het verhaal, zoals namen en titels, gingen verloren. Bartlett wijdt dat aan het ontbreken van voorkennis en zijn conclusie is: Zonder algemene setting of label in ons geheugen kan informatie niet worden geassimileerd of onthouden.
- *Aanscherpen*. Een paar details worden bewaard en zelfs overdreven.
- *Rationalisatie*. Passages worden meer compact, meer coherent en consistent met de verwachtingen van de persoon. Bartlett beschouwt dit als een poging van de persoon om het verhaal aan te passen aan zijn eigen verwachtingen.

Algemeen gezegd, bij het verwerven van informatie zullen mensen het nieuwe materiaal assimileren aan al bestaande concepten of schema's. Dus veranderen mensen deze informatie om het te laten passen. Bij het terughalen van informatie uit het geheugen

wordt, aldus de theorie, zo'n bestaand schema gebruikt om een beeld te creëren. In een experiment met plaatjes van Carmichael, Hogan en Walter (1932) wordt Bartlett's experiment bevestigd. Zie figuur 1 waarin in de eerste kolom figuren zijn afgebeeld die aan proefpersonen werden voorgelegd. Alvorens dit te doen werd door de proefleider bij bijvoorbeeld de eerste figuur in de ene conditie gezegd, dat deze figuur op een bril lijkt en in de andere conditie op een halter. Als proefpersonen zich later moeten herinneren wat zij hebben gezien, wordt dit duidelijk beïnvloed door de voorkennis.

Andere modernere varianten van het begrip 'schema' zijn *script* (Schank & Abelson, 1977), *plan* (Neisser, 1976) and *frame* (Minsky, 1975). In feite worden echter dezelfde opvattingen over de geheugenstructuur erop na gehouden.

Hoewel schema's dus juist bedoeld zijn om met allerlei nieuwe situaties te kunnen omgaan, worden ze niet altijd op het juiste moment aangeroepen. Mensen blijken sterk vast te zitten aan hun opvattingen en denkpatronen als ze met een probleem worden geconfronteerd. Ze realiseren zich vaak niet, dat een slimme oplossingsprocedure, die ze al voor het ene probleem ontwikkelden, kan worden toegepast op het nieuwe en vergelijkbare probleem. Hier raken we tevens aan het meest essentiële principe van 'leren'. Kennis'transfer' is daarbij het sleutelwoord: je kunt een nieuw probleem oplossen door je een ander probleem, dat je al kunt oplossen, te herinneren, door de relevante informatie van dat probleem te abstraheren en ten slotte door een relatie te leggen tussen die informatie en de oplossing van het nieuwe probleem.

Figure presented to subjects	Figure reproduced by subjects with label list 1	Figure reproduced by subjects with label list 2
1. 	eyeglasses 	dumbbell 
2. 	hourglass 	table 
3. 	seven 	four 
4. 	gun 	broom 

Figuur 1 Effecten van verbale labels op het geheugen voor ambigue figuren: een experiment van Carmichael, Hogan en Walter (1932). (Overgenomen uit Mayer, 1992, pag. 232)

In relatie tot produktgebruik is het van belang om op de hoogte te zijn van genoemde structuren en principes, omdat ook bij het bedienen van produkten voorkennis en verwachtingspatronen een grote rol spelen. Vaak worden nieuwe voorwerpen aangeschaft, die een beetje anders zijn dan de voorwerpen waarmee men al ervaring had. In dat geval zal de gebruiker zich moeten aanpassen en nieuwe schema's vormen. Onderzoek van Loopik c.s. (1994) naar het gebruik van nieuwe stofzuigers laat zien dat de belangrijkste problemen met de bediening zich voordoen op cognitief niveau. Veel functionele aanwijzingen werden verkeerd geïnterpreteerd. Het noodzaakte de proefpersonen vaak om informatie van buiten - waaronder de gebruiksaanwijzing - te raadplegen.

Een ander onderzoek, in dit geval van Gelderblom (in druk), laat ook de invloed van

voorkennis zien. Zie hiervoor box 2. In dit onderzoek naar blikopeners werd in de eerste plaats nagegaan of mensen zich een beeld vormen van een blikopener en zo ja, wat voor beeld. De tweede vraag was of dit mentale beeld een rol speelt bij het hanteren van blikopeners met een onbekend technisch principe.

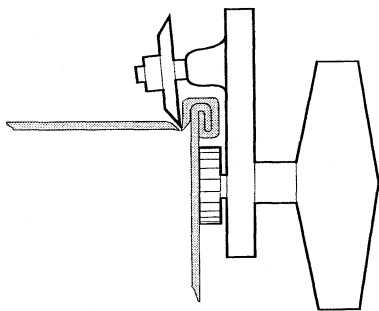
Het onderzoek laat op fraaie wijze zien, dat zelfs bij op het oog simpele producten met een eenvoudige bedieningswijze al grote problemen ontstaan bij het gebruik ervan.

In dit verband is het goed om op twee begrippen hier nader te behandelen, die beide gerelateerd zijn aan de theorie over het geheugen, te weten 'mentaal model' en 'fixatie'.

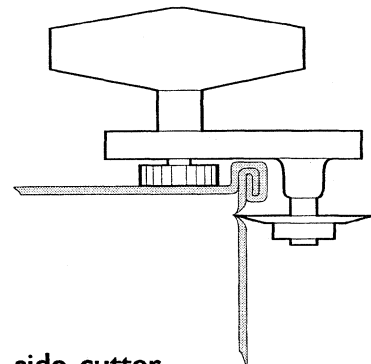
Box 2: Een blikopener-experiment

In 1992 en 1993 werden bij de vakgroep Produkt- en Systemergonomie van de Faculteit Industrieel Ontwerpen, TU Delft, enkele experimenten uitgevoerd naar het gebruik van 'doodgewone' blikopeners (Gelderblom, in druk). Doel was om te achterhalen welke rol de menselijke geest speelt bij het gebruik van bekende en onbekende typen blikopeners. In de figuur zijn twee van deze typen getekend, een opener die in de bovenkant van het blik snijdt en een die aan de zijkant van het blik snijdt. Dit laatste type is voor alle proefpersonen onbekend.

Qua uiterlijke vorm lijken beide typen op elkaar.



top-cutter



side-cutter

Wat zijn de belangrijkste resultaten:

- Proefpersonen zijn nauwelijks in staat om een blikopener in details te tekenen of te beschrijven. Hun mentale beeld is tamelijk oppervlakkig.
- Bij het onbekende type blijven de meeste proefpersonen volharden in het toepassen van de hun bekende procedure, die niet geschikt is voor dit type opener (maar wel voor de hun bekende opener). Sommige proefpersonen denken dat ze voor de gek gehouden worden, want "bij een blikopener als deze moet de procedure toch werken".
- Slechts een enkele proefpersoon blijkt in staat om op basis van ervaring met verschillende typen blikopeners dit 'probleem' op te lossen. Kennis van structurele kenmerken speelt hier een belangrijke rol.

Het experiment werd later nog eens herhaald met bekende en onbekende typen kurketrekkers, met hetzelfde resultaat.

13.3.1 Mentaal model

Nauw verwant aan begrippen zoals schema en script is het veelgebruikte begrip 'mentaal model'. De idee is, dat je bij het uitvoeren van een taak, bv. het bedienen van een produkt een mentaal model, een interne representatie, vormt van die taak en het produkt. Daarmee ben je in staat om ook de bediening mentaal te simuleren. Een algemene

definitie van mentaal model is ontleend aan Wilson & Rutherford (1989):

Een mentaal model is een conceptuele representatie van een systeem en/of taak, die een gebruiker zich vormt. Dit model is gebaseerd op zowel eerdere ervaringen als op directe observatie. Een dergelijk model geeft de gebruiker een zekere voorspellende en verklarende macht over het systeem en helpt bij de interactie met het systeem. Tevens zorgt het ervoor, dat minder mentale inspanning nodig is bij het uitvoeren van al bekende taken.

De moeilijkheid van de taak hangt mede af van de al aanwezige interne representaties en passende handelingsprocedures. M.a.w. bij een onbekende taak zal de persoon in zijn geheugen zoeken naar een geschikte representatie. Hoe meer voorkennis en ervaring de persoon met vergelijkbare taken heeft, des te groter de zoekruimte zal zijn en des te meer kans op het vinden van een juiste oplossing voor het uitvoeren van de taak. Dat de grootte van de zoekruimte een belangrijke determinant is voor succes bij het uitvoeren van de taak kon vastgesteld worden bij het blikopener-experiment uit box 2. Proefpersonen, die ervaring hadden met diverse typen blikopeners hadden minder moeite om een voor hun onbekend type met succes te bedienen.

13.3.2 Fixatie

Een interessante uitkomst van experimenten zoals met blikopeners of met koffiemelkkuipjes (zie voor dit voorbeeld ook hoofdstuk 23) is het zogenoemde 'fixatie-effect', ook wel aangeduid met de Duitse term 'Einstellung'. Eerdere ervaring kan een negatief effect hebben in bepaalde situaties waarin nieuwe taken moeten worden uitgevoerd, omdat de persoon blijft vasthouden aan al opgeslagen procedures of regels

Box 3: Luchins' waterkan-probleem (ontleend aan Luchins, 1942; Luchins & Luchins, 1950)

Vraag	Gegeven 3 kannen met de volgende volumes (liter water)			Hoe meet je de volgende hoeveelheid water af?
	A	B	C	
1.	29	3		20
2. Einstellung 1	21	127	3	100
3. Einstellung 2	14	163	25	99
4. Einstellung 3	18	43	10	5
5. Einstellung 4	9	42	6	21
6. Einstellung 5	20	59	4	31
7. Kritisch 1	23	49	3	20
8. Kritisch 2	15	39	3	18
9.	28	76	3	25
10. Kritisch 3	18	48	4	22
11. Kritisch 4	14	36	8	6
		'Einstellung' oplossing		Directe oplossing
7		49 - 23 - 3 - 3 = 20		23 - 3 = 20
8		39 - 15 - 3 - 3 = 18		15 + 3 = 18
10		48 - 18 - 4 - 4 = 22		18 + 4 = 22
11		36 - 14 - 8 - 8 = 6		14 - 8 = 6

Vraag 1, met 2 kannen, is als voorbeeld bedoeld. Aan een experimentele groep werd vraag 2 tot 11 voorgelegd, één voor één. De controlegroep kreeg alleen de vragen 7-11. De vragen 2 tot 6 waren bedoeld om de fixatie van de soort oplossing (in dit geval $b - a - 2c$) te bewerkstelligen. De vragen 7, 8, 10 en 11 konden opgelost worden met deze formule, maar ook met de eenvoudiger formule $a - c$. Vraag 9 werd gegeven om proefpersonen te laten herstellen van de fixatie. Deze vraag kan namelijk niet opgelost worden met $b - a - 2c$.

die niet van toepassing zijn op de nieuwe situatie. Een vaak geciteerd onderzoek is dat van Luchins (Luchins, 1942; Luchins & Luchins, 1950). Hun *waterkanprobleem* geeft een aardig inzicht in dit effect. Aan proefpersonen gaven zij telkens een hypothetische situatie met 3 waterkannen met een verschillend volume. Zij vroegen de proefpersonen om met drie kannen water, elk met een bepaald volume, een gegeven hoeveelheid water af te meten. Stel je hebt een kan van 20 liter en een van 4 liter. Om van 20 naar 12 liter te komen zul je 8 liter moeten verwijderen. Dit doe je door 2 keer de kan van 4 liter te vullen en leeg te gooien. In box 3 zijn de vragen aan de proefpersonen opgesomd.

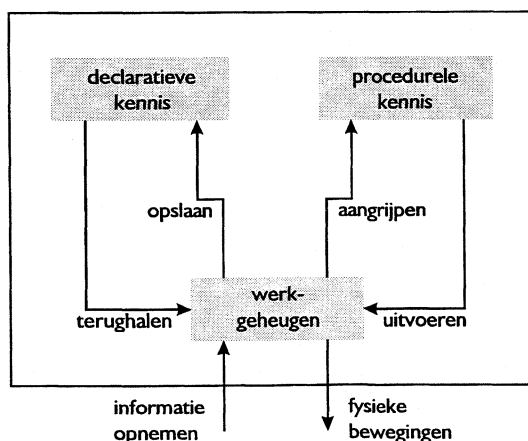
Wat blijkt is, dat de meeste proefpersonen uit de experimentele groep bij de kritische vragen (vanaf vraag 7) voor de ingewikkelder oplossingsstrategie kiezen, terwijl proefpersonen uit de controlegroep de korte formule gebruiken. In het blikopener-experiment is iets dergelijks waar te nemen. De meeste proefpersonen houden bij het bedienen van de onbekende zijsnijder vast aan de strategie die ze bij de hun bekende bovensnijder hanteren. Ze zijn niet in staat van deze regel los te komen, ook al niet omdat dit niet nodig is als men altijd met dezelfde blikopener werkt en steeds opnieuw dezelfde koopt. Een en ander is mede te verklaren uit het al eerder genoemde verschijnsel, dat de mens van nature uit is op het efficiënt gebruik van zijn geheugen en dus op het omlaag brengen van zijn cognitieve inspanning. Zoals Reason (1990, pag. 66) zegt: *"In short, human beings are furious pattern matchers. They are strongly disposed to exploit the parallel and automatic operations of specialized, pre-established processing units: schemata (-), frames (-), and memory organizing packets (-). These knowledge structures are capable of simplifying the problem configuration by filling in the gaps left by missing or incomprehensible data on the basis of 'default values'."*

13.4 Het verwerven van kennis en vaardigheden

In het voorgaande is diverse malen gesproken over (voor-)kennis en ervaring zonder nu expliciet in te gaan op de soorten kennis en vaardigheden die nodig zijn voor het uitvoeren van een bepaalde taak of het oplossen van een probleem. Noch is er gesproken over het verwerven van kennis en/of vaardigheden. Nu zijn er op dat gebied diverse 'leertheorieën' ontwikkeld. Een van de meer recente en ook meest gangbare theorieën op het gebied van informatieverwerking is die van Anderson (1983) onder de noemer

Adaptive Control of Thought* (ACT*).

Anderson maakt onderscheid in *declaratieve kennis* en *procedurele kennis*. Declaratieve kennis is 'weten dat', voornamelijk feitenkennis, zoals die dagelijks in beweringen op ons afkomt, mondeling of op papier. Procedurele kennis is 'weten hoe', hoe gebruik je kennis, hoe pas je het toe en welke procedures heb je daarvoor beschikbaar. In het computersimulatiemodel dat Anderson op basis van zijn theorie heeft gemaakt, wordt procedurele kennis gerepresenteerd in de vorm van produktieregels, d.w.z. van 'als..dan' regels. Het bedienen van een apparaat kan in de vorm van als-dan regels worden verklaard. *"Als je die knop naar rechts draait, dan wordt het water afgesloten."*



Figuur 2 Het 'Adaptive Control of Thought' model (ACT*) van Anderson. (Overgenomen van Schraagen & Schaafstal, 1988)

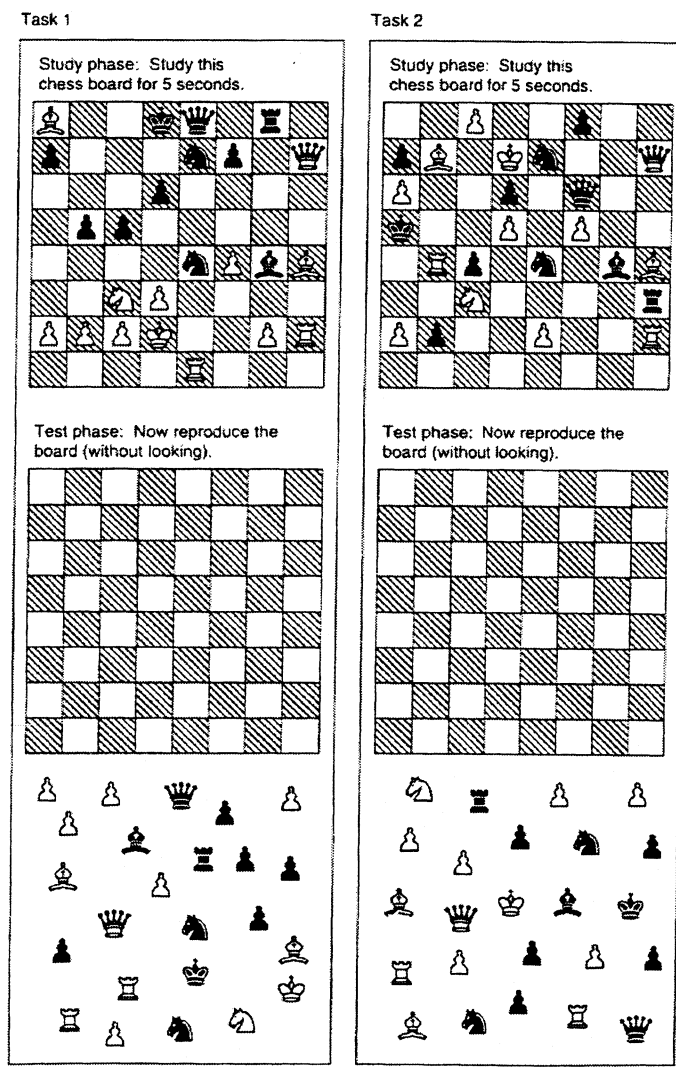
Zie figuur 2 voor een afbeelding van het geheugenmodel zoals door Anderson gezien. Declaratieve kennis is op zich gemakkelijk te verwerven. In feite doe je dat tijdens je studie door het luisteren naar een docent of het lezen van een studieboek. Het gaat nog niet om de vraag hoe je die kennis gaat gebruiken. Procedurele kennis daarentegen, de toepassing in bijvoorbeeld het oplossen van een probleem, kost vaak meer moeite. Het leerproces wordt door Anderson aangeduid als kenniscompilatie, dat uit twee componenten bestaat: compositie en proceduralisatie.

Compositie betekent dat verschillende producties worden gereduceerd tot slechts enkele, waardoor stappen in het denkproces kunnen worden overgeslagen. Zo zal het programmeren van een videorecorder in het begin van stap tot stap volgens de bijgevoegde gebruiksaanwijzing moeten worden uitgevoerd. Naderhand mag je hopen, dat enkele stappen automatisch en onbewust verlopen. Als dit niet zo is, betekent dat vaak dat dit programmeren nog geen procedurele kennis is. Het moge duidelijk zijn dat de complexiteit en de consistentie van de taak van invloed zijn op de snelheid waarmee procedurele kennis wordt opgebouwd.

Proceduralisatie is van toepassing op het opnemen van declaratieve kennis in een productie of procedure. Neem het al eerder genoemde voorbeeld van het telefoonnummer, dat opgezocht wordt en slechts tijdelijk opgeslagen. Zou het een telefoonnummer zijn, dat vaak moet worden gebruikt of dat heel belangrijk is om te onthouden, dan zal dit nummer worden geproceduraliseerd en daarmee snel op te roepen zijn zonder cognitieve inspanning.

Beginners en experts

Veel onderzoek is gedaan naar verschillen tussen beginners en experts in allerlei vakgebieden. Illustratief is het onderzoek naar de expertise in het schaken. In figuur 3 is een voorbeeld opgenomen uit het onderzoek van Chase & Simon (1973). Zij confronteerden beginnende, gevorderde en ervaren schaakspelers met bordsituaties zoals in het voorbeeld. Dat kon een van twee soorten stellingen zijn: een echte stelling uit een schaakpartij (links in figuur 3)



Figuur 3 Twee taken voor het onthouden van schaakstellingen overeenkomstig een experiment van Chase & Simon (overgenomen uit Mayer, 1990).

of een random stelling (rechts). Probeer zelf eens wat je onthoudt van deze beide stellingen.

Uit het onderzoek kwam naar voren dat een beginner bij beide stellingen ongeveer 4 posities weet te herinneren. Bij een expert zit er een groot verschil tussen de linker en rechter stelling. Bij de random stelling worden ook maar 4 posities onthouden, terwijl de linker stelling bijna geheel gereproduceerd kan worden. Hieruit en uit ander onderzoek zijn enkele algemene conclusies te trekken.

Experts hebben niet zozeer een grotere vaardigheid in het onthouden of een grotere geheugencapaciteit, maar hebben in hun geheugen een groot aantal configuraties opgeslagen. Dergelijke kennis is opgebouwd op basis van jarenlange ervaring. Waar beginners nog voornamelijk gefragmenteerd denken, zullen experts in grotere functionele eenheden denken. Andere verschillen zijn, dat een beginner, geconfronteerd met een nieuw probleem, meer op de oppervlakkige kenmerken zal letten, terwijl de expert zal zoeken naar achterliggende structurele kenmerken.

Wat is de relatie met het onderwerp van dit hoofdstuk, het produktgebruik?

Maar al te vaak wordt vergeten, dat een groot aantal produkten de gebruiker confronteren met een probleem. Dit kan zijn omdat het produkt nieuw is of zo ingewikkeld, dat telkens opnieuw de juiste handelingen worden vergeten. Kennis over het voorwerp is ook uiteen te leggen in declaratief, de feitelijke gegevens, en procedureel, hoe bedien je het apparaat.

Deskundigheid speelt dus een belangrijke rol in de wijze waarop bepaalde taken worden uitgevoerd en bij de snelheid van uitvoeren. Alba & Hutchinson (1985) noemen vijf aspecten van toenemende deskundigheid bij het hanteren van produkten:

- De prestatie op een taak verbetert door het herhaald uitvoeren ervan, doordat de cognitieve inspanning om de taak uit te voeren afneemt. In een aantal gevallen leidt herhaling tot automatische taakuitvoering.
- De cognitieve structuren die gebruikt worden om produkten te onderscheiden, worden meer verfijnd en volledig bij toenemende bekendheid.
- Het vermogen om informatie te analyseren en datgene te isoleren, dat het meest belangrijk en relevant is voor de taak, verbetert bij toenemende bekendheid.
- Het vermogen om de beschikbare informatie te bewerken en daarbij kennis te vergaren die de beschikbare informatie overstijgt, neemt toe met toenemende bekendheid.
- Het vermogen om informatie over produkten te onthouden neemt toe met toenemende bekendheid met het produkt.

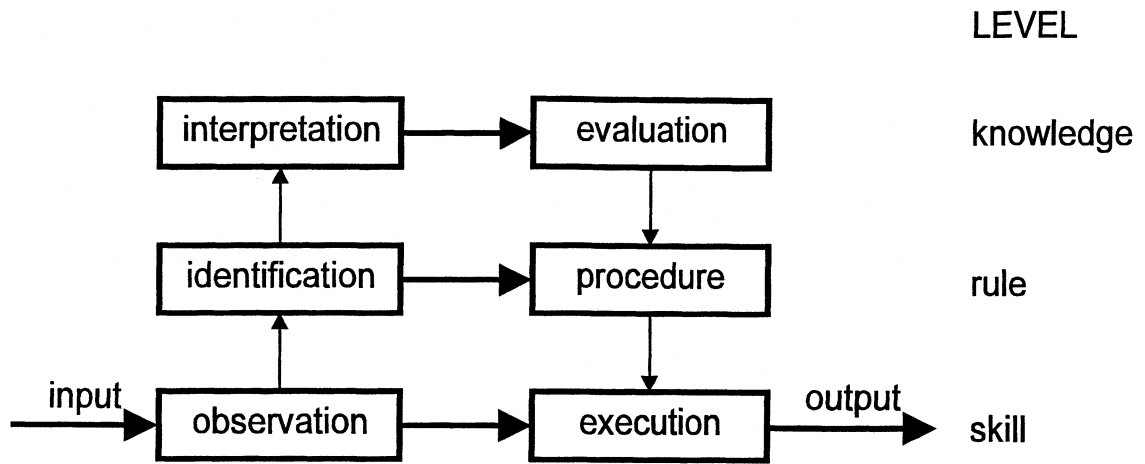
13.5 Cognitieve controle over acties

Op basis van het voorgaande kunnen we iets zeggen over de werking van het geheugen, over de structuur die daarbij wordt verondersteld, alsmede de soort van kennis die relevant is. Als we ons nu richten op de gebruiker in relatie tot het uitvoeren van taken, is het dan mogelijk om iets te zeggen over hoe mentale controle wordt uitgeoefend op de te verrichten handelingen? Ook op dit gebied hebben onderzoekers niet stil gezeten.

Frappant is wel dat de aandacht hiervoor voornamelijk is ontstaan bij het onderzoek naar *menselijke fouten* (o.a. Rasmussen, 1986; Reason, 1990). De bijdrage van eerstgenoemde auteur is voortgekomen uit zijn onderzoek naar fouten in controle-kamers van industriële installaties, zoals kernreactoren en chemische fabrieken. Het spreekt voor zich, dat menselijke fouten in die situaties rampzalige gevolgen kunnen hebben. Toch is de benadering van Rasmussen heel goed bruikbaar in een groot aantal situaties waarin sprake is van mens-produkt 'interface' zonder dat fouten ernstige gevolgen hebben. Het verkeerd bedienen van een videorecorder leidt hooguit tot frustratie.

We gaan wat nader in op Rasmussen's bijdrage. In zijn 'skill-rule-knowledge' model gaat hij uit van drie niveaus van uitvoering. Elk niveau is gekoppeld aan de mate van

bekendheid met de taak. In figuur 4 is dit model in verkorte versie weergegeven.



Figuur 4 Rasmussen's model voor cognitieve actiecontrole (Rasmussen, 1986; schema overgenomen uit Gelderblom, in druk)

'Skill-based' niveau. Op dit niveau is de uitvoering volledig gestuurd door opgeslagen voorgeprogrammeerde 'vaardigheden'. In het voorgaande is in dit verband verwezen naar kennis die in 'schema's is opgeslagen. Ogenscheinlijk is er op dit niveau geen sprake meer van bewuste cognitieve bemiddeling. Er wordt een directe koppeling gelegd tussen perceptie van de taak en/of het voorwerp en de motorische handeling die nodig is om de taak uit te voeren. Denk bijvoorbeeld aan het fietsen. Je hebt dit ooit moeten leren (procedurele kennis), maar de handelingen zijn inmiddels zodanig geautomatiseerd dat je nu niet zou kunnen vertellen hoe je je nu precies op de fiets in balans houdt. Zo ook de handelingen bij het gebruik van talloze producten. Je hoeft er niet meer bij na te denken, er is geen sprake meer van cognitieve belasting noch van interferentie bij het tegelijk uitvoeren van een andere taak (breien en tv-kijken).

'Rule-based' niveau. Op dit niveau wordt controle op het gedrag bij een bepaalde taak uitgeoefend via 'regels'. D.w.z. er is nog steeds sprake van cognitieve activiteit omdat voor het uitvoeren van de taak een bepaalde regel uit het geheugen moet worden opgevist. In het voorgaande is een dergelijke regel ook aangeduid met 'productieregel', en wel in de vorm van 'als-dan' (in het model: *identification* → *procedure*). Het bedienen van de tekstverwerker of het programmeren van een video zijn typisch taken die een beroep doen op een aantal in het geheugen opgeslagen regels. Beide taken zijn te complex om ze volledig automatisch te laten verlopen.

'Knowledge based' niveau. Controle op dit niveau is nodig bij een confrontatie met een onbekende taak of nieuw probleem. In dat geval; moeten acties worden voorbereid op basis van reeds aanwezige kennis of ervaring en informatie van buiten (in het model: *interpretation* → *evaluation*).

Op dit niveau speelt volgens Rasmussen het begrip 'mentaal model' een rol. De gebruiker zal een interne representatie vormen van het probleem om op die manier oplossingen te genereren. Is het probleem opgelost, dan zullen de nieuw gevormde procedures worden opgeslagen en een volgende keer in dezelfde situatie worden opgeroepen. Een aantal van deze regels zal bij toenemende ervaring volledig worden geautomatiseerd en daarmee op 'skill-based' niveau worden afgedaan. Zoals uit de pijlen in het model blijkt is er dus een voortdurende tendens aanwezig om de cognitieve inspanning zo snel mogelijk terug te brengen.

Deze cognitieve controle laat zich goed vergelijken met de al eerder aangehaalde ACT* theorie van Anderson, waarin het leerproces wordt aangeduid als kenniscompilatie, bestaande uit compositie en proceduralisatie. Anderson's proceduralisatie van kennis is bij Rasmussen te beschrijven als het proces van volledige controle op 'knowledge-based' niveau tot aan het 'skill-based' niveau waarop bewuste cognitieve controle niet meer nodig is.

De driedeling van Rasmussen kan nog eens geïllustreerd worden aan de hand van het blikopener-experiment uit Box 1. Het bedienen van je eigen, bekende blikopener zal op 'skill-based' niveau worden beheerst. Het kost je geen enkele mentale inspanning. Dit wordt anders als je een blikopener moet bedienen, die onbekend is. In eerste instantie zal een beroep worden gedaan op reeds in het geheugen opgeslagen 'procedures'. Zeker als de onbekende blikopener qua uiterlijk op de bekende lijkt, dan ligt het voor de hand, dat

Box 4: Experimenten met het telefoongeheugen

In 1993 en 1994 werden bij de vakgroep Produkt- en Systemergonomie van de Faculteit Industrieel Ontwerpen, TU Delft, enkele experimenten uitgevoerd naar het gebruik van de geheugenfunctie van diverse telefoontoestellen (Gelderblom, in druk). Doel was om te achterhalen welke rol de menselijke geest speelt bij het gebruik van dit ingewikkelde systeem en welke invloed leeftijd heeft op de vaardigheid in het bedienen.

Er waren 4 (bestaande) telefoons beschikbaar met elk een verschillende manier van bediening.

Om een in het geheugen opgeslagen nummer te bellen dienden per telefoon de volgende handelingen te worden verricht:

Telefoon 1: Druk de 'M' toets in en vervolgens de code van de geheugenplaats die hoort bij het op te roepen nummer (de 10 geheugens hebben elk een eigen eencijferige code (0-9)).

Telefoon 2: Druk een geheugentoets in die hoort bij het op te roepen nummer (het toestel heeft 10 geheugentoetsen, die los staan van de cijfertoetsen).

Telefoon 3: Druk de 'shift' toets in en vervolgens een geheugentoets die hoort bij het op te roepen nummer (is een uitbreiding van telefoon 2; via 'shift' is een tweede geheugen op te roepen).

Telefoon 4: Druk op de toets 'Directory', ga met behulp van de 'scan' toets door het geheugen totdat op de display het gewenste nummer verschijnt. Druk vervolgens op de 'dial' toets.

Aan een groep bejaarden werd gevraagd elk van de telefoons te bedienen. Uitkomsten van het onderzoek:

1. Geen enkele proefpersoon kan zich een mentaal beeld vormen van de werking van het geheugen van de telefoon.
2. Slechts de eenvoudiger typen geheugen (bij telefoons 1 en 2) werden door sommige proefpersonen met succes bediend.
3. De gehanteerde strategie was: 'trial and error'.
4. Ervaring met het gebruik van een geheugenfunctie leidde alleen tot succes bij eenzelfde type telefoongeheugen. Er was dus geen sprake van kennis'transfer', op één uitzondering na: een proefpersoon met brede ervaring.
5. Het gebruik van de geheugenfunctie voor elke telefoon werd na afloop telkens uitgelegd, voorgedaan en ten slotte zelf geoefend door de proefpersoon. Retentie na een half jaar blijkt miniem te zijn.

Hetzelfde experiment met jongerejaars studenten Industrieel Ontwerpen vertoont afwijkende resultaten. Proefpersonen werden afhankelijk van de hoeveelheid ervaring met het gebruik van een telefoongeheugen in een van de twee groepen (met en zonder ervaring) ingedeeld.

Resultaten van het onderzoek:

1. De meeste proefpersonen slagen erin om alle telefoons met succes te bedienen.
2. De hoeveelheid ervaring is niet van invloed op de mate van succes. Dit heeft voor en deel te maken met de geringe moeilijkheidsgraad van de taak voor deze proefpersonen.
3. Bij het vinden van de oplossing wordt meestal gebruik gemaakt van een gerichte zoekstrategie. Overigens is het belachelijk, dat er zo weinig standaardisatie is op dit gebied. Drie van de vier toestellen waren bovendien van één en dezelfde maatschappij!

de persoon die procedure probeert toe te passen, die bij zijn eigen blikopener succes heeft. Faalt die procedure, dan heeft de gebruiker een probleem en zal hij een nieuwe procedure moeten bedenken op basis van wat hij weet en wat hij aan nieuwe informatie van de blikopener zelf krijgt (bepaalde uiterlijke kenmerken en mechanismen). Is die procedure eenmaal gevonden, dan wordt deze opgeslagen en toegepast bij een volgende gelegenheid. De moeilijkheid van de taak en de hoeveelheid ervaring met het uitvoeren van de taak bepalen of de procedure wordt opgeslagen en eventueel op 'skill-based' niveau kan worden beheerst.

13.6 Individuele capaciteiten

De hierboven opgevoerde modellen en voorbeelden worden dikwijls als algemeen geldende waarheden verkondigd. Nog eens moet benadrukt worden, dat zeer veel factoren van invloed zijn op het gedrag van mensen waardoor de generaliseerbaarheid van dergelijke modellen ter discussie staat. Zowel in het eerstejaars dictaat als elders in dit dictaat is benadrukt dat er sprake is van grote inter-individuele variantie, zowel op cognitief, als sensorisch en fysiek niveau. De ontwerper zal steeds moeten nagaan in hoeverre deze verschillen moeten doorwerken in het ontwerp. Het voert te ver om op al deze verschillen uitgebreid in te gaan. Derhalve wordt hier volstaan met een voorbeeld: de individuele verschillen in informatieverwerking als gevolg van leeftijd. De opnamecapaciteit neemt met het ouder worden af. Elders in het dictaat wordt aan deze problematiek ook aandacht besteed. Het is verbazingwekkend dat door de ontwerper of de fabrikant hiermee zo weinig rekening wordt gehouden. Juist voor deze categorie mensen is de tendens om steeds meer functies en informatie daarover in een en hetzelfde apparaat of onderdelen van het apparaat te integreren een probleem. De telefoon is daarvan een goed voorbeeld, maar ook in toenemende mate de audiovisuele apparatuur en keukenmachines waaronder de magnetron.

Een voorbeeld van de wijze waarop verschillende leeftijdsgroepen een onbekende handeling met een produkt uitvoeren is opgenomen in Box 4. In experimenten van Bremner & Gelderblom en Gelderblom (Gelderblom, in druk) is nagegaan hoe oudere mensen en jongerejaars studenten omgaan met de geheugenfunctie van telefoons.

13.7 Aanwijzing aan de ontwerper

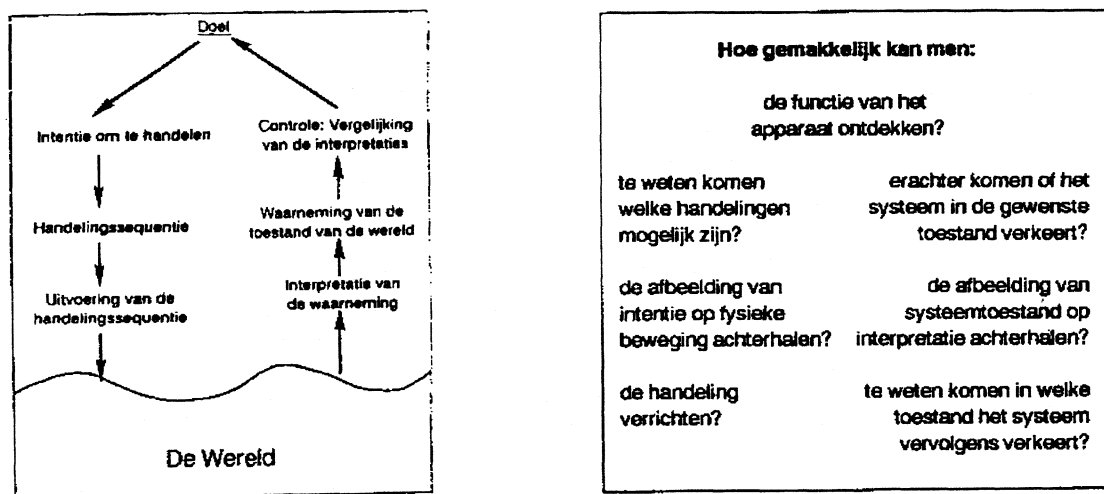
Inleiding

Op basis van de beschouwingen in de voorgaande paragrafen kan een begin worden gemaakt met het afleiden van een aantal aanwijzingen voor de ontwerper. Opvallend in de ontwerppraktijk is, dat ergonomie vaak wordt 'meegenomen' in het ontwerpproces voor zover het fysieke aspecten van de gebruiker betreft. Maar elke afstemming van product of systeem op de gebruiker vraagt toch enig inzicht in het menselijk handelen. Een analyse van de complexiteit van de taak is het minst wat we van de ontwerper mogen verwachten. Die verwachting komt vaak niet uit, omdat de ontwerper zelf ook gebruiker is. En bij simpele produkten met een ogenschijnlijk simpele bedieningswijze zal deze ontwerper dan ook niet de moeite nemen om verder te kijken dan zichzelf. Een voorbeeld van zo'n eenvoudig produkt is de blikopener, waarvan in het voorgaande al de moeilijkheidsgraad is aangetoond. Of neem bijvoorbeeld een beginnende zeiler bij het besturen van een zeilbootje op een bepaalde kompasroers (ontleend aan Norman, 1986). Dat laat al zien hoe moeilijk het kan zijn om een enkelvoudig besturingsmechanisme te gebruiken teneinde een enkelvoudige uitkomst te krijgen. De compatibiliteit van de beweging van de helmstok tot de bootrichting is tegengesteld aan wat beginnende zeiler

soms verwacht. En de compatibiliteit van de kompasbeweging t.o.v. de bootbeweging is even verwarrend. Een ervaren zeiler heeft dankzij het juiste mentale model geen moeite met de besturing.

13.8 De uitvoering van een taak

Kennis over de mentale activiteiten in produktgebruik leidt tot een aantal 'tips' voor de ontwerper. Norman (1988) besteedt in zijn boek "The psychology of everyday things" juist hieraan veel aandacht, uitgaande van de gewone gebruiker. Naar zijn mening is het van essentieel belang voor de ontwerper om vóór hij start stil te staan bij de handeling die door de gebruiker met het voorwerp moet worden verricht teneinde het doel te bereiken. Stel dat ik mijn collega aan de TU-Eindhoven wil bellen. Zijn nummer ken ik niet uit mijn hoofd, maar ik geloof dat het onder een geheugentoets van mijn telefoon zit. Ik zal dus de hoorn van het toestel nemen en de handelingen verrichten, die nodig zijn om het geheugen op te roepen. Als dat gelukt is, heb ik mijn doel bereikt. Ik had dit ook kunnen bereiken door in mijn agenda zijn nummer op te zoeken en dat in te toetsen. In dit proces spelen zowel psychologische als fysieke variabelen een rol. Ik startte met doelen en intenties, die in mijn hoofd bestaan en die direct gekoppeld zijn aan mijn behoeften en belangen. Maar de taak moet worden uitgevoerd door middel van een fysiek systeem, met een fysiek te manipuleren mechanisme. Zodra ik die handeling doe, veranderen die fysieke variabelen en de toestand waarin het systeem zich bevindt. Dus in



Figuur 5 Zeven stadia van een handeling (overgenomen uit Norman, 1990)

het algemeen geldt, dat de fysieke variabelen geïnterpreteerd moeten worden in het licht van de psychologische doelen en moeten de psychologische intenties vertaald worden in fysieke acties op het mechanisme. Aan dit proces zijn volgens Norman zeven stadia te onderscheiden (zie figuur 5), waarvan drie voor de uitvoering en drie voor de controle. Deze stadia zijn::

1. Keuze van het doel (contact met mijn collega).
2. Vorming van een intentie (welke handeling moet ik verrichten, welke specifieke acties?).
3. Specificatie van een handeling (naar de telefoon grijpen, luisteren naar de kiestoon, met mijn vingers de knoppen indrukken, etc.).
4. Uitvoering van de handeling (voer de acties uit 3 uit).
5. Waarneming van de toestand van de wereld (de reactie van de telefoon via

- geluidsignalen).
6. Interpretatie van de toestand van de wereld (is het een gesprekston, een 'in gesprek'toon of iets anders?).
 7. Evaluatie van het resultaat.

In veel situaties hoeft men zich geen zorgen te maken over allerlei psychologische en fysieke variabelen, omdat ze gemakkelijk in de hand te houden zijn. Maar om nog eens de complexiteit van gebruikshandelingen in beeld te brengen bij een relatief eenvoudig systeem is hier een ander voorbeeld, wederom ontleend aan Norman (1986). Het gaat om de waterregeling in een badkuip. De bedoeling daarvan is om zowel waterhoeveelheid als temperatuur te regelen. Maar water komt via twee pijpen: heet en koud. Het simpelste systeem heeft twee kranen en twee stralen. Derhalve zijn er twee fysieke mechanismen, één voor de hoeveelheid heet en één voor de hoeveelheid koud water. Dus de voor de gebruiker relevante variabelen interacteren met de twee fysieke variabelen: de totale straal is de som van de twee fysieke variabelen; de temperatuur is een functie van hun verschil. De problemen hiermee komen voort uit een aantal bronnen:

1. Compatibiliteitsproblemen. Welke kraan is heet, welke koud? In welke richting moet elke kraan gedraaid worden? (ondanks een universele standaard voor draairichting komen er steeds meer uitzonderingen op)
2. Bedieningsgemak. Om het water heter te maken zonder de hoeveelheid te veranderen moet aan beide knoppen gedraaid worden.
3. Evaluatie. Met twee stralen is het soms moeilijk te bepalen of de juiste uitkomst is bereikt.

De technologie, aldus Norman, heeft een handje geholpen in het oplossen van het probleem. Ten eerste werden gemengde kranen gemaakt die het evaluatieprobleem oplosten. Daarna werden 'enkelvoudige bedienings'-kranen gemaakt, die de psychologische factoren direct varieerden: de ene dimensie van de beweging is van invloed op de hoeveelheid, de andere op de temperatuur. Ondanks deze verbetering is er toch nog een compatibiliteitsprobleem: welke beweging aan welk deel van het mechanisme regelt welk variabele? En omdat het mechanisme niet meer zichtbaar is, zoals bij de twee-kraans apparaat, is het niet zo makkelijk voor de eerste-keer-gebruiker. Ingewikkelder wordt het als er bij de bediening ook nog eens sprake is van een uitgestelde reactie. Een voorbeeld daarvan is de temperatuurregelaar in een koelkast. De feedback hiervan is zeer traag. Tegen de tijd dat men in staat is het resultaat van de actie te bepalen, is zoveel tijd verstreken, dat men de actie niet langer onthouden heeft, waardoor correctie van de actie moeilijk is. Als ook nog de instructie vaag is of de juiste operaties niet vermeld, dan is het bijna onmogelijk om een mentaal model in het geheugen op te nemen.

De conclusie is, dat zelfs met twee variabelen het aantal aspecten dat bekeken moet worden, verrassend groot is.

13.9 Ontwerp-principes

Niet altijd wordt de hele cyclus van zeven stadia doorlopen. Maar het mag duidelijk zijn, dat er continu sprake is van feedback via het voorwerp of systeem dat gebruikt wordt en via het resultaat van de handeling. Deze verschillende stadia laten zich volgens Norman naar de volgende ontwerp-principes vertalen:

1. *Zichtbaarheid*. Het gebruiksvoorwerp of systeem kan duidelijk maken welke handelingen verricht moeten worden. Het kan een goed beeld geven van de toestand. Niet alle kennis of informatie over bediening hoeft in het hoofd te zitten. Norman geeft aan dat een deel van de kennis 'in de wereld' kan zitten en voor een

- ander deel in de fysieke restricties van de wereld. Kennis in de wereld kan dus dienen als extern geheugen en ontlast daarmee het eigen geheugen in de vorm van geheugensteuntjes. Zodra informatie, die voor een taak nodig is, gemakkelijk beschikbaar is in de wereld, vermindert de behoefte om het te leren. Een vereiste is dan wel, dat informatie die in het voorwerp of systeem gegeven wordt duidelijk en eenduidig is. (Zie ook het hoofdstuk over coderen van informatie).
2. *Een goed conceptueel model.* Opdat de gebruiker zich een goed mentaal model vormt is het nodig dat de bediening en de resultaten consistent worden gepresenteerd. Dus laat niet twee blikopeners op elkaar lijken, die op een volstrekt verschillende manier moeten worden bediend. Mentale modellen zijn echter vaak onvolledig. Als men met een gebrekkig begrip van een apparaat of voorwerp in staat is om het met succes te bedienen, waarom zou men dan moeite doen om een meer gedetailleerd beeld op te slaan in het geheugen? Immers, we hebben al gezien dat een mens van nature zijn geheugen zo weinig mogelijk wil belasten. Een gebrekkig beeld leidt echter vaak tot frustratie of erger. We zagen het bijvoorbeeld bij het onderzoek met de blikopeners en een van de telefoonfuncties. De theorie laat zien waarom mensen op basis van hun kennis van de omgeving verwachtingspatronen opbouwen. Een verwachtingspatroon op basis van de uiterlijke kenmerken van een product leidt vaak tot een fixatie in het handelingspatroon. Een fixatie die door de ontwerper soms niet bedoeld is. De ontwerper kan en moet daarmee rekening houden in zijn ontwerp. Dus is een goed 'systeembeeld' onontbeerlijk.
 3. *Goede afbeeldingsrelaties.* Een ontwerper zou rekening moeten houden met het consequent hanteren van relaties tussen twee gekoppelde aspecten van een handeling. Bijvoorbeeld de configuratie van de knoppen van een kookplaat en de branders, of de plaats van de lichtsakelaars in een vertrek waar diverse lichtpunten zijn aangebracht. In diverse kamers op de universiteit zijn drie schakelaars naast elkaar geplaatst, terwijl de lichtpunten zich achter elkaar bevinden. Dat de meest rechtse schakelaar het licht bedient dat het dichtst bij het raam zit, is niet logisch. De gevolgen zijn niet ernstig. Het wekt in dit geval slechts irritatie op. Dat wordt anders als in het besturingsgedeelte van vliegtuigen of chemische installaties onlogische relaties in het ontwerp aanwezig zijn, die tot bedieningsfouten leiden. In de praktijk kan gebruik gemaakt worden van 'natuurlijke' relaties. Daarbij is onderscheid te maken in 'fysieke' of 'ruimtelijke' analogieën en 'culturele' analogieën/normen. Bij een ruimtelijke analogie kan gedacht worden aan een object, dat omhoog of omlaag moet worden bewogen met behulp van een bedieningsknop. Dus het omhoog en omlaag bewegen van deze knop geeft een natuurlijke relatie. Voorbeelden van culturele normen: een harder geluid betekent een grotere hoeveelheid, een stijgend niveau betekent meer, een dalend niveau minder.
 4. *Feedback.* Tijdens de handeling zou de gebruiker voortdurend terugkoppeling moeten krijgen over de resultaten: doet hij/zij het goed of niet. Hoe vaak komt het niet voor dat apparaten geen enkele andere informatie hierover geven dan de weigering om te werken.

13.10 Mogelijkheden en onmogelijkheden van de gebruiker

Is in het voorgaande voornamelijk aandacht besteed aan de consequenties van het menselijk handelen voor de principes van goed ontwerp, ook aan de gebruiker zelf zal aandacht moeten worden besteed. Voor welk individu of welke categorie van mensen maak je een ontwerp? Wat zijn de mogelijkheden en onmogelijkheden van dit individu of

deze groep in fysieke en mentale zin? Denk aan categorieën als kinderen of bejaarden. Elders in het dictaat is veel informatie te vinden over de fysieke kenmerken. Helaas komt het maar al te vaak voor, dat de ontwerper alleen afgaat op fysieke en mentale beperkingen en daarmee tot een beperking in de ontwerp-vrijheid komt. Maar een bestudering van het gedrag van mensen kan informatie opleveren, die juist tot een grotere vrijheid van de ontwerper leidt. In een toelichting op een ontwerp lijkt de ergonomische kennis vaak vertaald in P5 en P95. Het voorbeeld in box 5 laat zien hoe een bepaald ontwerp voor kinderen van een bepaalde leeftijdscategorie gebaat is bij informatie over de gedragskenmerken van die groep.

Neem zelf eens een bepaald probleem voor een specifieke groep bij de kop en bedenk een oplossing, via een ontwerp, die gebruik maakt van informatie over het gedrag van de tot die groep behorende mensen.

Box 9: Een onderzoek naar de invloed van informatie op het ontwerp

In 1993 werd een onderzoek gedaan door Christiaans en Van Andel naar de invloed van de presentatie van informatie aan ontwerpers op het uiteindelijke ontwerp. Het onderzoek werd uitgevoerd bij een ontwerp-oefening aan de faculteit Industrieel Ontwerpen. De opdracht voor de studenten was een Vliegende Hollander te ontwerpen voor kinderen in de leeftijdsgroep van 4 - 8 jaar. Het reguliere pakket aan informatie bestond uit technische, bedrijfskundige en ergonomische gegevens. De ergonomische informatie had voornamelijk betrekking op fysieke maten van kinderen uit die leeftijdsgroep, alsmede informatie over veiligheidsnormen. De extra informatie in het onderzoek ging in op het *speelgedrag* van kinderen. In grote lijnen werd de volgende kennis door de onderzoekers overgedragen:

1. Speelvormen en activiteiten (rust, beweging, fantasie en constructie).
2. Sociale activiteiten (spelen met andere kinderen, kleine/grote groepen, individueel spelen).
3. Verschillen tussen jongens en meisjes (σ : vaker buiten, verder van huis, andere spelletjes etc.).
4. Verschillen tussen leeftijdsgroepen (jongere kinderen meer constructie- en fantasiespel, oudere kinderen meer 'niets' en rondfietsen, sport)
5. Soorten speelgoed (behendigheid, samenspel, beleving, gezelschapsspel, denkspel, technisch speelgoed).
6. Speelplekken (binnen en buiten).

De studenten werden in twee groepen ingedeeld en kregen deze informatie mondeling te horen, maar op een verschillende wijze. In de controle conditie werd deze kennis sec overgedragen, met behulp van 'overhead-sheets'. In de experimentele conditie werd op een meer actieve wijze met het materiaal omgegaan door middel van voorbeelden op dia en het uitwerken van een eigen voorbeeld. Nadat de studenten de hele oefening hadden doorlopen werd hun ontwerp (een gematerialiseerde Vliegende Hollander) alsook hun rapport door deskundigen beoordeeld op kenmerken als 'kindvriendelijkheid', 'geschiktheid voor de leeftijdsgroep', 'multifunctioneel', 'fantasie-prikkelend'. De uitkomsten toonden aan, dat de verstrekte informatie in de experimentele conditie tot grotere variabiliteit in produkten leidde. Het gaf de (student-)ontwerpers meer ruimte en mogelijkheden om iets extra's aan hun ontwerp toe te voegen. Overigens bleek, dat dit beter lukte voor de experimentele groep. Bij de studenten in deze groep had de wijze van informatie-overdracht effect op het opnemen ervan in het geheugen.

In dit laatste paragrafen is slechts globaal ingegaan op de interactie tussen produkt en gebruiker, bezien vanuit de cognitieve aspecten die hierbij een rol spelen. Globaal, omdat de wetenschap op dit gebied nog niet zo ver is om specifieke aanwijzingen aan de ontwerper mee te geven. Zovele psychologische en fysieke variabelen zijn van invloed op deze interactie. Zovele verschillen tussen mensen en tussen produkten zorgen ervoor, dat een bevinding bij de ene interface te generaliseren is naar andere. In hoofdstuk 24 van dit dictaat wordt om die reden aandacht besteed aan gebruiksonderzoek. De ontwerper zelf zal hierin zijn/haar steentje moeten bijdragen.

Begrippen

afbeeldingsrelaties	geheugenruimte	kennistransfer
assimilatie	informatieverwerking	korte-termijn geheugen
cognitie	interface	lange-termijn geheugen
- cognitieve	interne representatie	operator
controle	- conceptueel	probleemtoestand
compatibiliteit	model	procedurele kennis
declaratieve kennis	- mentaal model	"schema"theorie
fixatie	kenniscompilatie	- schema
- 'Einstellung'	- compositie	- script
gebruiker	- proceduralisatie	- frame
geheugen	kennisstructuur	- plan
		'time-sharing'

Literatuur

- Alba, J.W. & Hutchinson, J.W. (1987).
Dimensions of consumer expertise. *Journal of Consumer Research*, p. 411-454.
- Anderson, J.R. (1983).
The architecture of cognition. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Baecker, R.M. & Buxton, W.A.S. (1987).
Cognition and human information processing. In R.M. Baecker & W.A.S. Buxton (Eds.), *Readings in human computer interaction*. San Mateo: Morgan Kaufmann.
- Bartlett, F.C. (1932).
Remembering: A study in experimental and social psychology. London: Cambridge University Press.
- Carmichael, L.L., Hogan, H.P. & Walter, A.A. (1932).
An experimental study of the effect of language on the reproduction of visually perceived form. *Journal of Experimental Psychology*, 15, 73-86.
- Chase, W.G. & Simon, H.A. (1973).
Perception in chess. *Cognitive Psychology*, 4, 55-81.
- Christiaans, H. & Van Aniel, J. (1994).
The effects of examples on the use of knowledge in a student design activity: the case of the 'flying Dutchman'. *Design Studies*, 14, 58-74.
- Gelderblom, G.J. (in druk).
Cognition in user product operating. Delft: TU Delft, fac. Industrieel Ontwerpen.
- Loopik, W.E.C., Kanis, H. & Marinissen, A.H. (1994).
The operation of new vacuum cleaners, a users' trial. *Contemporary Ergonomics*, p.34-39. London: Taylor & Francis.
- Luchins, A.S. (1942).
Mechanization in problem solving. *Psychological Monographs*, 54:6, No. 248.
- Luchins, A.S. & Luchins, E.H. (1950).
New experimental attempts at preventing mechanization in problem solving. *Journal of General Psychology*, 42, 279-297.
- Mayer, R.E. (1992).
Thinking, problem sloving, cognition. New York: Freeman (2nd ed.).
- Minsky, M. (1975).
A framework for representing knowledge. In P.H. Winston (Ed.), *The psychology of computer vision*. New York: McGraw-Hill.
- Norman, D.A.(1986).

- Cognitive Engineering. In: D.A. Norman & S.W. Draper (Eds.), *User centered system design*. Hillsdale, NJ: Laurence Erlbaum Associates.
- Norman, D.A. (1988).
The psychology of everyday things. New York: Basic Books.
- Neisser, U. (1976).
Cognition and reality: Principles and implications of cognitive psychology. New York: Freeman.
- Rasmussen, J. (1986).
Information processing and human-machine interaction: an approach to cognitive engineering. Amsterdam: North Holland Publishing.
- Reason, J.T. (1990).
Human error. Cambridge: Cambridge University Press.
- Schank, R.C. & Abelson, R.P. (1977).
Scripts, plans, goals, and understanding. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Schraagen, J.M. & Schaafstal, A. (1988).
 Bijdrage van cognitieve psychologie aan AI. *Kennissystemen*, 2: 1, 30-35.
- Wilson, J.R., & Rutherford, A., 1989.
 Mental Models: Theory and Application in Human Factors. *Human Factors*, 31, 617-634.



BIRD MAN

14 Het ontwerpen van codering.

14.1 Transductie en betekenis van signalen.

Uit het diktaat inleiding tot de produkt-en systeemergonomie is bekend hoe zintuiglijk waargenomen signalen uit de buiten- en binnenwereld (resp. extero- en intero-ceptie) worden omgezet van de ene fysische drager naar de andere. Zo vinden bijvoorbeeld bij het horen de volgende transducties plaats: luchtdrukwisseling, mechanische trilling in middenoor, hydraulische trilling in binnenoor en uiteindelijk - voor alle waarneming van zintuigen - tot chemisch-elektrische pulstreinen over zenuwen en hun verbindingen (synapsen).

Daaruit blijkt dat informatie deels onafhankelijk is van de fysische aard van de drager/signaal. Het signaal is van belang door zijn verwijzing naar iets anders dan zichzelf: het heeft een betekenis (leer der Semantiek ofwel Semiologie). Het verwijst naar een verschijnsel op afstand of op een ander moment, waarvan het brein zo kennis neemt. Na kennisneming kan men op de gebeurtenissen, feiten, structuren reageren, erover nadenken en/of in geheugen opslaan. Niet alles heeft functionele betekenis voor een individu op een bepaald moment. Van de grote hoeveelheid informatie uit buiten- en binnenwereld dringt slechts een zeer klein deel door de 'zintuigvensters' en nog minder tot de bewuste aandacht.

Niet al de waargenomen informatie is functioneel. Het functionele criterium ligt in de betekenis voor de ontvanger. Informatie is dat wat bij de ontvanger onzekerheid opheft. Bij het hanteren van deze definitie is bekende informatie dus eigenlijk geen informatie, het kan als bevestiging echter wel betekenisvol zijn.

Informatie is vaak redundant (meervoudig/overvloedig) gecodeerd. Hierdoor is voor de luisteraar vaak 'een half woord al genoeg'.

14.2 Coderen

Coderen is het proces van het systematisch aftakken en omzetten van signalen over verschijnselen. Informatie over bepaalde verschijnselen wordt gecodeerd in fysische dragers (markers), om een of meer waarnemers te informeren over de aard, de tijd en/of afstand betreffende die verschijnselen. Zonder die codering, gevolgd door verzending of opslag en de-codering, zou de waarnemer niet, onjuist of niet tijdig genoeg de betekenis van die feiten, structuren of veranderingen kunnen opnemen. Het "systematische" van die codering houdt in dat het verloopt op een voor de ontvanger consistente en begrijpelijke manier en dus volgens min of meer bekende regels van representatief selecteren en uiteindelijk aanbieden van betekenissen. De tussenliggende stappen van transductie, transmissie en of opslag behoeven aan de ontvanger niet bekend te zijn. Die 'instrumentele' tussenstappen zijn echter liefst wel efficiënt en dienen geen 'ruis' (extra versturende informatie) toe te voegen. Noch dienen ze onderweg de betekenissen te verdraaien of onvolledig te maken. Het belang van de boodschap dient te worden afgemeten aan het belang van codeurs/zenders en, meer nog, van de de-codeurs/ontvangers.

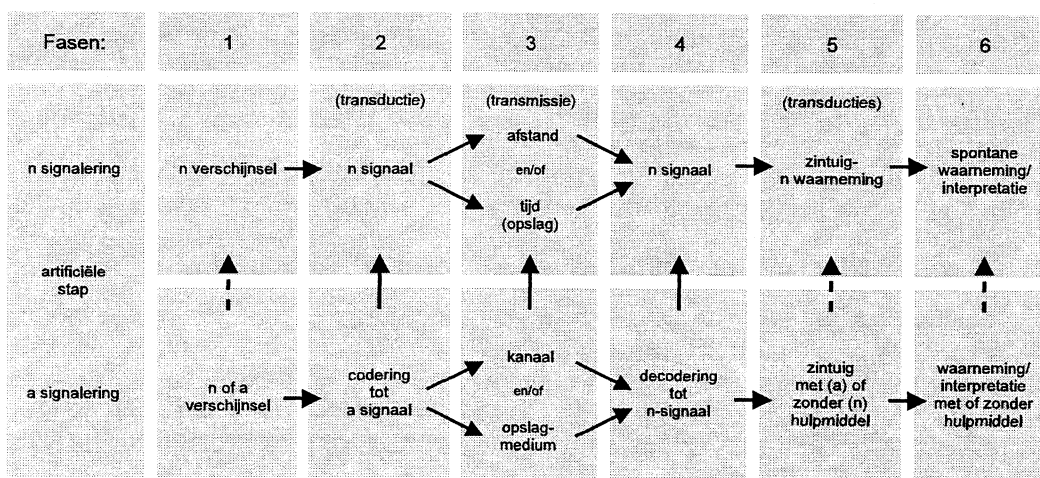
De vorm, waarin de signalen uiteindelijk aan de ontvanger worden aangeboden, is niet willekeurig. De fysische materie-energie wisselingen en patronen dienen te passen binnen de zintuigvensters. Hun verschillen dienen aan te sluiten bij de resoluties van die vensters: spectraal, naar intensiteit en naar temporele aspecten (het liefst binnen het optimale werkgebied van het zintuig). Tevens dienen de betekenissen van de boodschap cognitief aan te sluiten, in de zin van te passen binnen het begripsvermogen, bij de kennis, taal en cultuur van de ontvanger. De ontvanger dient

het signaal dus te kunnen onderscheiden en juist te interpreteren. Het totale proces van zenden t/m ontvangen gaat om het behoud van de betekenis. De codering door de signalen kan daar min of minder toe geëigend zijn. De taal ofwel, het vocabulaire (de woordenschat ofwel de elementen om de boodschap op te bouwen) en de grammatica (de wijze van combineren van die elementen) dient bij zender en ontvanger overeen te komen, wil de code effectief zijn. Of de ontvanger na juiste interpretatie vervolgens juist handelt, is een andere zaak.

14.3 Natuurlijke en artificiële codering.

Indien het proces van waarneming vanaf verschijnsel tot en met de interpretatie van de waarnemer in een stroomschema wordt gebracht, zijn er verschillen aan te geven tussen de situatie van natuurlijke signalering (bijv. iemand ziet een vallende ster) en een artificiële signalering (bijv. met behulp van een telescoop en een monitor wordt de vallende ster waargenomen).

In de volgende schema's is n = natuurlijk en a = artificieel.



Figuur 14.1

Het tweede voorbeeld kan nog kunstmatiger, ofwel met nog meer artificiële middelen in de keten: met behulp van een laser wordt de hemel 'gescanned' zodat eventuele oneffenheden in de waarneming, t.g.v. de tussenliggende dampkring, kunnen worden gecorrigeerd. Tevens wordt het opgevangen beeld gemanipuleerd en geanalyseerd met een computer zodat een scherp, ingezoomd en geanalyseerd plaatje van de vallende ster op de monitor verschijnt. Een ander eenvoudiger voorbeeld is een gebruikelijke huishoudelijke machine: de sensor in de oven constateert oververhitting en in de huiskamer gaat een zoemer ter waarschuwing. Of: de telefoonbeantwoorder wordt na enkele binnengekomen gesprekken afgeluisterd. In het artificiële stroomschema kunnen de fasen 1,5 en 6 dus ook, naast 2,3 en 4 in het midden, via technische hulpmiddelen verlopen. Bij de oven is de aanleiding tot signalering een technisch verschijnsel (1a) bij een deurbel is dat een natuurlijk verschijnsel van een persoon aan de deur (1n). Bij de ster was het de transmissie via het natuurlijke kanaal lucht (3n) of via de telescoop + monitor (3a); bij de telefoonbeantwoorder was er ook een technisch geheugen (3a), waarvan het output-signaal weer extra versterking van het spraakgeluid (5a) nodig had en, als het bericht bijvoorbeeld een route-beschrijving inhield, tevens een stadsplattegrond (6a) als technisch hulpmiddel voor de juiste interpretatie. De zender en ontvanger, met tijdsverschil ertussen, beiden met een blik op een

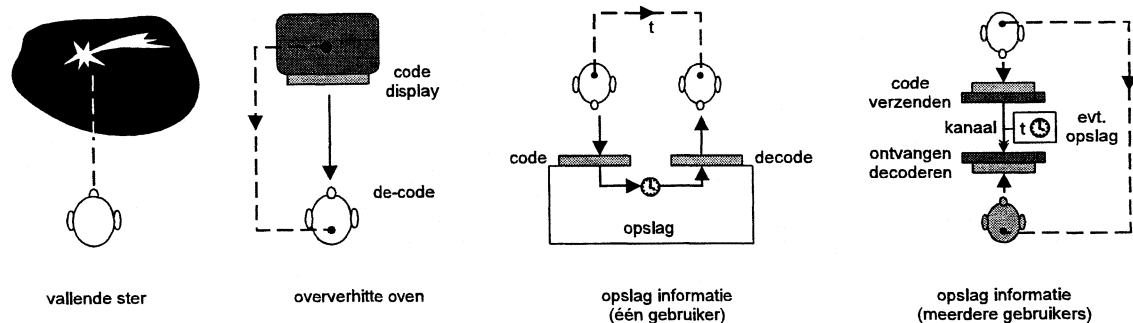
overeenkomstige plattegrond, bekommeren zich waarschijnlijk niet om de vele technische transducties bij de automatische codering, transmissie, opslag en decodering.

Het moge duidelijk zijn dat in de ontwerpergonomie de aandacht vooral uitgaat naar technische goederen met signaalgevers (displays). Dienend om gebruikers/bedieners te informeren over het functioneren van die goederen. Indien daar een bedienings reactie opvolgt, kan men ook echt spreken van MPI (Mens Produkt Interaktie). Evenzo gaat de ergonomische belangstelling uit naar tussenmenselijke interactie, die bemiddeld wordt door een technisch communicatie-systeem. Respektievelijk vorige voorbeelden van oven en telefoon met beantwoorder.

Van belang is te constateren dat ook bij een artificiële codering-reeks, het afgegeven signaal dusdanig, in taal en vorm, gecodeerd dient te worden dat het voor mensen begrijpelijk is. Een signaalgever, zoals bijvoorbeeld een temperatuurindicator van die oven, dient een vertaling te maken van de interne verschijnselen in de oven naar een display, die zichtbaar, en/of hoorbaar en begrijpelijk is. Hierdoor is kennis van 'menselijke/gebruikelijke' codes noodzakelijk voor het ontwerpen van signaalgevers. Hetzij direct op het hulpmiddel, hetzij na transmissie verderop of na opslag als signaal later. Het kan gaan om een eenvoudige deurbel of om een beeldscherm met complexe en dynamische presentaties. In alle gevallen dient de ontwerper met de sensorisch- en cognitief ergonomische inzichten rekening te houden en MPI-analyses uit te voeren.

14.4 Symmetrieën

Het verschijnsel van de natuurlijk waargenomen vallende ster is een geval van informatie-overdracht via een code, die op de gewone ervaring berust en die de interpretatie 'een mooi natuurverschijnsel, ongevaarlijk (of was het toch een UFO ?)' waarschijnlijk foutloos bewerkstelligt. De boodschap komt direct en zonder technische bemiddeling over.



Figuur 14.2 Informatie-overdracht (— = boodschap ; t = tijdsverloop).

De boodschap van de oververhitte oven is over een verschijnsel in de machine dat 'vertegenwoordigd' moet worden in het brein van de oven-gebruiker. De hoge temperatuur wordt via een sensor gecodeerd tot een wijzer op een schaal of een zoemer, die gedecodeerd kunnen worden door zintuigen en brein. Bij het technisch systeem voor de opslag van informatie dient de boodschap in bijvoorbeeld spraak en schrift te worden gecodeerd en na verloop van tijd weer gedecodeerd te worden als output-boodschap, die nagenoeg of geheel dezelfde is als de input boodschap. De zender ofwel input-gevende persoon kan, maar hoeft niet dezelfde te zijn als de ontvanger of output-nemende persoon. In geval van verschillende individuen is de

gelijkheid van code en decode waarschijnlijk moeilijker te realiseren dan wanneer het een geheugensteun is voor één iemand die ook nog zijn natuurlijke geheugen erbij kan gebruiken. Die "code-symmetrie" is bij transmissie ook weer een voorwaarde om de boodschap van de ene hersenmassa naar de andere te krijgen. Daarbij komt de symmetrie van zenden en ontvangen, want bij vervorming, ruis, lacunes e.d. in het kanaal, is de code-symmetrie op zich niet toereikend. Wat voor het kanaal geldt, is ook van toepassing op de technische opslag. Code-, kanaal- en opslag symmetrie zijn middelen voor een soort "begripsymmetrie". De intentie bij de input wordt begrepen bij de output. In het geval van een technisch toestel als de oven, is er geen intentie. Wel heeft de ontwerper ervan de intentie gehad bij oververhitting de waarschuwingsboodschap over te krijgen. De displays op het toestel zijn dan wel niet symmetrisch te noemen met de zintuigen, maar de interface dient wel te communiceren op een voor de zintuigen waarneembare en op een voor het brein begrijpelijke wijze.

14.5 Technische hulpmiddelen en signalering.

In ons kader van het ontwerpen van artificiële codering, zijn verschillende categorieën van technische hulpmiddelen te onderscheiden:

14.5.1 De sensorisch-direct ondersteunende hulpmiddelen (nul-categorie)

Bij de bril en de eenvoudige oor-toeter is er alleen sprake van enige verandering. Zo men wil een lichte transductie van de signalen (wat te klein, te groot, te snel of langzaam, te donker of zacht, of te licht of luid is) veranderen tot de geschikte opvangmodaliteit van het zintuiglijk venster.

14.5.2 Technische hulpmiddelen zonder speciale signaalgevers.

Het object als totaal kan een signaalbron zijn voor de gebruiker. Er kan snel een totaalindruk van het produkt worden verkregen en, afhankelijk van de intentie en ervaring van de gebruiker, worden onderdelen, -standen e.d. waargenomen. Er is hier wel degelijk sprake van codering. Het beeld wordt wel eens gebruikt (ide130 p.91) van de gebruiker die in zijn geheugen een drietal 'woordenboeken' over produkten en hun onderdelen heeft opgeslagen: wat is't, waartoe dient het (me) en hoe (door mij) te bedienen? Ofschoon in onze wereldregio in de huidige tijd de meeste gebruikers met honderden typen en uitvoeringen van alledaagse gebruiksgoederen redelijk kunnen omgaan en die codering dus bestaat en ook werkt, is het geen eenduidige/aansluitende code. We ontwerpen er produkten, hun opbouw, vorm, kleur, textuur e.d. mee, maar de code is goeddeels als "vocabulaire en grammatica" ongeschreven, althans vaag en niet eenduidig. Via veel onderzoek zou die code kunnen worden geëxpliciteerd en, waar nuttig, gestandaardiseerd, omwille van een duidelijker, veiliger en efficiënter MPI.

14.5.3 Produkten met speciale signaalgevers, displays.

Een display kan een enkel lichtje, zoemer of woord betreffen. Het kan ook gaan om dynamische, visuele of auditieve signaalgevers met beelden op een scherm of een gesproken tekst uit chip of tape. Hier is een boodschap omgezet in een ontworpen code en gelden regels van symmetrie en geschiktheid voor de zintuigen en breinen, in al hun variatie binnen de beoogde gebruikersgroep.

Waren beide voorgaande produktcategorieën voorzien van codes om iets te melden over de aard, structuur en veranderingen in het functioneren van die produkten zelf, de volgende drie categorieën zijn nagenoeg geheel gericht op de boodschap, op de

informatie-verschaffing zelf. De aandacht voor de technische aard en functie-ervulling dient daarbij te worden geminimaliseerd en liefst totaal absent te zijn.

14.5.4 Technische hulpmiddelen voor informatie-opslag.

Het geheugen van de gebruiker wordt ondersteund door schrift, getal, figuur en schema en dit op velerlei dragers van papier, metaal, kunststof, elektronische tapes of schijven e.d. De input-output symmetrie, ofwel het behoud van de boodschap, is hier essentieel. De interactie met het mnemisch (geheugen) hulpmiddel is gewoonlijk informatieel complexer en vergt vaak zoeken, kiezen, herhaald oproepen en wellicht ook bewerken en printen. Het simuleert als het ware het putten uit het eigen geheugen in het brein. Veel van die informatie-opslag is echter nieuw voor de gebruiker; wegens de beschikbaarheid in een artificieel geheugen, behoefde men het zelf niet te onthouden. Dat verandert evenwel niets aan de eisen van waarneembaarheid en interpreteerbaarheid en dus ergonomische codering.

14.5.5 Hulpmiddelen voor intermenselijke communicatie.

Deze produktcategorie simuleert de lijfelijke nabijheid van twee of meer personen, die informatie uitwisselen. Dat kan beperkt zijn tot alleen het auditieve (spraak is een communicatie-code bij uitstek) of tot alleen het visuele. Vaak is het ook beide. De belangrijke niet-verbale expressie, ofwel lichaamstaal, de mimiek en gesticulatie zal lang niet altijd mee worden overgebracht en ook zal de resolutie, bijv. 3D bij video, soms minder zijn dan in de natuurlijke situatie, of zal het artificiële hulpmiddel het natuurlijke communicatie-gedrag beïnvloeden. Beeld en taal komen liefst perfect over. De toekomstige vertaal-telefoon (bijv. de ene spreker in het nederlands, de ander in het japans) zal ook nog het probleem krijgen van het mee-coderen van intonatie, zinsmelodie en emotie.

De communicatie-hulpmiddelen kunnen één vast kanaal tussen twee lokaties of personen hebben (bijv. babyfoon), vaker echter is er sprake van netwerken in vele vormen (ster-, matrix-vorm e.d.). Het kan éénrichtingsverkeer zijn en dus geen (interactieve)communicatie in strikte zin: radio, TV, oproepsysteem; of tweerichtingsverkeer tussen twee personen of twee groepen (telefoon, fax). De techniek ontwikkelt zich naar communicatie tussen meer dan twee personen/lokaties tegelijkertijd: vergadertelefonie, video-conferencing.

14.5.6 Pure informatiebewerkers ofwel data-processoren.

Een computer kan worden beschouwd als een snelle rekenaar, volgens opgegeven commando, van ingevoerde gecodeerde informatie. Meestal echter zijn die commando's als software programma's in de elektronische geheugens ingevoerd en ook bestaat het invoeren van data dikwijls uit het inbrengen of aanschakelen van andere artificiële geheugens. Voortgekomen uit de rekenmachine en dus met numerieke bewerkingen, is de machine-code binair digitaal. Hierdoor is de interactie-taal ook sterk kwantitatief-formeel en nog verre van natuurlijk. De begrippen en sequenties van invoeren, sturen en presenteren, zijn eveneens van een artificiële code, die strikter ofwel formalistischer is dan de vage en speelse taal van het dagelijks probleem oplossend overdenken en bedenken op natuurlijke wijze. Die natuurlijke, fuzzy, wijze wordt echter in hoge mate gekenmerkt door individuele codes: ieder denkt weer anders en niemand blijft ook precies gelijk in zijn denken. Voor het gebruiken van een extern, kunstmatig brein zal de interactie-code dus geobjectiveerd en gestandaardiseerd moeten worden. De leerprocessen die nu ervoor gevraagd worden, de vele fouten bij bediening en de mentale inspanning, verwijzen echter wel

naar de wenselijkheid om de commando's, stappen en volgorden en de taal en structuur van de data-presentatie, een menselijker code mee te geven. Er begint een software-ergonomie en een interface-ergonomie te ontstaan om verder in die richting te groeien. Het subjectieve, mentale model, dat een bepaald individu over de artificiële processor heeft, zijn voorkennis, denkwijzen en oplossingsstactieken, kunnen alle een meer 'customized' codering funderen. Opmerkelijk is dat in toenemende mate de informatie processoren ook onderling, deels automatisch, kunnen communiceren. Data-banken wisselen gegevens uit (EDI, electronic data interchange) en perifere computers kunnen samenwerken via netwerken. De automatisering van data-bewerking, gekoppeld aan tele-communicatie, wordt ook vaak Telematica genoemd. Zoals ook bij industriële automatisering het geval is, verloopt veel beslissen en besturen dus buiten de menselijke ingreep om. Dit alles geschiedt uiteindelijk toch ten bate van mensen en de automatische netwerken hebben altijd ergens nog human interfaces, voor consumenten, klanten, reparateurs, programmeurs, strategen en ontwerpers. Het gaat dus nooit zonder ergonomische codering.

14.6 Code-dimensies

Gesteld voor de opgave, signalen uit of aan een technisch systeem te genereren, vormen de specificaties van de menselijke zintuigen het eerste richtsnoer. De signalen dienen immers vooreerst waarneembaar te zijn. Over die sensorische specificaties is ergonomisch redelijk wat bekend. Het principe is dat de signalen zodanig dienen te worden gekozen naar modaliteit, frequentie intensiteit en tijdskenmerken, dat ze gemakkelijk kunnen worden ontdekt als aanwezig en goed uit elkaar kunnen worden gehouden. Bij de analyse van de zintuiglijke resoluties en dan vooral van de visuele en auditieve systemen blijkt een indrukwekkend onderscheidingsvermogen zolang de prikkels tegelijkertijd kunnen worden vergeleken. Deze 'simultane' discriminatie bedraagt, bijvoorbeeld visueel in het spectrum van 380-720nm een totaal van 120 tot 160 onderscheidbare kleurstappen; zo kan het gezonde oor ook 300 stappen van luidheid uiteenhouden. Omwille van de volledigheid volgt hier de tabel (12.11 uit ide 130) met verschillende kwaliteiten van zien, horen en huidzintuigen.

Dit simultaan contrast is echter niet maatgevend voor het coderen. Bij signalen gaat het om de herkenbaarheid en onthoudbaarheid van het enkele signaal en dat zonder veel vergissingen. In voorgaande specificatie-tabel kan dan ook ontdekt worden dat de "absolute discriminatie" veel geringer is dan de simultane. De 120 tot 160 kleurstappen verminderen tot 10 á 14 en de 300 luidheden tot 3 á 5. Bij het kiezen van sensorische code-dimensies lette men dus op het aantal mogelijke stappen, die na welgekozen spreiding over hun dimensie, elk een andere toestand kunnen 'vertegenwoordigen', ofwel informeren volgens afspraak over een bepaald verschijnsel. Bijvoorbeeld een reeks van vier zwarte cirkels in duidelijk (absoluut contrast) oplopende grootte vertegenwoordigen op een landkaart steden van verschillende grootte-klasse wat betreft aantal inwoners.

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 grote gevoeligheid	380 - 720 nm violet - rood (445, 535, 575 nm)	20 - 20.000 Hz laag - hoog (2000 - 4000 Hz)	tot 400 pulsen/s tot 10.000 c.p.s
discriminatie - simultaan (resolutie)	1 tot 20 nm 120 - 160 kleuren	(< 1000 Hz); 3 Hz (> 1000 Hz); 0,3% 1800 hoogten	180 stappen
- absoluut (geheugen)	10 - 14 kleuren	4 - 5 hoogten	?
amplitude: breedte	10^{-9} - 10^{-2} cd/m ² voor staafjes 10^{-1} - 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 kegeltjes: 560	4000 Hz	
discriminatie - simultaan (resolutie)	$\delta I/I$ 0,05 500 helderheden	bij 1000 Hz: 0,5 dB (signaal 20 dB)	?
- absoluut (geheugen)	1 boogseconde 3 - 5 helderheden	300 luidheden 3 - 5 luidheden	?
temporeel: verwerkingssnelheid fusie latentietijd adaptietijd reactietijd	3400 Kbits/s 75 onderbr./s 0,1 s 2 - 30 min 0,17- 0,22 s	8 Kbits/s 2000 onderbr./s 0,01 s 2 - 10 s 0,15 - 0,20 s	? 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 14.3 Verschillende kwaliteiten van een aantal bewuste zintuigvensters

Om een indruk te geven van enkele code-dimensies, volgt hierna een tabel, waarin naast de naam en eenheid ook, benaderenderwijs het aantal stappen in absolute discriminatie staat weergegeven en daarmee dus ook de 'code-capaciteit', ofwel informatie-mogelijkheid ervan. Tevens staat per dimensie een globale schatting van de benodigde tijd om zulk een signaal waar te nemen. Andere codevoorwaarden, zoals visuele grootte in booggraden kijkhoek, dienen elders te worden opgezocht.

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
lijnlengthe	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 14.4 Codedimensies.

De keuze van een code-dimensie is echter niet alleen een zaak van code-capaciteit, waarnemingstijd en omvang. Ook nog andere factoren, zoals de volgende, zijn bij de keuze te betrekken:

- Kwalitatief versus kwantitatief onderscheid: Kleurcode heeft geen kwantitatieve betekenis. Groen is niet meer of minder dan blauw en rood is niet drie maal zoveel als paars. Kleur is voor (snelle) identificatie en betreft dus waarden op een nominale schaal en niet op een ordinale of ratio-schaal. Hetzelfde geldt voor geuren. Voor licht-quantitatieve informatie zoals rangorde van omvang, grootte of intensiteit, zijn de meeste overige code-dimensies anders dan 'vorm' van de voorgaande tabel wel enigermate te gebruiken. Voor kwantitatieve informatie ligt het voor de hand getallen (visuele vormen dus of eventuele getallen in machinespraak) te bezigen.
- Compatibiliteit: op basis van overeenstemming in vorm, of door veel voorkomende associatie of eenvoudigweg door alom gevolgde afspraken, zijn er spontane verwachtingen over welke signalen beter of slechter bij een bepaalde boodschap passen. Veel is indiffernt, maar veel wordt echt niet passend gevonden. Snelheid coderen met verschillende stappen van textuur-dichtheid, of met groepjes-stippels (dobbelsteen-aantal) wekt verbazing en misverstand; lijnlengthe of flikker frequentie zouden in ieder geval beter zijn, maar evenmin ideaal. Beter zou natuurlijk zijn een ronde of lineaire schaal met pijl, markering, enkele getallen en de aard c.q. eenheid van het verschijnsel, bijv. m/s of km/h

- Redundantie: de juistgenoemde snelheidsaanduiding is een voorbeeld van multi-dimensioneel en redundant coderen: er is een schaaloppervlak, wijzer, markering, getallen; men kan snel de hoek of relatieve positie van de wijzer opnemen of het getal bij de wijzerpunt aflezen. Het zich verlaten op slechts één code-dimensie is vaak riskant (bijvoorbeeld allemaal dezelfde knoppen die alleen van plaats verschillen). Redundant coderen versnelt het leren onderscheiden en geeft ook bij vermoeide of nerveuze waarnemers meer zekerheid van een juiste perceptie. Bij multi dimensioneel coderen is de resulterende code-capaciteit echter wel minder dan de vermenigvuldiging van de code-capaciteit van de samenstellende dimensies: kleur (9 dimensies) gecombineerd met grootte (7 dimensies) geven tezamen geen 63 duidelijk waarneembare stappen (te gebruiken voor coderen).
- Normalisatie: Enigszins verbonden aan de voorgaande verwachtingen (genoemd bij de compatibiliteit) is het gegeven dat gewoonten in codes navolging verdienen, omdat leerprocessen al hebben plaatsgevonden. Zowel de relatie tussen signaal en directe betekenis, als tussen signaal en geboden reactie zijn vaak algemeen bekend. Usances zijn echter niet altijd efficiënt en een oude code voor een nieuwe boodschap kan verwarren.

Hebben we het tot nu vooral gehad over een dusdanig kiezen van de code, dat de signalen in de zintuigen doordringen, daarmee is nog niet het doel van de boodschap bereikt: juiste interpretatie, goed begrip. Bij teruglezen van de vorige vier sensorische code voorwaarden wordt duidelijk dat elk ervan ook cognitieve aspecten bezat en goed begrip bevordert. De cognitieve code-voorwaarden bestrijken echter ook een hoger niveau en zijn daardoor ook moeilijker te specificeren. Zij hebben meer van doen met zoiets als de betekenisstructuur van de boodschap, in de zin of de betekenishebbende elementen een samenhang vertonen, die aansluit bij de kennis, verwachting en denkstijl van de ontvanger. Is er symmetrie in vocabulaire en grammatica; is de boodschap voor de ontvanger zinvol en geloofwaardig? Daarbij komt de overweging omtrent het leerproces: hoeveel tijd, concentratie en mentale inspanning vergt het goed lezen van de code, zodat min of meer automatisch en foutloos de boodschap overkomt. En is die voorbereidende investering dat soort boodschappen waard? Indien niet, is dan een redundanter codering of een die compatibeler is te overwegen? Het langdurig leerproces, dat elke alfabeet doorliep om de alfa-numerieke codes te begrijpen, is de moeite waard, omdat de meeste en meest gevarieerde informatie in die codes wordt ondergebracht. Het leren van een andere set 'iconen' (vormtekens) zoals picto- of ideogrammen, vergt tijd, maar kan bij veelvuldig gebruiken erna renderen. Hetzelfde geldt voor het leren van het internationale SI-stelsel van eenheden (m,s, Kelvin etc.) met hun grootte voorvoegsels (van $y = \text{yocto} = 10^{-24}$ tot $Y = \text{Yotta} = 10^{24}$).

Ook van cognitieve orde is de ordening, prioritering en groepering van signalen in ruimte en tijd: tabel, schema, model, plattegrond, tijdsvolgorde, pauzes, alinea's e.d. Deze structurering dient het overzicht, het onthouden, het snel identificeren e.d. Leerprocessen worden erdoor bevordert en ook bij herhaald gebruiken stimuleert dit het ontwikkelen van individuele vuistregels, routines, short-cuts en tactieken.

14.7 Systematisch ontwerpen van codering

Het voorgaande gaf een overzicht van theoretische en praktische overwegingen voor het statisch of dynamisch vastleggen in code en signaal van specifieke boodschappen, die van nut of essentieel zijn bij mens-produktinteractie. De algemene aard ervan vergt

een verder detailleren en verbijzonderen bij elk van de typen van, vooral informatiele, produkten en systemen. Dat zal in verschillende van de volgende hoofdstukken dan ook aan bod komen.

Hier willen we afsluiten met enkele ontwerpmethodologische stappen ter zake van de keuze of van het ontwerpen van codering.

- Identificeer het type van technisch hulpmiddel (zoals bijv. in 14.5)
- Omschrijf de informatiele functies van het hulpmiddel ook in sensorisch- en cognitief-ergonomische termen.
- Omschrijf de sensorische en cognitieve eigenschappen, beperkingen optima en gewoonten van de beoogde gebruikersgroep en hun varianties daarbij.
- Tracht een beeld te achterhalen omtrent de subjectieve, mentale modellen van die gebruikers bij soortgelijke produkten en gebruikssituaties.
- Maak theoretisch en proefondervindelijk een analyse van de meest voorkomende en de meest belangrijke boodschappen en hun volgorde.
- Kies op basis van de voorgaande inzichten, schattingen en feiten de code-dimensies en hun dragers (rekening houdend met 14.6).
- Ontwerp de interface en toets met een simulatie, zoals met een model, mock-up of computer-simulatie, doe dit met een representatieve groep van ervaren en onervaren gebruikers, die opdrachten uitvoeren en hun commentaar, visie en suggesties geven.
- Stel codering, dragers, interface en informatiele structuur bij op grond van voorgaande bevindingen.





15 Grafisch gepresenteerde informatie

Inleiding

Informatie in grafisch vorm is, zeker in de Westerse wereld, overal en vertoont zich in allerlei variëteiten. Ook de wijzen waarop die informatie door mensen gebruikt wordt en de doelen die ze ermee willen bereiken, zijn erg divers. Dat kan uiteenlopen van het vluchtig controleren van een huisnummer vòòr het aanbellen of het volgen van wegwijzers naar een parkeergarage tot het lezen van een foutmelding op een computerscherm, het opzoeken van een treinverbinding in het spoorboekje, het raadplegen van een gebruiksaanwijzing bij een apparaat, het zoeken van informatie in een wetenschappelijk handboek of het lezen van een roman van begin tot eind.

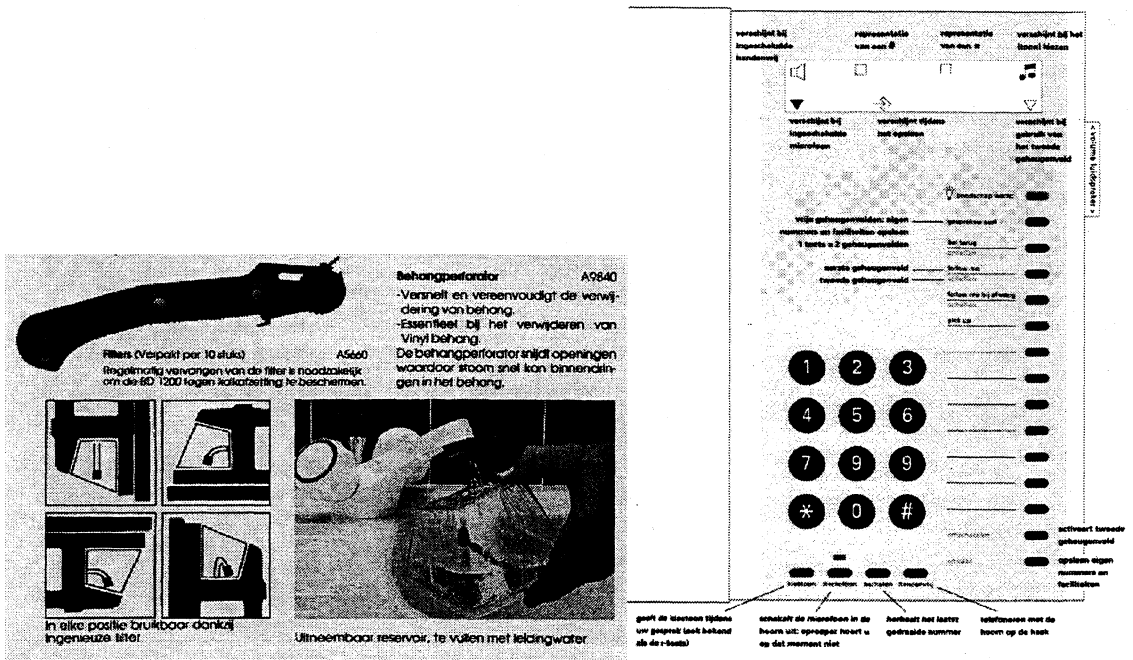
Behalve die enorme verscheidenheid aan soorten grafische informatie en aan doelstellingen waarmee mensen die informatie lezen, kunnen gebruikers ook op allerlei verschillende manieren fysiek met informatiedragers omgaan: pagina's omslaan, bladeren om een bepaalde passage terug te vinden, zoeken op onderwerp via de index, etc. Dit soort manipuleren is niet bij alle soorten informatiedragers aan de orde: zo kan een uitgebreide gebruiksaanwijzing ruime mogelijkheden tot manipuleren bieden, maar bijvoorbeeld bij een kamernummerbordje in een kantoorgebouw kan er geen sprake van zijn. Nog een andere bron van variatie bij het gebruiken van grafische informatie is de omgeving waarin dat gebruik zich afspeelt. Belangrijk zijn in alle gevallen de lichtomstandigheden, maar in elke specifieke situatie zijn andere, eveneens kritische factoren te ontdekken. Denk bijvoorbeeld aan de snelheid waarmee automobilisten een ANWB-bord naderen, de beperkte tijd waarin ze dan de bestemmingen moeten lezen en de andere taken die ze onderwijl moeten uitvoeren.

Samenvattend: grafische informatie is er in grote verscheidenheid, mensen gebruiken die informatie op allerlei manieren en voor uiteenlopende doelen, ze manipuleren de informatiedragers op verschillende manieren, en dat alles onder heel diverse omgevingsomstandigheden. Ondanks al deze variatie is er altijd een gemeenschappelijke kern bij het gebruiken van grafisch gepresenteerde informatie. Gemeenschappelijk aan alle informatie zelf is dat die is opgebouwd uit grafische tekens. In het geval van tekst zijn dat letters, die gegroepeerd zijn in woorden of in woorden en zinnen. Maar ook kan de informatie in bijvoorbeeld grafieken, tabellen of pictogrammen zijn weergegeven. Gemeenschappelijk aan alle verschillende vormen van lezen is dat de lezer de tekens met de ogen aftast en omzet in begrippen en betekenissen.

Over deze gemeenschappelijk kern is voor wat betreft het lezen van tekst veel onderzoek gedaan, met name vanuit de psychologie en de taalwetenschap. Een deel van de kennis die dit onderzoek heeft opgeleverd, is in ergonomisch opzicht interessant en komt in het vervolg van dit hoofdstuk aan de orde. Veel minder onderzoek is er gedaan naar het gebruik van grafische informatie in een andere vorm dan tekst, zoals grafieken, tabellen of pictogrammen. Het meeste van dit onderzoek heeft echter wel directe ergonomische implicaties. Er is weinig of geen onderzoek bekend naar de doelstellingen van gebruikers van grafische informatie en naar de wijzen waarop zij informatiedragers gebruiken of zouden willen gebruiken. Bij verreweg het meeste leesonderzoek ligt de tekst bij wijze van spreken op de juiste plek opengeslagen op tafel als de proefpersoon binnenkomt en verder ligt vast welke taak

met die tekst moet worden uitgevoerd, bijvoorbeeld typfouten opzoeken of de tekst lezen en vervolgens vragen over de inhoud beantwoorden. De variatie in die taken is, gerekend over al het leesonderzoek, eigenlijk heel beperkt.

Concluderend: de kennis over het gebruik en de bruikbaarheid van grafische informatie beperkt zich voornamelijk tot het lezen en de leesbaarheid van tekst. Andere gebruikaspecten en andere soorten grafische informatie zijn tot op heden veel minder diepgaand onderzocht.



Figuur 15.1 Voorbeelden van grafische producten.

Dit hoofdstuk betreft zowel zelfstandige grafische producten (bijvoorbeeld een handboek bij een computerprogramma of een folder) als grafische elementen van of op producten, waarmee extra informatie wordt gegeven (bijvoorbeeld een bijschrift bij een knop van een apparaat of een sticker met een waarschuwing op een machine). In het vervolg van dit hoofdstuk worden achtereenvolgens behandeld:

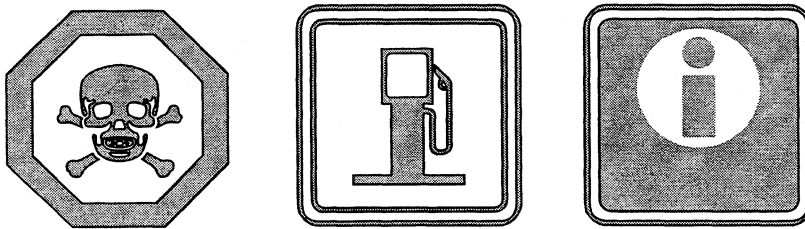
- grafische tekens
- bruikbaarheid van grafische informatie
- het lezen van tekst
- het begrip 'leesbaarheid' en leesbaarheidscriteria
- richtlijnen voor het ontwerpen van leesbare gedrukte tekst
- illustraties, tabellen en grafieken als onderdelen van een tekst
- pictogrammen, symbolen en 'icons'
- leesbaarheid van tekst op elektronische schermen.

15.1 Grafische tekens

Voordat nu begonnen wordt met het bespreken van de ergonomie van grafische informatie, wordt eerst kort ingegaan op de vraag, wat grafische informatie eigenlijk is

en met welke middelen die tot stand wordt gebracht. Voor het grafisch overbrengen van informatie wordt gebruik gemaakt van visuele vormcodering. Door middel van helderheidstegenstellingen worden 'figuren' gecreëerd die loskomen van hun 'achtergrond'. Deze figuren zijn de kernelementen van grafische informatie-overdracht. Ze worden tekens genoemd. Een teken wordt gedefinieerd als een eenvoudige figuur met een (naar de inhoud van de informatie) verwijzende waarde. Er zijn verschillende categorieën tekens te onderscheiden, de gehanteerde definities zijn echter niet waterdicht en aan benamingen worden ook niet altijd dezelfde betekenissen toegekend. Wij noemen hier:

- symbool: een teken met een emotionele, vervangende waarde (voorbeeld: een doodshoofd en gekruiste beenderen voor de aanduiding van vergif);
- pictogram: een gestileerde afbeelding van een object, persoon of proces (voorbeeld: een benzinepomp om een tankstation aan te geven);
- ideogram: een eenvoudig teken dat verwijst naar een abstract, algemeen begrip of idee (voorbeeld: een letter i die staat voor informatie of de figuur 8 die het begrip acht aanduidt);
- fonogram: een teken voor een klankelement uit de gesproken taal, zoals letters, fonemen, lettergrepen, woorden (voorbeeld: een a die staat voor de klank aa).



Figuur 15.2 Voorbeelden van een symbool, een pictogram en een ideogram.

De grafische elementen van bijvoorbeeld tekeningen of grafieken vallen niet binnen deze categorieën.

Binnen de tekens vormen de zogenoemde *alfanumerieke tekens* een belangrijke groep, samengesteld uit verschillende van de hierboven genoemde categorieën. Tot de alfanumerieke tekens worden gerekend:

- het Latijnse alfabet (kapitalen en onderkast) met toegevoegde varianten, zoals combinatieletters (æ), doorstreepletters (ϕ) en letters met accenten (è), andere boventekens (ñ, ü) of ondertekens (Ç);
- de Arabische cijfers (0 tot en met 9);
- sommige Griekse letters (bijvoorbeeld β en Σ);
- de leestekens (bijvoorbeeld ', ?, :) en andere veel gebruikte tekens (bijvoorbeeld @, &, #);
- de wiskundige hulptekens (bijvoorbeeld +, =, >).

Voor de opslag en overdracht van informatie wordt heel veel gebruik gemaakt van de alfanumerieke tekens, die een zeer informatie-intensieve code zijn, dat wil zeggen dat er met relatief weinig verschillende tekens ontzaglijk veel en uiteenlopende informatie kan worden vastgelegd. De precieze vormen van de tekens hebben inmiddels een ontwikkeling van eeuwen doorgemaakt onder invloed van, onder meer, (technische) veranderingen in de beschikbare mogelijkheden voor informatiedrager en tekenmiddel. Deze ontwikkeling staat nog niet stil; zo worden er momenteel nog nieuwe lettertypen ontworpen die beter toegesneden zijn op gebruik op een computerscherm.

15.2 Bruikbaarheid van grafische informatie

Grafische informatie is, als ieder artefact, bestemd voor gebruikers, die daar in een bepaalde situatie een specifiek doel mee willen bereiken. Voor goede bruikbaarheid moet grafische informatie zo ontworpen zijn dat de gebruikers dat doel, in die situatie, gemakkelijk en effectief kunnen verwezenlijken.

Voor het ontwerpen van goed bruikbare grafische informatie moeten in ieder geval de gebruikers, hun doelstelling, de aard van de informatie en de omgevingsomstandigheden goed geanalyseerd worden. Ten eerste moet vastgelegd worden, wie de beoogde gebruikers zijn en wat hun belangrijkste (gemeenschappelijke of juist onderscheidende) kenmerken zijn, bijvoorbeeld wat betreft gezichtsscherpte, geoefendheid in het omgaan met grafische informatie, kennisniveau, gehaastheid, nervositeit, culturele achtergrond en mogelijke subjectieve voorkeuren.

Vervolgens moeten de doelstelling van de gebruikers en de aard van de informatie in samenhang gezien worden. Concreet kan dit gebeuren door het zo goed mogelijk beantwoorden van de volgende vragen:

- waartoe wordt de informatie gebruikt, bij welke taak (in werk of vrije tijd) speelt de informatie een rol en hoe belangrijk is de informatie in dat kader?
- wat voor soort informatie is het die de gebruiker bij die taak nodig heeft (opschrift, gebruiksaanwijzing, wetenschappelijk naslagwerk, etc.) en is die informatie noodzakelijk of redundant?
- hoe zal de informatie gebruikt worden (zoeken naar een onderwerp en dan lezen, van begin tot eind lezen, oppervlakkig bekijken, etc.) en verwacht de gebruiker de informatie wel of niet?

Tenslotte moet nagegaan worden, in welke omgeving(en) de informatie gebruikt zal worden. Verlichtingsomstandigheden zijn belangrijk, maar ook aspecten als afstand en mogelijke beweging van de gebruiker ten opzichte van de informatie, kans op vervuiling van de informatiedrager, etc.

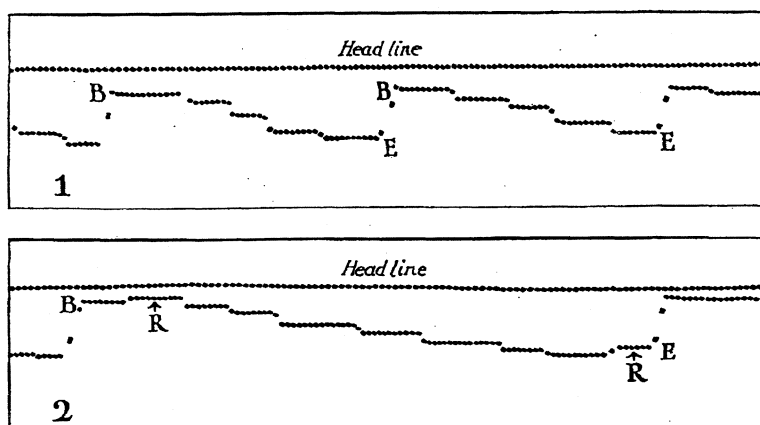
Een analyse zoals hier voorgesteld levert specifieke gegevens op in een specifiek ontwerpproject. Daarnaast zijn er op basis van gegevens uit de wetenschappelijke literatuur meer algemeen geldende richtlijnen te geven voor bepaalde aspecten van de bruikbaarheid van grafische informatie. In het vervolg van dit hoofdstuk wordt in dit verband eerst dieper ingegaan op het lezen en de leesbaarheid van tekst.

15.3 Het lezen van tekst

Teksten bestaan uit reeksen alfanumerieke tekens, die gegroepeerd zijn in woorden en die op hun beurt meestal weer in zinnen. Die alfanumerieke tekens zijn een vormcode, waarin een zender een boodschap kan coderen en grafisch vastleggen. De ontvanger van de boodschap (de gebruiker van de tekst, de lezer) moet de gecodeerde boodschap kunnen decoderen en dan de inhoud van de boodschap begrijpen. Om dit hele proces van coderen en decoderen succesvol te laten zijn, is het tenminste noodzakelijk dat zender en ontvanger overeenkomstige wijzen van coderen en decoderen gebruiken: er moet 'code-symmetrie' zijn. Zo is er bijvoorbeeld een probleem, als de zender voor het coderen van de boodschap een taal of termen gebruikt die de ontvanger niet kent. In het geval van coderen met alfanumerieke tekens is code-symmetrie er niet impliciet of van nature, maar berust die op afspraken en leerprocessen.

Over het lezen van teksten, in de beperkte zin van met de ogen reeksen tekens aftasten en omzetten in betekenissen en begrippen, is en wordt op ruime schaal onderzoek verricht. De bestaande kennis op dit terrein wordt hier beknopt samengevat aan de hand van drie in het leesproces te onderkennen niveaus. Op het eerste niveau worden de individuele tekens door de lezer onderscheiden en als zodanig geïdentificeerd. Op het tweede niveau worden, door middel van oogbewegingen, de reeksen tekens opgenomen en gegroepeerd in betekenis hebbende elementen (woorden of getallen, zinsdelen, zinnen). Tenslotte wordt op het derde niveau de opgenomen informatie verwerkt en wordt de inhoud van de tekst, als alles goed gaat, begrepen.

Van deze drie niveaus in het lezen van tekst kan het tweede, *opnemen*, het meest direct bestudeerd worden en wel via observatie van de oogbewegingen. Oogbewegingen tijdens het lezen zijn niet vloeiend, maar bestaan uit series snelle sprongen, die 'saccaden' worden genoemd. Tussen de saccaden blijft het oog gedurende een korte periode, een 'fixatie', op één punt gericht, afgezien van uiterst kleine bewegingen, waarop hier niet verder wordt ingegaan. De meeste fixaties duren tussen 200 en 250 ms en ze beslaan te zamen ongeveer 95% van de leestijd. Tijdens saccaden onderdrukt het visuele systeem actief het binnenkomende visuele signaal, waardoor alleen gedurende fixaties informatie opgenomen kan worden. Soms maken de ogen een sprong terug om al eerder gelezen woorden opnieuw te lezen; dit wordt een 'regressie' genoemd. Als het om lopende tekst gaat die in regels is gedrukt, is er verder een grote terugsprong, een 'return sweep', van het eind van elke regel naar het begin van de volgende. Op een doorsnee regel tekst met ongeveer 60 karakterposities, vinden 5 tot 6 fixaties plaats, uitgaande van een geoefende lezer en normale leesafstand. Per fixatie worden maar ongeveer 4 tekens afgebeeld op de fovea van het netvlies. Per regel zijn dat maximaal ($6 \times 4 =$) 24 tekens, minder dan de helft van alle tekens op de regel. Verder is bekend dat alleen in de fovea het oplossend vermogen van het visuele systeem groot genoeg is om losse alfanumerieke tekens goed te kunnen onderscheiden. (Op 5 graden vanuit het centrum van de fovea is de gezichtsscherpte al gehalveerd.) Hieruit valt te concluderen dat het voor het effectief verlopen van het lezen van tekst kennelijk niet nodig is dat alle individuele tekens worden onderscheiden en geïdentificeerd. Het idee is dat de geoefende lezer gebruik maakt van meer globale eigenschappen van de woorden als totaal, bijvoorbeeld woordlengte en woordcontour. In figuur 15.3 staat een illustratie van een meting van de oogbeweging tijdens het lezen.



Figuur 15.3 Een voorbeeld van het vastleggen van oogbewegingen. In de bovenste afbeelding een 'goede' lezer, in de onderste een 'slechte' (B = begin van een regel, E = einde van een regel en R = regressie, uit: Tinker, 1963).

Zoals gezegd, ligt de duur van fixaties tussen 200 en 250 ms. Uit onderzoek is gebleken dat mensen de hoeveelheid informatie die tijdens een leesfixatie wordt opgenomen, ook in 20 ms kunnen opnemen (als die informatie tenminste in de vorm is van bekende woorden). Het opnemen van dergelijke visuele informatie kan dus theoretisch tienmaal sneller dan het bij gewoon lezen gaat. De veronderstelling is dat in ieder geval een deel van die extra tijd per fixatie nodig is in verband met het tempo waarmee (stukken van) boodschappen begrepen worden. Over de vraag, hoe het lezen op dit derde niveau, *begrijpen*, verloopt, zijn de meningen in de literatuur niet eensluidend. Zo is nog niet duidelijk, in welke mate het patroon van oogbewegingen van invloed is op het begrijpen en in welke mate deze begripsprocessen de oogbewegingen sturen. Het lijkt echter wel zeker dat de redundantie van lopende tekst (er is meer geschreven dan strikt noodzakelijk zou zijn) het mogelijk maakt om steekproefsgewijs te lezen en toch de inhoud te begrijpen. Dit komt erop neer dat tijdens het lezen verwachtingen ontstaan bij de lezer omtrent de inhoud van het vervolg van de tekst. Deze verwachtingen, die worden getoetst en zonodig bijgesteld op grond van steekproeven die uit de tekst worden genomen, zijn van invloed op de aard van de gedecodeerde boodschap. De meest globale ideeën over de inhoud van een tekst krijgt de lezer eigenlijk al bij het eerste contact met de informatiedrager, bijvoorbeeld een boek: de titel geeft informatie, evenals de omvang, de inhoudsopgave, etc.

15.4 Het begrip 'leesbaarheid' en leesbaarheidscriteria

Leesbaarheid van tekst wordt gedefinieerd als die factoren in de grafische vormgeving en formulering van de tekst die van invloed zijn op het gemak, de snelheid en de nauwkeurigheid waarmee informatie kan worden gelezen. Naar analogie van de drie niveaus in het leesproces kunnen ook in het begrip leesbaarheid drie niveaus worden onderkend:

- onderscheidbaarheid
- opneembaarheid
- begrijpelijkheid.

Onderscheidbaarheid heeft betrekking op de eigenschappen (zoals grootte en vorm) van de individuele tekens. Opneembaarheid betreft de wijze waarop de tekens in reeksen worden gerangschikt: letter-, woord- en regelspatiëring. Begrijpelijkheid heeft te maken met onder andere indeling, formulering en inhoud van de tekst. De opdeling van leesbaarheid in deze drie niveaus is niet algemeen aanvaard. De term leesbaarheid wordt soms voor elk van de drie gebruikt. In de Engelstalige literatuur wordt soms 'legibility' gebruikt voor de eerste twee leesbaarheidsniveaus en 'readability' voor begrijpelijkheid. De drie niveaus geven echter een bruikbare indeling om resultaten van lees- en leesbaarheidsonderzoek te rangschikken, als in een volgende paragraaf wordt gezien hoe goede onderscheidbaarheid, opneembaarheid en begrijpelijkheid van tekst bereikt kunnen worden.

Om leesbaarheid meetbaar te maken, worden allerlei onderzoeksmethoden gebruikt.

Eerst enkele methoden om de leesbaarheid van *losse woorden en letters* te meten:

- snelheid van waarneming; daarbij worden losse letters of woorden heel kort vertoond met behulp van een tachistoscoop of computer; de leesbaarheid wordt dan geacht beter te zijn naarmate de aanbestedingstijd korter kan zijn voor een bepaalde leesprestatie, ofwel naarmate de letters of woorden sneller waargenomen kunnen worden; de methode is met name geschikt om de relatieve onderscheidbaarheid van verschillende letters en lettertypen te bepalen;

- waarnemingsafstand; de afstand waarop letters nog juist leesbaar zijn, wordt bepaald; de methode is geschikt als het gaat om bijvoorbeeld borden of reclames die van grotere afstand gelezen moeten worden;
- waarneming in de periferie van het gezichtsveld; letters of woorden worden aan de rand van het gezichtsveld gepresenteerd en dan wordt de afstand vanaf het fixatiepunt bepaald waarop die letters of woorden nog juist leesbaar zijn; zo'n afstand wordt uitgedrukt in een visuele hoek; ook deze methode is met name geschikt om de relatieve onderscheidbaarheid van verschillende letters en lettertypen te bepalen.

Als het gaat om de leesbaarheid van *meer complex materiaal*, zoals lopende tekst, tabellen, dienstregelingen, etc., zijn andere methoden geschikt:

- snelheid van werken: de tijd die nodig is voor een bepaalde leestaak of de hoeveelheid werk die in een bepaalde tijd gedaan kan worden;
- nauwkeurigheid van werken, afgemeten aan het aantal fouten dat bij een bepaalde taak wordt gemaakt, bijvoorbeeld niet gevonden grammaticale of typefouten in een tekst;
- vermoeidheid tijdens of na het uitvoeren van een leestaak; de vermoeidheid wordt bepaald aan de hand van vragenlijsten die de lezer moet invullen;
- begrip van de tekst; de lezer moet na het lezen van een tekst daarover vragen beantwoorden; naarmate de antwoorden beter zijn, wordt de tekst verondersteld beter leesbaar te zijn.

Deze methoden meten niet allemaal duidelijk gescheiden kwaliteiten van het materiaal; ze zijn echter wel zo verschillend dat een weloverwogen keuze, aan de hand van de vraagstelling van het onderzoek, heel belangrijk is.

Alle bovenstaande methoden leveren zogenaamde 'outcome measures' op, maar vertellen eigenlijk weinig over het leesproces zelf. Dat doen wel de 'process measures', zoals:

- registratie van oogbewegingen die tijdens het lezen optreden; het aantal fixaties of het aantal regressies wordt bijvoorbeeld als maat voor leesbaarheid gebruikt;
- het hardop laten denken van een gebruiker die een taak met een tekst uitvoert; dit is een geschikte methode als het bijvoorbeeld gaat om het ontdekken van onduidelijkheden in een gebruiksaanwijzing bij een ingewikkeld apparaat.

Eigenlijk zouden 'process measures' het leesproces niet mogen verstoren. Of ze ook aan die eis voldoen, is de vraag. Voor het registreren van oogbewegingen is bijvoorbeeld meestal nog nodig dat de lezer (onnatuurlijk) stil zit en het hardop denken zou het denken zelf wel eens kunnen beïnvloeden. Ondanks deze mogelijke tekortkomingen is zeker de laatste methode vaak erg nuttig in de praktijk van een ontwerpproces. Kennis van oogbewegingen kan erg leerzaam zijn, maar de noodzakelijke ingewikkelde apparatuur en de vereiste handigheid daarmee van de onderzoeker vormen grote praktische obstakels.

Leesbaarheidsonderzoek als onderdeel van een ontwerpproces zal bijna altijd plaatsvinden in de simulatiefase: er is een (vrijwel) compleet model van het ontwerp beschikbaar en beoogde gebruikers voeren daarmee taken uit, opdat de ontwerper tot een oordeel over de leesbaarheid kan komen. Het zal minder vaak voorkomen dat in de analysefase leesbaarheidsonderzoek moet worden gedaan om essentiële, maar in de literatuur niet beschikbare kennis te genereren.

15.5 Richtlijnen voor het ontwerpen van optimaal leesbare gedrukte tekst

In deze paragraaf worden resultaten besproken van enig ergonomisch onderzoek op het gebied van de onderscheidbaarheid, de opneembaarheid en de begrijpelijkheid van tekst. Voor sommige aspecten kunnen aan de hand van onderzoeksresultaten goed onderbouwde richtlijnen geformuleerd worden. Soms ook echter zijn de resultaten ontoereikend of onderling strijdig, waardoor het trekken van conclusies moeilijker is. Op druktechnische aspecten, die van grote invloed kunnen zijn op de feitelijke leesbaarheid van informatie, wordt in dit hoofdstuk niet ingegaan.

De richtlijnen die hieronder volgen voor onderscheidbaarheid en opneembaarheid, zijn in doorsnee situaties niet buitengewoon essentieel; onder alledaagse omstandigheden kan er flink van worden afgeweken, bijvoorbeeld om esthetische redenen, en dan redt de lezer zich toch wel. Onder meer kritische omstandigheden worden de richtlijnen echter wel belangrijk, bijvoorbeeld:

- als de leesomstandigheden ongunstig zijn (slechte verlichting of korte tijd om te lezen);
- als de informatie belangrijk is (een essentieel veiligheidsvoorschrift op een machine of een waarschuwing);
- als de leesafstand groot is en de lezer die niet makkelijk kan beïnvloeden (een paneel met gegevens over vertrekkende vluchten op een luchthaven);
- als de lezer gespannen is (verwijzing naar een polikliniek in een ziekenhuis);
- als het waarschijnlijk is dat lezers met een verminderd gezichtsvermogen de informatie zullen gebruiken (kamernummers in een verzorgingstehuis).

Onderscheidbaarheid

Een eerste vereiste voor goede onderscheidbaarheid van letters is een voldoende *helderheidscontrast* tussen letter en achtergrond. De luminantieverhouding van die twee moet liggen tussen 1:5 en 1:10. In de praktijk is het realiseren hiervan meestal geen probleem. Tekens en achtergrond mogen overigens niet spiegelend reflecteren. Een tweede voorwaarde is dat een letter voldoende groot wordt gepresenteerd. Wat voldoende groot is, hangt voornamelijk af van de leesafstand. Verder wordt de onderscheidbaarheid van letters, in geringere mate, beïnvloed door onder andere het lettertype, de keuze tussen kapitaal en onderkast, de breedte-hoogte-verhouding en de lijndikte van de letters. In de praktijk van het ontwerpen is lettergrootte een zeer belangrijke factor, omdat die in grote mate bepaalt, hoeveel ruimte er voor de te geven informatie nodig is.

Bij het spreken over lettergrootte is behoefte aan een praktische definitie van deze maat. Hier wordt steeds gebruik gemaakt van *tekenhoogte*: dit is de hoogte van een kapitaal of, voor onderkast, de hoogte van een stokletter (bijvoorbeeld een l, zoals in figuur 15.4).

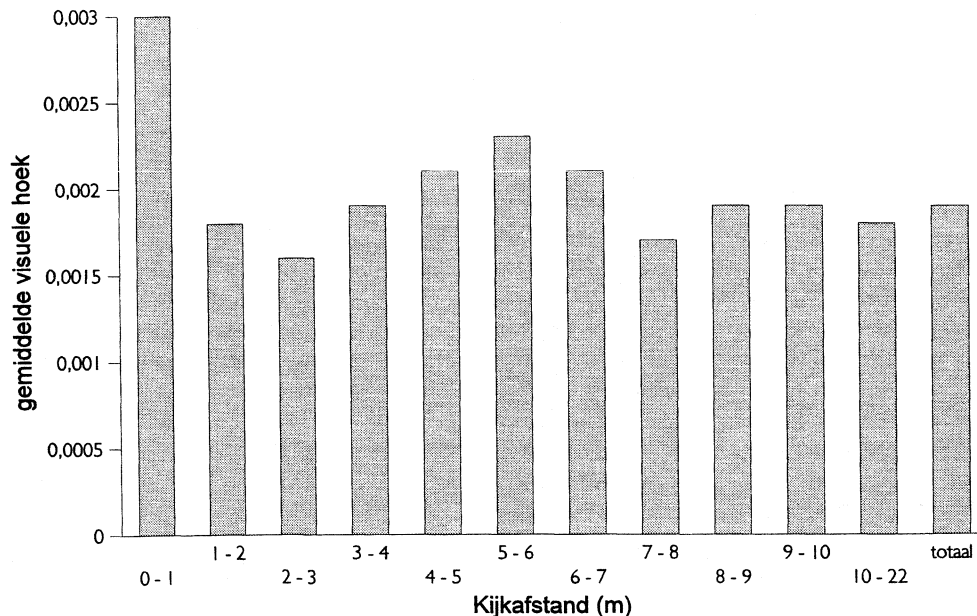


Figuur 15.4 De tekenhoogte.

Aan de tekenhoogte die minimaal nodig is voor onderscheidbaarheid, worden grenzen gesteld door de gezichtsscherpte van mensen. Uit onderzoek naar die gezichtsscherpte

(of 'visus') is bekend dat de absolute drempel voor details ongeveer bij 1 boogminuut visuele hoek ligt: een detail van een visueel gepresenteerde vorm moet voor de gemiddelde waarnemer tenminste 1 boogminuut in het visuele veld beslaan. Dat betekent bijvoorbeeld dat de E van de Snellen leeskaart (bekend van oogarts en opticien) minimaal 5 boogminuten hoog moet zijn. Dat is een absolute ondergrens waarboven een marge nodig is om een goede onderscheidbaarheid te garanderen.

Ergonomische handboeken adviseren, zonder veel expliciete onderbouwing, een minimale tekenhoogte van 10 boogminuten ofwel 2,9 milliradialen (mrad). Elders wordt als norm 5 mrad gegeven. Amerikaanse militaire standaards geven nog grotere waarden: tot 10 mrad. De factor 3,5 tussen 2,9 en 10 mrad maakt voor een concreet ontwerp nogal wat uit. Een dergelijke range geeft aan een ontwerper ook maar weinig houvast. Als er onderzoek aan de genoemde normen ten grondslag ligt, vond dat plaats onder goed gecontroleerde laboratoriumomstandigheden en met specifieke lettertypen. In een groot veldonderzoek (Smith, 1979), waarin het stimulusmateriaal bestond uit letters van allerlei typen, zowel kapitalen als onderkast, met uiteenlopende letterspatiëringen, werd vastgesteld dat letters gemiddeld over de waarnemers juist onderscheidbaar waren, als ze een visuele hoek van 1,9 mrad besloegen. Pas bij 7,0 mrad waren de letters voor alle waarnemers te onderscheiden. Uit het onderzoek bleek ook dat visuele hoek en afstand niet helemaal onafhankelijk zijn. Voor leesafstanden kleiner dan 1 m was de gemiddelde visuele hoek voor onderscheidbaarheid ongeveer 3,0 mrad; enigszins tegen de verwachting was deze hoek bij grotere leesafstanden wat kleiner; het gemiddelde varieerde dan tussen 1,6 en 2,3 mrad. In figuur 15.5 staan deze resultaten weergegeven.



Figuur 15.5 Leesbaarheid en leesafstand (naar Smith, 1979).

Milliradialen zijn in dit verband een handige maat, omdat ze voor kleine hoeken gelijk zijn aan het promillage van de leesafstand. Zo komt bijvoorbeeld een norm van 6 mrad bij een leesafstand van 50 cm neer op een vereiste tekenhoogte van $(6 \times 50 / 1000 =) 0,3$ cm.

Alle bovenvermelde tekenhoogten betreffen afmetingen die minimaal nodig zijn uit het oogpunt van onderscheidbaarheid. Als aan mensen wordt gevraagd, wat zij comfortabel vinden, leidt dit tot waarden die gemiddeld een factor 3 groter zijn. De bovenstaande richtlijnen geven zeker niet voor alle situaties uitsluitel: de vereiste lettergrootte hangt namelijk ook sterk af van de omgevingsomstandigheden. Ook visuele eigenschappen van de gebruikers, zoals gezichtsscherpte, spelen een rol.

Belangrijk voor onderscheidbaarheid is ook het *lettertype*. Schreefloze letters zijn doorgaans wat beter leesbaar dan typen met schreven (zie figuur 15.6). Dit geldt vooral voor ongeoefende lezers. Lettertypen variëren verder onder andere wat betreft de relatieve x-hoogte: dit is het deel van de corpshoogte (van stok tot en met staart) dat door de hoogte van een letter als de x wordt ingenomen (zie figuur 15.7). Letters met een grote relatieve x-hoogte zijn mogelijk beter leesbaar, maar stokken en staarten moeten natuurlijk ook te onderscheiden blijven. Van de meeste lettertypen bestaan zowel kapitalen als onderkast. Tekst die alleen in kapitalen is gezet, is moeilijker leesbaar dan tekst met (begin-)kapitalen en onderkast (zie figuur 15.8). Dit wordt waarschijnlijk gedeeltelijk veroorzaakt doordat woorden in onderkast sterker in vorm variëren dan woorden in kapitalen. Verder lijkt cursieve tekst slechter leesbaar dan tekst in romeinen ('rechte' letters), zoals geïllustreerd wordt in figuur 15.9. Cursieve letters kunnen wel goed gebruikt om een woord of een wat groter deel in een tekst te laten opvallen. Een dergelijk accent kan ook gerealiseerd worden met vette of onderstreepte tekens of met tekst in een afwijkende kleur.

Kan de waarheid gestolen worden?

1. Inleiding

In een grondige filosofie van het onderwijs, een onderneming die aanmerkelijk zou moeten verschillen van het ideologische gebabbel dat daarover, vooral door politici en andere buitenstaanders, ten beste gegeven wordt, zou een aanzienlijke plaats moeten worden ingeruimd voor een aantal aspecten van de onderrichtservaring die nu uiterst zelden aan bod komen. Voor een deel zijn ze nogal pijnlijk, zoals het gevecht om de orde en het gebedel om interesse, voor een ander deel zijn ze ondergesneeuwd met grapjes, zogenaamd praktische maatregelen en vergoelijkende frasen. Alleen bij geduldig nader toezien en in een eerlijke analyse van de situatie zullen deze kleine, als bijkomstig beschouwde zaken hun waarde als symptoom onthullen en ons in staat stellen een ogenblik de grote, versluierende woorden te vergeten en de frustraties van het onderwijs te ontdekken,

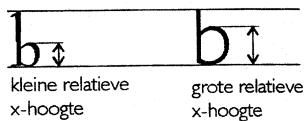
waardoor het alleen maar een schijn is van wat het, naar we mogen vermoeden, zou kunnen zijn.

Vanuit deze houding, die meer met verbazing te maken heeft dan met vernieuwingsdrift, wil ik in dit tractaatje aandacht besteden aan het spieken, dat m.i. te veel beschouwd wordt als een wat grappig randverschijnsel en nooit de diagnostische aandacht krijgt die het zou verdienen.

2. Fraseologie van het spieken

Het vermoeden van een ziekte scherpt het oog voor symptomen. Wie ervan uitgaat dat alles in orde is, ziet de symptomen niet of is niet bereid de verschijnselen die hij waarneemt, als symptomen te beschouwen en ze tot in hun fijnste vertakkingen te volgen. Hoe iemand het spieken interpreteert, hangt in hoge mate af van de kijk die hij op het onderwijs heeft. Wie het heel breed ziet en er eigenlijk alleen maar zin aan kan geven in een wereldomspannend ideologisch en politiek

Figuur 15.6 Tekst in een schreefloos lettertype en tekst in letters met schreven (uit: Verhoeven, Tractaat over het spieken).



Figuur 15.7 De relatieve x-hoogte.

KADER ALS BIJV. SPREIDING VAN MACHT, BEZIT EN KENNIS, ZAL HET SPIEKEN, WANNEER HIJ DAAR AL OOG VOOR HEEFT - WANT ADELAARS VANGEN GEEN VLIEN - ALS EEN KLEINIGHEID BESCHOUWEN, EEN ORDEPROBLEEMPJE DAT DOOR HET GERINGERE INTELLECT VAN ANDEREN EN DOOR INTERNE MAATREGELEN OP TE LOSSEN IS. HET IS DAN WEL DE VRAAG OF ZO IEMAND WERKELIJK OOG HEEFT VOOR HET ONDERWIJS EN NIET MET BLINDE, VISIONAIRE BLIK OVER DE REËLE SITUATIE HEEN STAART. KLEINIGHEDEN KUNNEN VAN GROOT BELANG ZIJN ALS SYMPTOOM; EEN MICROSCOOP IS IN DAT GEVAL VAN AANZIENLIJK MEER NUT DAN EEN VISIONAIRE BLIK. HOE DAN OOK, DE AANDACHT VOOR HET SPIEKEN IN DE GANGBARE ONDER- WIJSFRASEOLOGIE IS UITERST GERING. DAT BETEKENT WAARSCHIJNLIJK, DAT DE KLEINIGHEID DIE HET IS OF WAARTOE HET GEREDUCEERD IS, NIET ALS EEN SYMPTOOM GEÏNTERPRETEERD WORDT EN DUS NIET DE ACHTERDOCHT KRIJGT DIE HET VERDIENT. HIERVOOR KUNNEN ZWAAR WEGENDE REDENEN ZIJN, O.A. HET GEVOEL VAN ONMACHT TEGENOVER DIT SLUIPENDE VERSCHIJNSEL.

in de plaats van die interpretatie komt een fraseologie waarin het spieken gereduceerd wordt tot een randverschijnsel, dat vervolgens wordt ingedeeld bij al die andere zaken die met de mantel van de vanzelfsprekendheid bedekt worden. op zijn hoogst wordt het in verband gebracht met iets louter individueel als negatieve faalangst of met de rol van competitie en concurrentie in onze prestatie maatschappij. dat kan nuttig zijn voor het begrijpen van individuele gevallen, maar bij een zo collectief en massaal optredend verschijnsel heeft het weinig zin allerlei subjectieve en persoonlijke gevoelens en frustraties als verklaring aan te halen. aan een filosofie van het onderwijs dragen psychologische beschouwingen weinig bij. eerder bevestigen zij de vanzelfsprekendheid van een verschijnsel als spieken en wekken zij de indruk dat het onvermijdelijk is. omdat het de eerste taak is van alles at filosofie heet verwondering te wekken, moet een tractaat over het spieken beginnen met de vanzelfsprekendheid daarvan te doorbreken en met kritische aandacht voor de fraseologie waarin die bemanteld en beschermd wordt. het doel van de fraseologie rond het spieken is, neem ik aan, de vanzelfsprekendheid van het verschijnsel zo vast te leggen, dat niemand er nog aan durft te morrelen.

Figuur 15.8 Voorbeelden van tekst in kapitalen en in onderkast (uit: Verhoeven, Tractaat over het spieken).

In deze gedachtengang, om het proces maar eens zo te noemen, bestaan er dan twee partijen, de leerlingen en de docenten. Deze indeling op zich al waarschuwt ons, dat hier fraseologisch gedacht wordt. Het is helemaal niet zovanzelfsprekend, dat docenten en leerlingen als twee partijen, die ieder een ander belang vertegenwoordigen, tegenover elkaar staan en dat het onderwijs een situatie is waarin belangen op deze simpele manier verdeeld zijn. Als ik dus spreek over partijen, citeer ik alleen het spraakgebruik en de fraseologie. Op de eerste plaats dan zijn er de leerlingen. Zij zijn het die spieken, en een van de redenen waarom er zo weinigen zo onserieus over het spieken gesproken wordt, zou juist in deze omstandigheid kunnen liggen. Van vrijwel alles wat jeugdigen verkeerd doen, wordt de schuld elders gezocht. Voor een deel is dat redelijk, omdat jeugdigen in hoge mate afhankelijk zijn. Voor een deel komt deze vergoelijking neer op een pijnlijk gebrek aan ernst tegenover alles wat met school en jeugd te maken heeft. Er geldt niets als echt goed of echt verkeerd in een school; het serieuze leven speelt zich daarbuiten af en serieuze mensen

bemoeien zich alleen van buitenaf met schoolse aangelegenheden. Maar wie jeugdige personen niets kan verwijten, ook niet de saamhorigheid waardoor zij zich tot domme dingen laten verleiden, ontzegt hun elke zelfstandigheid en neemt hen niet ernstig. Alleen al de wat lollige context waarin het woord 'spieken' gebruikt wordt, lijkt erop te wijzen, dat het hier gaat om een delict dat gelokaliseerd wordt op een terrein waarde ernst nauwelijks toegang heeft. 'Spieken' is typisch een schoolwoord en duidt op een gebeurtenis waaraan buitende school, in de regio van de ernst, om redenen die op het eerste oog vrij duister zijn, geen gewicht toegekend wordt. Etymologisch houdt het verband met 'spekken' in de zin van 'lardenen', 'mager vlees' met spek bedekken omer meer substantie aan te geven', 'met andermans veren pronken'. Uit de betekenis 'plagiaat plegen', een meer komisch dan ernstig vergrijp, heeft zich al in de achttiende eeuw de schoolterm voor 'afkijken' ontwikkeld. We zouden dus eventueel kunnen zeggen, dat het spieken als typisch gedrag van leerlingen

Figuur 15.9 Voorbeelden van cursieve tekst en tekst in romeinen.

Binnen één lettertype is vaak een keuze mogelijk tussen verschillende breedte-hoogte-verhoudingen en *lijndikten*. In de ergonomische literatuur worden voor deze factoren enkele optima gegeven: breedte-hoogte-verhouding voor kapitalen 1:1, voor cijfers 3:5; lijndikte (ten opzichte van tekenhoogte) bij donkere tekens op lichte achtergrond 1:6 tot 1:8, bij lichte tekens op donker achtergrond 1:8 tot 1:10. Deze aanbevelingen moeten met de nodige voorzichtigheid gehanteerd worden. De regels voor de breedte-hoogte-verhoudingen zijn namelijk gebaseerd op onderzoek aan speciaal geconstrueerde lettertypen met een vaste karakterbreedte. Bij gewone lettertypen bestaan er op dat punt verschillen tussen karakters. Evenzo is de optimale lijndikte bepaald bij lettertypen met een constante lijndikte. Veel gangbare lettertypen hebben daarentegen een variabele lijndikte. Over het gecombineerde effect van lijndikte en breedte-hoogte-verhouding zijn in de literatuur geen gegevens bekend. Een tabel als in figuur 15.10 geeft inzicht in dit effect.

	smal	normaal	breed
mager	Lettertype	Lettertype	Lettertype
normaal	Lettertype	Lettertype	Lettertype
vet	Lettertype	Lettertype	Lettertype

Figuur 15.10 Breedte-hoogte verhoudingen en lijndikte.

Bovenstaande aanbevelingen voor lijndikte gelden bij goede verlichtingsomstandigheden en goede luminantieverhouding tussen tekens en achtergrond (tussen 1:5 en 1:10). Bij afwijkende luminantieverhoudingen zijn andere lijndikten optimaal. Dit komt doordat op het netvlies van een waarnemer lichte objecten relatief wat groter worden afgebeeld dan ze in werkelijkheid zijn. Dit effect heet irradiatie. Het wordt sterker naarmate het contrast tussen aangrenzende lichte en donkere partijen groter is. Dit leidt ertoe dat voor zeer heldere tekens op een donkere achtergrond (bijvoorbeeld op een bord met inwendige verlichting) de optimale verhouding tussen lijndikte en tekenhoogte 1:12 tot 1:20 is. Voor donkere letters op een zeer heldere achtergrond is die waarde ongeveer 1:4. Als er weinig omgevingslicht is (en geen inwendige verlichting) voldoen lichte tekens op een donkere achtergrond het best. Dit is ook de beste oplossing voor slechtziende lezers.

Onderscheidbaarheid en de oudere mens

Naarmate de mens ouder wordt, treden er tamelijk ingrijpende veranderingen op in het oog:

- de lens vertroebelt en wordt minder soepel;
- de kwaliteit van de spieren die de pupilgrootte beïnvloeden, verslechtert.

Deze processen hebben een aantal functionele gevolgen:

- de gezichtsscherpte neemt na het veertigste levensjaar af; bij 75 jaar is de gezichtsscherpte gemiddeld al teruggelopen tot tweederde van het oorspronkelijke niveau;
- de gevoeligheid voor contrast tussen licht en donker neemt af; om dezelfde prestaties te kunnen bereiken als 20- tot 30-jarigen, moet het contrast voor 50- tot 60-jarigen tweemaal zo groot zijn; voor 60- tot 70-jarigen is dit al 3,5 maal;

- de pupil van ouderen blijft kleiner en past zich minder snel aan veranderingen in het verlichtingsniveau aan;
- boven de 40 jaar worden mensen verziend, wat betekent dat hun ogen niet meer scherp kunnen stellen op nabije objecten; dit is goed te corrigeren met een (lees)bril;
- doordat er veel minder licht de retina bereikt, vermindert de donkeradaptatie en verloopt die ook langzamer;
- mensen tussen de 60 en 70 jaar hebben een twee- tot tienmaal hogere verlichtingssterkte nodig dan 20-jarigen om optimale visuele prestaties te leveren;
- door de vertroebeling wordt de lens geler; daardoor verslechtert de kleurwaarneming.

Voor het ontwerpen van grafische informatie die (ook) voor ouderen goed onderscheidbaar is, betekent het bovenstaande dat er een hoog verlichtingsniveau nodig is, dat grote tekens gebruikt moeten worden en dat het contrast (luminantieverhouding) tussen tekens en achtergrond hoog moet zijn.

Opneembaarheid

Opneembaarheid van grafische informatie hangt samen met de rangschikking van de tekens. Een aantal factoren komt aan de orde: spatiëringen, regellengte, uitvullen van regels, marges, één- of tweekoloms tekst.

Over de effecten van *letter-* en *woordspatiëring* is erg weinig onderzoek gedaan. Vuistregel is dat letters binnen een woord zo gespatieerd moeten zijn dat elke letter goed te onderscheiden is van de andere (niet te krap spatiëren), terwijl er ook niet zoveel ruimte tussen letters moet zijn dat het woordbeeld verdwijnt. Voor normaal drukwerk (luminantieverhouding van letters en achtergrond tussen 1:5 en 1:10) moet hiervoor de letterspaciëring tussen letters met aangrenzende verticale lijnen ongeveer gelijk zijn aan de lijndikte van een stok. Bij inwendig verlichte borden moet de spatiëring bij lichte letters op een donkere achtergrond ruimer genomen worden (ongeveer een factor 1,5) en bij donkere letters op een lichte achtergrond krupper (ongeveer een factor 0,5). Voor woordspatiëring geldt overeenkomstig dat afzonderlijke woorden duidelijk los van elkaar moeten staan en toch samen een regel moeten blijven vormen. Letter- en woordspatiëring zijn lastige grafische problemen, waarop hier verder niet wordt ingegaan.

De *regelafstand* is aan een minimum gebonden dat wordt bepaald door de kapitaalhoogte en de staartlengte: letters van opeenvolgende regels mogen niet door elkaar heen lopen. Er is enige experimentele onderbouwing dat voor gewoon drukwerk (boek, krant, etc.) 0,38 à 0,75 mm extra regelafstand positief werkt op de leesbaarheid. Optimale regelafstand hangt echter op een complexe manier samen met lettergrootte en regellengte.

Regellengte kan sterk variëren zonder de leesbaarheid te verminderen, maar erg korte regels kunnen niet effectief gelezen worden, omdat er relatief veel tijd opgaat aan return sweeps. Bij extreem lange regels blijkt het moeilijk om het begin van een volgende regel te vinden. De optimale regellengte kan niet in een absolute waarde gegeven worden, maar is afhankelijk van de grootte van de letters. Regellengte kan daarom het best worden uitgedrukt in tekenposities. Het optimum zou liggen bij 60 à 70 posities (dat is 10 à 12 woorden) per regel. Het al of niet uitvullen van regels blijkt

veelal weinig invloed te hebben, zij het dat voor niet-geoefende lezers niet uitgevulde tekst beter is. Dit geldt vooral voor korte regels. Het gevaar van onoordeelkundig uitvullen, wat een risico is bij het gebruik van een tekstverwerkingsprogramma, is dat in een tekst de woordafstanden veel te sterk variëren of dat zelfs de letterspatiëring niet constant blijft. Verder zijn brede marges (gewoonlijk beslaat lopende tekst maar 50% van het oppervlak van een pagina) niet nodig voor een goede leesbaarheid. Ze zijn natuurlijk wel nuttig bij het vasthouden en voor het maken van aantekeningen.

Over het algemeen voldoet éénkoloms lay-out het best. Twee- of meerkoloms lay-out kan toegepast worden, wanneer anders de regellengte te groot zou worden. Verder is aangetoond dat een verstandige, aan de inhoud aangepaste indeling van een tekst in alinea's en een heldere weergave daarvan (door een regel wit tussen alinea's of door het inspringen van de eerste regel van elke alinea) de leesbaarheid kunnen bevorderen. Bij een langere tekst is ook de indeling in paragrafen en hoofdstukken belangrijk.

Begrijpelijkheid

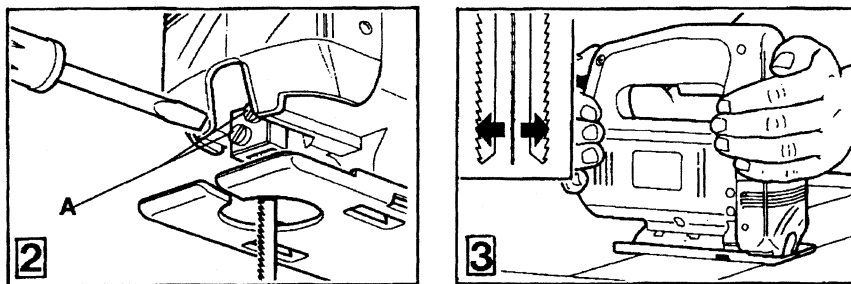
De hierboven genoemde indeling van een tekst betreft eigenlijk al het niveau van de begrijpelijkheid. Gold al bij onderscheidbaarheid en opneembaarheid dat eigenschappen van de lezer (bijvoorbeeld gezichtsscherpte en geoefendheid) van belang zijn, nog sterker is dit het geval bij begrijpelijkheid van tekst. Het kennisniveau van de lezer is hier van grote invloed. Anderzijds wordt de begrijpelijkheid van een tekst in belangrijke mate bepaald door de *formulering*. Voor het begrijpelijk formuleren van instructieve teksten, zoals een gebruiksaanwijzing (zoals het voorbeeld van figuur 15.11) of een handboek bij een produkt, een waarschuwing of een instructie op een apparaat of een toelichting bij een formulier) geeft de ergonomische literatuur enkele aanwijzingen:

De Elektrische Zaag

(Afb. 2)

Montage van het zaagblad.
Draai de 2 schroeven (A) los en steek het zaagblad zo ver mogelijk in de spindel met de tanden vooruit wijzend. Zet de 2 schroeven nu stevig vast.
Om een groter aantal mogelijkheden te verkrijgen hebben sommige decoupeerzagen ook een haakse zaagbladhouder. Dit maakt het mogelijk dat de tanden naar rechts of links van de normale positie gezet kunnen worden (afb. 3).
Om deze houder te bevestigen moet eerst de "standaard" houder gedemonteerd worden door

de twee schroeven (A) (afb. 2) uit te draaien. Nu kan de haakse zaagbladhouder erop gezet worden (afb. 1), erop lettend dat het aanwijspunt (K) (afb. 1) naar boven gericht is. Het zaagblad kan nu aangebracht en de zaagbladhouder vastgezet worden.
Let op – Bij gebruik van de alternatieve houder moet de geleiderol (B) (afb. 1) van het zaagblad vandaan gebracht worden door de schroef aan de zijkant van de zaagmachine (C) (afb. 9) los te draaien. Verschuif de geleiderol naar z'n goede plaats en draai de schroef weer vast. De DN441 is niet uitgerust met een geleider.



Figuur 15.11 Een deel van de handleiding van een decoupeerzaag.

- formuleer instructies kort en eenvoudig;
- vermeld in een instructie stap voor stap de vereiste handelingen en wel zo dat maar één interpretatie mogelijk is;
- zorg ervoor dat zinnen een eenduidige zinsconstructie hebben;

- gebruik geen telegramstijl;
- gebruik in het algemeen de bedrijvende vorm ('draai de hendel rechtsom') en niet de lijdende vorm ('de hendel wordt rechtsom gedraaid');
- gebruik in het algemeen een bevestigende formulering ('alleen bij groen licht oversteken') en niet een ontkennende formulering ('bij rood licht niet oversteken');
- gebruik eventueel een ontkennende formulering om vooroordelen, foutieve verwachtingen of gewoontegedrag van de lezers te overwinnen;
- gebruik een ontkennende formulering of de lijdende vorm, als daarmee de compatibiliteit (bijvoorbeeld qua volgorde) tussen handeling en instructie groter wordt.

Zoals blijkt, zijn deze aanwijzingen maar heel globaal. Ze geven richtingen aan waarin oplossingen gezocht kunnen worden. Het toetsen van de effectiviteit van aldus gevonden formuleringen blijft noodzakelijk; alleen bovenstaande regels toepassen geeft onvoldoende zekerheid.

15.6 Illustraties, tabellen en grafieken

In de voorgaande paragrafen werd voornamelijk ingegaan op het lezen en de leesbaarheid van alfanumerieke tekens, gerangschikt in lopende tekst. Lopende tekst kan vaak effectief ondersteund worden, en soms zelfs vervangen, door illustraties, tabellen of grafieken. Deze drie vormen van grafische informatie worden hier kort besproken aan de hand van Hartley (1985, hoofdstukken 9 en 10; zie reader).

Illustraties

Hartley geeft aan in welke gevallen illustraties nuttig zijn:

- voor het tonen van concrete afbeeldingen;
- voor het weergeven van visuele of ruimtelijke begrippen;
- voor het overbrengen van verscheidene ideeën die de lezer tegelijkertijd moet beschouwen.

Hartley onderscheidt verschillende rollen voor illustraties. Illustraties kunnen bijvoorbeeld gebruikt worden om:

- de lezers te motiveren;
- de aandacht van de lezers te trekken;
- een boodschap te verduidelijken door 'te laten zien' in plaats van 'te vertellen';
- een boodschap te verduidelijken voor minder geoefende lezers;
- herinnering op langere termijn te vergemakkelijken.

Voor veel toepassingen is een combinatie van illustraties en tekst de beste oplossing. Daarbij is essentieel dat een illustratie direct naast, onder of boven dat gedeelte van de tekst geplaatst wordt van waaruit naar die illustratie wordt verwezen.

Tabellen

Hartley vermeldt drie processen die een lezer bij het gebruiken van een tabel doorloopt:

- begrijpen van de opzet van de tabel;
- zoeken van de gewenste gegevens;
- interpreteren van die gegevens in relatie tot de gezochte informatie.

Naarmate een tabel ingewikkelder en omvangrijker is, verlopen deze processen minder gemakkelijk. Een duidelijke en volledige titel is een eerste vereiste voor een goede tabel.

Tabellen zijn onder meer te vereenvoudigen door:

- waarden af te ronden;
- kolom- of rijgemiddelden te vermelden;
- getallen die vergeleken moeten worden, in kolommen en niet in rijen te plaatsen.

De ruimte binnen een tabel moet zo verdeeld zijn dat:

- noodzakelijke oogbewegingen klein zijn;
- in langere tabellen een witruimte is na elke 4 of 5 regels of subkopjes worden ingevoegd om opzoeken en aflezen te vergemakkelijken.

Grafieken

Hartley onderscheidt drie hoofdsoorten: lijngrafiek, staafdiagram en cirkeldiagram. Deze soorten hebben verschillende toepassingsmogelijkheden. In het algemeen geldt het volgende:

- trends worden beter duidelijk gemaakt met lijngrafieken dan met staafdiagrammen of tabellen;
- tabellen zijn beter dan lijngrafieken voor exacte waarden;
- cirkeldiagrammen zijn snel misleidend en kunnen meestal beter vermeden worden.

Met grafieken kunnen gemakkelijk, opzettelijk of onopzettelijk, verkeerde interpretaties bij de lezers opgeroepen worden. Beattie en Jones (1994) geven overtuigende voorbeelden daarvan uit financiële jaarverslagen van bedrijven.

Hartley geeft onder meer de volgende ontwerphulpjes voor grafieken:

- zet niet meer dan drie curves in één grafiek;
- maak de belettering van beide assen van een lijngrafiek of staafdiagram horizontaal;
- geef een duidelijke en volledige titel.

15.7 Pictogrammen, symbolen en 'icons'

Pictogrammen zijn de laatste tientallen jaren een vast onderdeel van onze omgeving geworden. Ze komen voor in allerlei toepassingen. Voorbeelden zijn reisgidsen, reclamefolders, autodashboards, verkeersborden, bewegwijzeringssystemen en computerprogrammatuur. De termen pictogram en symbool worden in de praktijk weinig systematisch en door elkaar gebruikt. De term icon lijkt gereserveerd voor tekens op een computerscherm als onderdeel van een user interface. In het vervolg van deze paragraaf wordt alleen gesproken over pictogrammen. Het gestelde geldt echter ook voor symbolen en icons.

Het gebruik van pictogrammen is wel eens onnodig of verwarrend en vaak zijn de pictogrammen onbegrijpelijk voor de gebruikersgroep. Pictogrammen lijken in de mode te zijn, waardoor er een overvloed aan is en ze in sommige situaties ten onrechte worden toegepast. Dit laatste wordt geïllustreerd door pogingen om pictogrammen te ontwerpen voor de verschillende afdelingen van ziekenhuizen. De subtiele verschillen die dan in de pictogrammen tot uitdrukking moeten komen (bijvoorbeeld een onderscheid tussen cardiologie en hartchirurgie), zijn echter niet in pictogrammen te vangen.

Een geschikt toepassingsgebied is bijvoorbeeld wel de bewegwijzing in het openbaar vervoer (stations, luchthavens, zie figuur 15.12). Pictogrammen zijn daar wellicht een oplossing voor taalproblemen, hoewel culturele verschillen tot complicaties kunnen leiden. Bijkomend voordeel is de compactheid van pictogrammen in vergelijking met tekst. Maar ook in deze sector is een flinke wildgroei ontstaan, met als gevolg veel verschillende pictogrammen voor dezelfde referent (de voorziening, plaats of activiteit waarnaar verwezen wordt).



Figuur 15.12 Pictogrammen van de Nederlandse Spoorwegen.

Pictogrammen in het openbaar vervoer zijn een voorbeeld van publieksinformatie. Binnen de International Organization for Standardization (ISO) wordt al jaren gewerkt aan de kwaliteit van pictogrammen voor dat toepassingsgebied. De ontwikkeling van pictogrammen (icons) voor computerprogrammatuur verloopt hier helaas geheel onafhankelijk van. Ondanks de gelijke problematiek en de vergelijkbare eisen aan de pictogrammen blijken er degelijke, waterdichte schotten te bestaan tussen deze twee terreinen. Zo zijn er vanuit tijdschriftartikelen in het ene gebied nauwelijks literatuurverwijzingen naar het andere gebied.

Welke eisen aan pictogrammen gesteld moeten worden, hangt in belangrijke mate af van de gebruikssituatie en de gebruikersgroep. Zo kan bijvoorbeeld, vanwege omgevingsfactoren als beweging en verlichting, onderscheidbaarheid bij een verkeersbord belangrijker zijn dan bij pictogrammen in een reisgids. Begrijpelijkheidseisen moeten strenger zijn voor pictogrammen die op het eerste gezicht begrepen moeten worden (bijvoorbeeld in de bewegwijzing op een luchthaven), dan voor pictogrammen waarvan de gebruiker al doende en mogelijk met behulp van een gebruiksaanwijzing de betekenis kan leren en gaat onthouden (bijvoorbeeld op het bedieningspaneel van een magnetronoven). Achtereenvolgens worden nu de begrijpelijkheid, onderscheidbaarheid en leerbaarheid van pictogrammen behandeld.

Begrijpelijkheid van pictogrammen

Essentieel voor een succesvol gebruik van een pictogram is dat de gebruikers er de juiste betekenis aan toekennen, of anders gezegd: dat ze begrijpen naar welke referent het pictogram verwijst. Voor het ontwerpen van pictogrammen die goed te begrijpen zijn, bestaan geen algemene vuistregels. Wel zijn er geaccepteerde en deels door de ISO gestandaardiseerde methoden om van bestaande pictogrammen de

begrijpelijkheid vast te stellen. We behandelen drie van deze methoden: de begrijpelijkheidstest, de schattingstest en de 'matching'test. Bij al deze tests is het van belang dat de respondenten vertegenwoordigers van (een deel van) de doelgroep zijn.

Als voor een referent één of meer pictogramvarianten beschikbaar zijn, kan met de *begrijpelijkheidstest* onderzocht worden hoe goed elk daarvan de referent representeert. Bij deze test wordt aan respondenten achtereenvolgens een aantal pictogrammen getoond en er wordt aangegeven in voor welke gebruiksomgeving ze bestemd zijn. De respondenten moeten steeds aangeven wat een pictogram betekent. Antwoordmogelijkheden zijn vrij. In principe kan zo worden vastgesteld welk percentage van de potentiële gebruikers het pictogram goed interpreteert. Als een pictogram verbetering behoeft, dan geven de foute antwoorden uit de begrijpelijkheidstest en een vergelijking van de resultaten voor verschillende varianten vaak concrete aanwijzingen op voor de richting van het herontwerp.

Een probleem bij de begrijpelijkheidstest is de scoring: welke antwoorden zijn correct en welke niet. Sommige antwoorden zijn duidelijk goed, andere duidelijk fout, maar daar tussen wordt meestal een brede categorie antwoorden gevonden waarbij de afweging moeilijk is. Om dit probleem zo goed mogelijk de baas te worden, schrijft de ISO voor dat de antwoorden door drie beoordelaars onafhankelijk van elkaar gecategoriseerd worden. Daarbij hanteren de beoordelaars zeven categorieën:

- het pictogram is zeker goed begrepen
- het pictogram is waarschijnlijk goed begrepen
- het pictogram is misschien goed begrepen
- het antwoord is tegengesteld aan de bedoelde betekenis
- het antwoord is fout
- het antwoord is 'weet ik niet'
- er is geen antwoord gegeven.

Een tweede probleem is dat, eigenlijk vooraf, beslist moet worden vanaf welk percentage goede antwoorden een pictogram voldoende begrijpelijk is. Voor pictogrammen op het toepassingsgebied van publieksinformatie hanteert de ISO als acceptatiecriterium dat tenminste 66 procent van de antwoorden moet vallen in de eerste twee categorieën samen. Voor pictogrammen die met waarschuwingen of veiligheid te maken hebben, lijkt een strengere criterium geboden.

Uit het bovenstaande wordt wel duidelijk dat het tamelijk omslachtig kan zijn om via een begrijpelijkheidstest het beste, of tenminste een acceptabel, pictogram te vinden voor een aantal verschillende referenten. Het is daarom erg aantrekkelijk het aantal te onderzoeken varianten per referent zoveel mogelijk te beperken. Een geschikte methode om dat verantwoord te doen, is de *schattingstest*. Daarbij worden aan de respondenten alle pictogramvarianten voor een referent gegeven, samen met een goede omschrijving wat de pictogrammen wel en niet betekenen. De taak van de respondent is om bij elke variant op te schrijven welk percentage van de bevolking die variant naar verwachting goed zal interpreteren. Uit de schattingen van alle respondenten wordt vervolgens per variant een gemiddeld percentage berekend.

Onderzoek heeft aangetoond dat dit gemiddelde goed correleert met de resultaten van een begrijpelijkheidstest. Zo wordt het mogelijk om de varianten met een heel hoog en die met een heel laag schattingspercentage niet in een volgende begrijpelijkheidstest te betrekken. Voor de in dit onderzoek getoetste pictogrammen was het

begrijpelijkheids criterium 66 procent. Alle pictogrammen met een schattingspercentage van 82 (66 + 16) of hoger voldeden aan dit criterium en alle pictogrammen met een schattingspercentage van 50 (66 - 16) voldeden er niet aan. Dit betekent dat alleen de varianten met een schattingspercentage tussen 50 en 82 nader in een begrijpelijkheidstest onderzocht hadden hoeven worden; de goede (82% of meer in de schattingsstest) hadden zonder meer geaccepteerd kunnen worden en de slechte (50% of minder) hadden meteen kunnen worden afgewezen.

	totaal (%)	jong (%)	oud (%)
fietsverzending	76.50	88.0	65.0
wachtkamer	60.00	76.5	43.5
uitgang	66.00	73.0	59.0
fietsenstalling	65.75	73.0	58.5
stationsparkeerterrein	75.00	84.0	66.0
taxi	87.25	93.5	81.0
bus	62.25	82.5	42.0
bagageverzending	19.25	24.0	14.5
bagage (algemeen)	29.50	24.0	35.0
informatie	84.25	94.0	74.5
automatiek	64.00	80.0	48.0
restaurant	54.75	58.5	51.0

Figuur 15.13 Percentages correcte antwoorden. (Een deel van de resultaten uit Zwaga en Boersema, 1983)

De derde test die we hier behandelen, de *matchingtest*, kan gebruikt worden, wanneer voor een bepaalde omgeving (bijvoorbeeld een luchthaven of een reisgids) een bijeenhorende set pictogrammen is ontworpen (één voor elke referent) en hun begrijpelijkheid vastgesteld moet worden. Een respondent krijgt bij deze test de complete set pictogrammen voorgelegd, waarbij wordt vermeld wat de gebruiksomgeving zal zijn. Aan de respondent wordt dan één van de referenten opgegeven, waarna hij/zij het bijbehorende pictogram moet aanwijzen. De resultaten van deze test zijn tweeledig: ten eerste percentages goede reacties per pictogram en ten tweede verwarringen tussen pictogrammen onderling. Ook hier moet weer beslist worden waar de grens voor voldoende begrijpelijkheid ligt en verder welke verwarringen relevant (niet toevallig) zijn. De verwarringsgegevens leveren meestal duidelijke aanwijzingen op voor ontwerpaanpassingen. De test is in principe tamelijk bewerkelijk, aangezien voor een zuivere meting aan elke respondent eigenlijk maar naar het pictogram voor één referent gevraagd kan worden. Voor elke referent moet dus een aparte groep respondenten gebruikt worden en die groepen moeten ook voldoende groot zijn (enkele tientallen per groep is wel een minimum).

De *matchingtest* is onder meer uitgevoerd met 29 pictogrammen van de Nederlandse Spoorwegen (Zwaga en Boersema, 1983). De percentages correcte keuzen liepen

uiteen van 22 tot 99. De resultaten gaven duidelijk aan welke pictogrammen gewijzigd moesten worden (en soms ook hoe) om de begrijpelijkheid van de hele set te verbeteren. Uit het onderzoek bleek ook dat de leeftijd van de ondervraagden van grote invloed was op de resultaten. Ouderen (65+) scoorden in bijna alle gevallen slechter dan de groep tussen 18 en 35 jaar. Dit effect is ook in andere onderzoeken gevonden.

Leerbaarheid van pictogrammen

Bij sommige toepassingen van pictogrammen is het niet goed mogelijk om een set pictogrammen te ontwerpen die (allemaal) direct begrepen worden door een voldoende groot deel van de gebruikers. Denk bijvoorbeeld aan de icons die alle verschillende functies binnen een tekenprogramma op een pc moeten aanduiden. De gebruiker zal in zo'n geval op een andere manier dan alleen via die icons moeten ontdekken welke mogelijkheden het programma heeft en via welk icon elk van de functies te activeren is. Dat gaat bijvoorbeeld met een gebruiksaanwijzing of een helpfunctie binnen het programma. In een dergelijke toepassing moet van pictogrammen geëist worden dat hun betekenis makkelijk te leren en goed te onthouden is. Ook deze eigenschap van pictogrammen kan onderzocht worden.

Een onderzoek naar de leerbaarheid van pictogrammen bestaat uit twee delen. Het eerste deel is een begrijpelijkheidstest die mondeling wordt afgenomen. Als de respondent een pictogram verkeerd interpreteert, vertelt de onderzoeker wat de juiste betekenis is en geeft daarbij zoveel toelichting als de respondent nodig heeft voor een goed begrip. Na een bepaalde tijd, meestal een week, komt de respondent terug voor het tweede deel van het onderzoek. Dan wordt, met dezelfde pictogrammen, de begrijpelijkheidstest herhaald.

De score van een pictogram bij de tweede test laat zien welk deel van de respondenten de betekenis ervan onthouden heeft. Vergelijking van de scores bij de eerste en de tweede test leert hoeveel beter (of slechter) het begrip van de respondenten is geworden na uitleg van de betekenis van het pictogram. Als een pictogram niet aan het vooraf gestelde criterium voldoet (bijvoorbeeld: '80% van de respondenten moet bij de tweede test de juiste betekenis kunnen noemen'), geven de foute antwoorden vaak aanwijzingen voor de richting van een herontwerp.

Onderscheidbaarheid van pictogrammen

Net als letters moeten ook pictogrammen goed van elkaar onderscheidbaar te zijn. Objectieve, goed onderbouwde ontwerprichtlijnen voor de onderscheidbaarheid van pictogrammen zijn er nog niet, wat ook al geconstateerd moest worden bij hun begrijpelijkheid. Dat komt er eigenlijk op neer dat voor pictogrammen waarbij onderscheidbaarheid essentieel is, ontwerpvoorstellen (experimenteel) op die eigenschap getest moeten worden.

Binnen de ISO is een rapport opgesteld dat nog geen officiële status heeft, maar waarin wel wat praktische richtlijnen worden gegeven. Hierna worden enkele daarvan opgesomd. Bij gebruik van de richtlijnen moet wel bedacht worden dat een duidelijke onderbouwing met onderzoeksgegevens van de richtlijnen ontbreekt.

Minimale lijndikte: 0,05% van de kijkafstand

Minimale grootte van een significant detail: 0,1% van de kijkafstand

(wat een 'significant detail' is, wordt niet goed gedefinieerd; er wordt alleen gezegd dat significante details bijdragen aan de begrijpelijkheid van een pictogram; er valt te denken aan een stroomafnemer als het detail dat een tram van een bus onderscheidt) Minimale grootte van het hele pictogram: 1,2% van de kijkafstand

15.8 Leesbaarheid bij elektronische displays

Een samenloop van technische ontwikkelingen leidt ertoe dat steeds meer mensen informatie moeten aflezen van elektronische displays. Dit is niet beperkt tot werksituaties (van pc op kantoor tot handpalmcomputer voor een parkeerwachter), maar komt ook voor in de openbare ruimte (een interactieve informatiezuil op een bedrijventerrein of een elektronisch tramhaltebord) en thuis (bijvoorbeeld het scherm van een video-afstandsbediening). De verschillende typen elektronische displays, hun eigenschappen en toepassingsmogelijkheden worden besproken in Cushman en Rosenberg (1991, secties 6.1.2 en 6.1.4; zie reader). Elektronische displays zijn te verdelen in passieve en actieve displays. Actieve displays stralen zelf licht uit (bijvoorbeeld een LED-display), terwijl passieve displays slechts het omgevingslicht, gedeeltelijk, weerkaatsen (bijvoorbeeld een LCD-scherm zonder toegevoegde inwendige verlichting).

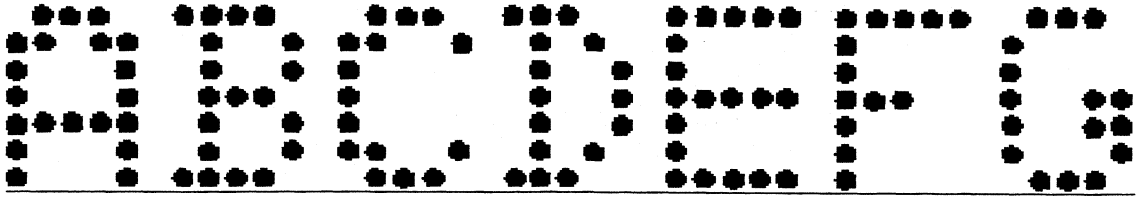
Het lezen van informatie op een elektronisch scherm en het lezen van gedrukte informatie komen in belangrijke mate op hetzelfde neer: in beide gevallen worden door de lezer reeksen alfanumerieke tekens met de ogen afgetast en omgezet in betekenissen en begrippen. Er zijn echter ook, ergonomisch relevante, verschillen tussen het lezen van gedrukte en elektronische tekst. Het meest in het oog springend zijn de verschillen in gebruiksmogelijkheden. Anderzijds zijn er verschillen tussen gedrukte en elektronisch gepresenteerde tekst wat betreft onderscheidbaarheid en opneembaarheid. Deze specifieke leesbaarheidsaspecten van elektronische displays worden in het vervolg van deze paragraaf kort besproken. Ze worden uitgebreider behandeld in de reader (Cushman en Rosenberg, 1991, sectie 6.1.3). De paragraaf wordt besloten met een beknopte vergelijking wat betreft leesbaarheid en, meer algemeen, bruikbaarheid van gedrukte en elektronische tekst.

Onderscheidbaarheid

De eisen aan de grootte van tekens op een scherm zijn niet veel anders dan bij gedrukte tekst. Tekens zijn juist onderscheidbaar bij een tekenhoogte van 3 à 3,5 mrad (10 à 12 boogminuten). Voor comfortabel lezen moeten de tekens toch wel tweemaal zo groot zijn.

De vormgevingsmogelijkheden voor tekens hangen sterk af van de *resolutie* en *adreseerbaarheid* van het display. Resolutie betreft de omvang van het kleinste detail dat nog afgebeeld kan worden en hangt af van de diameter van de pixels; adreseerbaarheid betreft de pixeldichtheid, uitgedrukt in de afstand tussen de middelpunten van aangrenzende pixels. Als de kwaliteiten van een displaytype op deze punten beperkt zijn, leidt dat bijvoorbeeld tot tekens die gerealiseerd moeten worden binnen een matrix van 5 bij 7 pixels (breedte x hoogte, zie figuur 15.14). Op een display met hoge resolutie en adreseerbaarheid kunnen daarentegen zeer gevarieerde tekenvormen afgebeeld worden die nauwelijks onderdoen voor goed drukwerk. Voor voldoende onderscheidbaarheid is minimaal een matrix van 7 bij 9 pixels per teken nodig. Bij sommige lettertypen voor elektronische displays staan de onderkastletters met staart (g, j, p, q, y) in hun geheel op de lijn. Dit spaart weliswaar

(verticaal) ruimte op het scherm, maar beïnvloedt de onderscheidbaarheid negatief, omdat de karakteristieke contour van een woord er gedeeltelijk door teniet gedaan wordt.



Figuur 15.14 Letters in een 5x7 matrix.

Voor een goede onderscheidbaarheid van tekens op elektronische displays luistert het *contrast* tussen tekens en achtergrond nauw. Contrast wordt hier gedefinieerd als de verhouding tussen de *luminanties*. De nu volgende beschouwing over contrasten heeft alleen betrekking op actieve displays. Voor lichte tekens op een donkere achtergrond moet het contrast tussen 7:1 en 12:1 liggen. In een donkere omgeving is een dergelijk contrast met alle soorten actieve displays goed te realiseren. In zo'n omgeving zijn overigens gemakkelijk extreem veel hogere contrasten (bijvoorbeeld 10000:1) te halen, die echter voor een goede onderscheidbaarheid beslist ongewenst zijn. In een omgeving die niet donker is, kan het daarentegen wel degelijk moeilijk zijn om met een actief display een voldoende hoog contrast te creëren.

Door omgevingsverlichting en spiegeling van heldere objecten zoals vensters en lampen vermindert het feitelijk contrast tussen tekens en achtergrond op het scherm. Om dit te compenseren, moeten de tekens helderder gemaakt worden. De beperkende factor daarbij is de maximale luminantie van een scherm. Hogere waarden dan 150 tot 200 cd/m² zijn momenteel technisch nog niet haalbaar, althans niet in combinatie met een lange levensduur.

Zoals gezegd, beïnvloeden omgevingsverlichting en heldere objecten in de omgeving de contrasten op een scherm. Omgevingsverlichting wordt door het schermoppervlak diffuus gereflecteerd en bepaalt in feite de luminantie van de donkere scherm delen. De omgevingsverlichting heeft relatief weinig invloed op de luminantie van de lichte delen van een actief display. Dientengevolge neemt het contrast tussen tekens en achtergrond af bij toenemende omgevingsverlichting. Behalve deze diffuse reflectie door een schermoppervlak kan er ook gemakkelijk spiegelende reflectie van heldere objecten optreden. We behandelen beide typen reflectie in wat meer detail en gaan daarbij eerst verder in op het geval van *lichte tekens op een donkere achtergrond*.

Het effect van *diffuse reflectie* wordt besproken aan de hand van een theoretisch voorbeeld: een ongeveer verticaal opgesteld computerscherm met lichte tekens op een donkere achtergrond in een normale kantooromgeving. Stel dat in het kantoor de verlichtingssterkte op het horizontale bureauvlak 500 lux bedraagt, een niveau dat minimaal aanbevolen wordt voor het lezen van gedrukte tekst. De verlichtingssterkte op het verticale scherm is dan ongeveer de helft: 250 lux. Neem verder aan dat het betreffende scherm 8 procent van de omgevingsverlichting diffuus reflecteert ($r_d = 0,08$, een gemiddelde waarde). De luminantie van de donkere achtergrond is dan 6,4 cd/m² (berekend via de formule $L_a = (r_d \cdot E_h) / 2\pi$, waarin L_a de luminantie van de donkere achtergrond is en E_h de horizontale verlichtingssterkte). Om een, gemiddeld,

contrast van 10:1 te bereiken tussen lichte tekens en donkere achtergrond op het scherm, moeten de tekens dus een luminantie hebben van 64 cd/m^2 . Als nu de horizontale verlichtingssterkte verdubbeld wordt tot 1000 lux, moet ook de luminantie van de tekens tweemaal zo groot worden (128 cd/m^2) om het contrast op gelijk niveau te houden.

Behalve diffuse reflectie veroorzaakt een schermoppervlak ook *spiegelende reflectie*. Heldere objecten uit de omgeving kunnen zo voor de gebruiker zichtbaar worden in het scherm. Spiegelende reflectie is hinderlijk, als de luminantie van de lichte tekens minder dan tienmaal zo groot is als de luminantie van de spiegeling. Die laatste grootheid wordt bepaald door de luminantie van het heldere object zelf en de spiegelende reflectiefactor (r_s) van het scherm. Zonder maatregelen om spiegeling te beperken, is r_s ongeveer 0,04, door matteren of etsen (wat als ongewenst neveneffect een verminderde scherpte van de tekens heeft) wordt r_s circa 0,025 en met een speciale coating (' $\frac{1}{4}$ -lambda') is r_s terug te brengen tot 0,005. Als we nu uitgaan van tekens met een luminantie van 128 cd/m^2 en een scherm met $r_s = 0,04$, kan bepaald worden wat voor dat geval de maximale luminantie van gespiegelde objecten mag zijn. De luminantie van de spiegeling mag niet meer zijn dan ($128/10 =$) $12,8 \text{ cd/m}^2$. Dat betekent voor het object zelf een luminantie van ($12,8/0,04 =$) 320 cd/m^2 . Bij $r_s = 0,01$ zou de maximaal toelaatbare luminantie 1280 cd/m^2 bedragen. De feitelijke luminanties in de omgeving van een elektronisch scherm zijn echter vaak veel groter: van een gewone lamp (2000 cd/m^2) tot een heldere lucht (20000 cd/m^2). Daaruit blijkt wel dat spiegelingshinder al gauw een probleem kan zijn.

De situatie met *omgekeerde polariteit* (donkere tekens op een lichte achtergrond) is aanzienlijk anders. Ten eerste wordt voor dit geval een contrast van tenminste 1:3 tussen tekens en achtergrond aanbevolen. Aan het contrast hoeft hier geen bovengrens gesteld te worden, omdat de donkere tekens altijd wat overstraald worden door de lichte achtergrond. Verder wordt bij deze polariteit de luminantie van de donkere tekens bepaald door de omgevingsverlichting en de diffuse reflectie daarvan door het schermoppervlak. Als we weer uitgaan van een diffuse reflectiecoëfficiënt (r_d) van 0,08 en een horizontale verlichtingssterkte van 500 lux, dan is de luminantie van de donkere tekens $6,4 \text{ cd/m}^2$ (berekend via de formule $L_t = (r_d \cdot E_h)/2\pi$, waarin L_t de luminantie van het donkere teken is en E_h de horizontale verlichtingssterkte). Om een contrast van 5 te realiseren, moet de luminantie van de achtergrond 32 cd/m^2 zijn. Bij een verlichtingssterkte van 1000 lux verdubbelen deze luminanties: $L_t = 12,8 \text{ cd/m}^2$ en $L_a = 64 \text{ cd/m}^2$. Als voor dit laatste geval een contrast van 10 wordt aangehouden, wordt $L_a = 128 \text{ cd/m}^2$.

Bij donkere tekens op een lichte achtergrond is spiegelingshinder veel kleiner dan bij omgekeerde polariteit op het scherm. Als we uitgaan van het laatste voorbeeld uit de vorige alinea ($L_t = 12,8 \text{ cd/m}^2$ en $L_a = 128 \text{ cd/m}^2$; een contrast van 10) en van een scherm met een spiegelende reflectie $r_s = 0,04$, dan is te bepalen wat de maximale luminantie van heldere objecten is waarbij het contrast op het scherm nog juist 3 blijft. Daarvoor gebruiken we de formule $(L_a + L_s)/(L_t + L_s) = 3$, waarin L_s de luminantie van de spiegeling op het scherm is. Dit komt er dan op neer dat de luminantie van het heldere object niet meer dan ongeveer 1120 cd/m^2 mag zijn. Bij een scherm met $r_s = 0,01$ wordt deze waarde 4480 cd/m^2 . Het zal duidelijk zijn dat deze grenswaarden aanzienlijk hoger liggen dan voor de vergelijkbare gevallen met lichte tekens op een donkere achtergrond.

Behalve het voordeel van donkere tekens op een lichte achtergrond bij spiegelingshinder, kan bij deze polariteit ook veel gemakkelijker een aangenaam contrast tussen het scherm en de overige *werkplek* gerealiseerd worden. De gemiddelde scherm-luminantie is immers veel hoger en kan beter in overeenstemming worden gebracht met bijvoorbeeld wit papier. Toch is het voor werkplekken waarbij veel op en neer gekeken moet worden tussen papier en scherm (bijvoorbeeld het uittypen van een manuscript), nog aan te bevelen het papier ongeveer verticaal te plaatsen, waardoor zijn luminantie halveert. Een voorwaarde voor het toepassen van de polariteit donker-op-licht is wel dat het scherm flikkervrij is. Dat betekent dat de *beeldfrequentie* voldoende hoog moet zijn, bij voorkeur 100 Hz. Bij een dergelijke werkplek prefereren mensen een afstand tot het scherm van ongeveer 70 cm; de leesafstand tot het papier kan het best ongeveer 50 cm zijn.

In het bovenstaande over luminanties en contrast is niet gesproken over het gebruik en de keuze van kleuren. Een aantal richtlijnen hiervoor wordt gegeven door Cushman en Rosenberg (1991, tabel 6-8; zie reader).

Opneembaarheid

Een belangrijke bron van problemen bij het lezen van tekst op een elektronisch scherm is de *beperkte hoeveelheid tekst* die tegelijkertijd gepresenteerd kan worden, vergeleken met bijvoorbeeld een gedrukte A4-pagina. Die beperking kan het voor de lezer bijvoorbeeld lastig maken om een overzicht te krijgen van de inhoud van de volledige tekst, als die over veel schermen verdeeld is. Het kan daarom verleidelijk zijn om veel tekst, met een hoge 'dichtheid', op één scherm te presenteren. Daarbij kan onder meer gevarieerd worden met regelafstand, aantal tekens per regel (ofwel de tekenbreedte) en de regellengte. Onderzoek naar de optimale waarden van deze grootheden is nog fragmentarisch. Enige resultaten:

- een dubbele regelafstand vermindert in geringe mate de totale leestijd en het totaal aantal fixaties voor een gegeven tekst;
- bij 80 tekens per regel verloopt het lezen efficiënter dan bij 40, tweemaal bredere, tekens;
- de leessnelheid is groter bij regels die de hele breedte van het scherm beslaan dan bij regels van 2/3 of 1/3 scherm-breedte; ander onderzoek laat juist weer zien dat korte regels makkelijker lezen.

De grootste tekortkoming van het onderzoek op dit gebied, vanuit praktisch oogpunt, is dat het in alle gevallen wordt uitgevoerd met één specifieke leestaak, bijvoorbeeld een tekst lezen om de informatie erin te onthouden. Dat zegt dan weinig over andere leestaken, bijvoorbeeld het zoeken van bepaalde gegevens in een tekst. Het komt er kortom op neer dat gefundeerde richtlijnen hier niet te geven zijn. Wel is duidelijk dat het gebruik van meer, kleine, 'windows' op een scherm slecht is voor de opneembaarheid.

Anders dan met papier en gedrukte informatie kan met elektronische schermen tekst *dynamisch* gepresenteerd worden: de tekst kan over het scherm bewegen ('scrollen'). Uit leesbaarheidsoogpunt kan het verticaal scrollen van tekst beter gelijkmatig gebeuren dan verspringend per regel. Verticaal scrollen heeft overigens geen aangetoond voordeel boven het wisselen van volledige pagina's ('paging') en is voor onervaren lezers mogelijk zelfs nadelig. Als er maar ruimte is voor één regel tekst, kan er ook horizontaal gescrolld worden ('Times Square scrolling'). Er moet dan echter met beduidend slechtere leesprestaties worden gerekend dan bij een stilstaand beeld.

Naarmate de spronggrootte van het horizontaal scrollen toeneemt en het beeld dus langer stationair is, gaat het lezen wat gemakkelijker: bij gelijke presentatiesnelheid zijn sprongen van 4 tot 10 tekens beter dan sprongen van 1 of 2 tekens.

Op sommige schermtypen kan aan tekens een extra accent gegeven worden door het toepassen van 'highlighting', zoals een hogere luminantie, 'reverse video', een afwijkend kleur of knipperen. Het nuttig effect van highlighting van bijvoorbeeld een woord kan zijn dat het sneller gevonden wordt op het scherm, als de lezer ernaar zoekt. Het gebruik van knipperende tekens wordt overigens voor bijna alle situaties afgeraden, omdat het de leesbaarheid slecht maakt, snel irriteert en afleidt van andere tekstdelen. Knipperen kan alleen, met mate, worden toegepast voor dringende berichten of waarschuwingen.

Lezen van papier en scherm: een vergelijking

Er zijn mensen die de vaste overtuiging hebben dat tekstpresentatie op papier beter is dan via een elektronisch scherm (figuur 15.15). Anderen geloven stellig in het tegendeel. Wat is er nu aan objectieve gegevens om deze overtuigingen te ondersteunen of te weerleggen? Eigenlijk ontzettend weinig, ondanks het vele onderzoek dat er gedaan is naar verschillen in leesbaarheid tussen gedrukte en elektronische tekst. De belangrijkste zwakte van deze onderzoeken is de beperkte variatie in leestaken die gebruikt zijn. Bij sommige experimenten is het zelfs de vraag wat de taak van de proefpersonen nog met normaal lezen te maken had. Het is daarom moeilijk om vanuit de huidige onderzoeksresultaten te komen tot een goed onderbouwd, objectief oordeel over de relatieve leesbaarheid van gedrukte en elektronische tekst in uiteenlopende situaties. Wel kan zonder meer geconstateerd worden dat elektronische schermen, in ieder geval voorlopig, een achterstand hebben op drukwerk wat betreft beeldkwaliteit en draagbaarheid. Maar zeker op dit laatste gebied gaan de ontwikkelingen snel: denk aan laptops, notebooks, handpalm computers, etc.



Figuur 15.15 Voorstanders van het lezen van scherm.

We bespreken nu kort enige algemene trends in de onderzoeksresultaten, zonder uit te weiden over de beperkingen van de betreffende experimenten, aan de hand van verschillende invalshoeken voor de vergelijking papier versus scherm:

- leessnelheid: de leessnelheid is bij schermen lager dan bij drukwerk (20 tot 30%);
- nauwkeurigheid: bij het zoeken naar spelfouten is er geen verschil; bij andere invulling van het begrip nauwkeurigheid spreken de resultaten elkaar tegen: soms doen de lezers van een elektronische tekst het beter en soms die van gedrukte tekst;
- vermoeidheid: gebruikers van schermen vinden het lezen daarvan op zich niet vermoeiend, maar bij schermen met een doorsnee beeldkwaliteit is het moeilijker om een zeker prestatieniveau langere tijd vol te houden;
- begrip: een goede, algemeen geaccepteerde maat voor de begrijpelijkheid van een tekst is nog niet ontwikkeld; het onderzoek dat op dit gebied is verricht, laat op dit punt voorlopig geen verschil zien tussen scherm en drukwerk;
- voorkeur: lezers prefereren, desgevraagd, kwaliteitsdrukwerk boven tekst op een scherm; waarop deze voorkeur gebaseerd is, is niet bekend, zodat het nog niet mogelijk is om aan te geven hoe schermen en de presentatie van tekst daarop verbeterd zouden kunnen worden;
- oogbewegingen: er zijn geen belangrijke verschillen aangetoond tussen de oogbewegingen bij het lezen van drukwerk en die bij een elektronisch scherm;
- fysiek manipuleren: op dit punt zijn gedrukte teksten duidelijk in het voordeel; enerzijds door de (nog) beperkte mogelijkheden om handig met een tekst op een scherm om te gaan (het gaat meestal nog weinig direct), anderzijds door gebrek aan standaardisatie van manipulatiemethoden bij elektronische teksten (bij ieder programma zijn weer andere oplossingen gekozen); papieren documenten daarentegen hebben onderling veel overeenkomsten, waardoor eenmaal ontwikkelde vaardigheden altijd bruikbaar zijn; het lijkt aannemelijk dat gedrukte teksten nog sterker in het voordeel zijn, als de lezer met verscheidene teksten tegelijk moet werken;
- navigeren: weten-waar-je-bent en weten-waar-je-heen-moet zijn voor een lezer van een (lange) elektronische tekst lastiger dan bij een gedrukte tekst; het ruimtelijk geheugen van de lezer, dat hierbij een rol speelt, wordt beter ondersteund door een gedrukte tekst; verstandig gebruik van windows bij de presentatie van tekst op een scherm kan dit probleem mogelijk oplossen en leidt uiteindelijk misschien zelfs tot een betere ondersteuning van bepaalde leestaken dan met drukwerk mogelijk is.

We moeten concluderen dat vooralsnog het lezen van papier beter en makkelijker lijkt te verlopen dan lezen van een elektronisch scherm. Er moet nog veel onderzoek gedaan worden om het lezen, zowel van papier als van scherm, beter te gaan begrijpen en vanuit die kennis criteria en richtlijnen voor elektronisch gepresenteerde tekst te kunnen ontwikkelen.

Begrippen

grafische tekens

- visuele vormcodering
- symbool
- pictogram
- ideogram
- fonogram
- alfanumerieke tekens

het lezen van tekst

- code-symmetrie
- saccaden
- fixatie
- regressie
- return sweep

leesbaarheid en leesbaarheidscriteria

- leesbaarheid
- onderscheidbaarheid
- opneembaarheid
- begrijpelijkheid

richtlijnen

- helderheidscontrasten
- luminantieverhouding
- lettergrootte
- tekenhoogte
- lettertype
- relatieve x-hoogte
- kapitalen
- onderkast
- cursieve tekst
- tekst in romeinen
- breedte-hoogte-verhouding
- lijndikte
- letterspatiëring
- woordspatiëring
- regelafstand
- regellengte

pictogrammen, symbolen en icons

- begrijpelijkheidstest
- schattingstest
- matchingtest

leesbaarheid bij elektronische displays

- resolutie
- adreseerbaarheid
- contrast
- luminantie
- diffuse reflectie
- spiegelende reflectie
- polariteit
- werkplek
- beeldfrequentie
- window
- scrollen
- highlighting

Literatuur

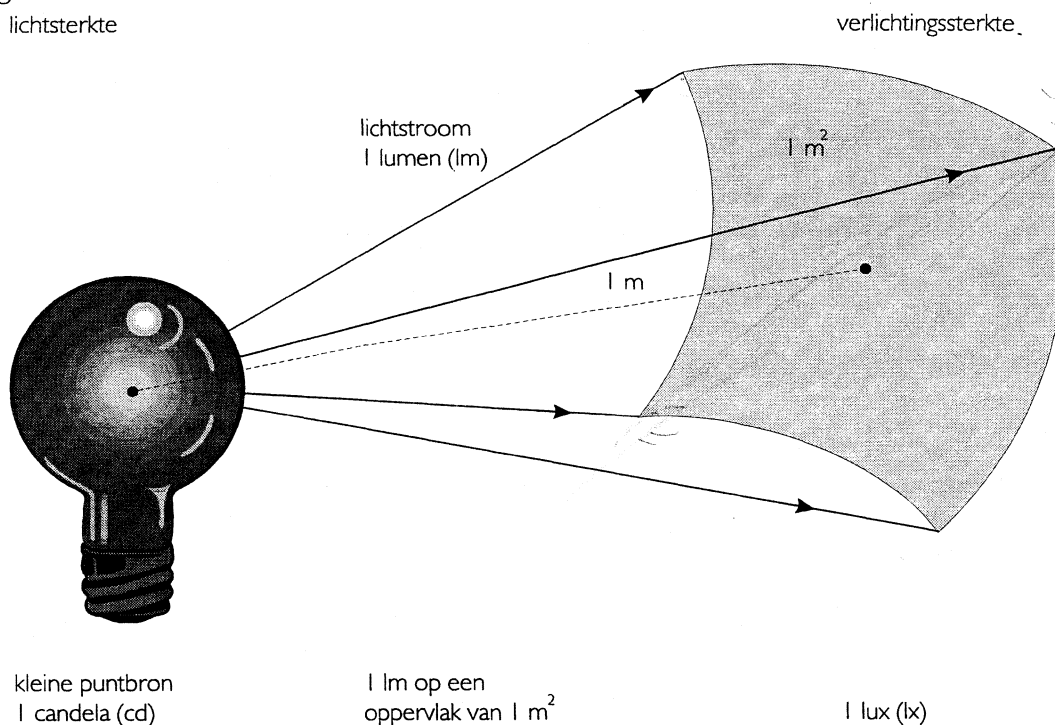
- Beattie, V. and Jones, M.J., 1994.
Information design and manipulation: financial graphs in corporate annual reports. *Information Design Journal*, 7, 211-226.
- Bergfeld Mills, C., and Weldon, L.J., 1987.
Reading text from computer screens. *ACM Computing Surveys*, 19, 329-358.
- Broadbent, D.E., 1977.
Language and ergonomics. *Applied Ergonomics*, 8, 15-18.
- Brugger, C. 1994.
Public information symbols: a comparison of ISO testing procedures. In: H.J.G. Zwaga, T. Boersema, and H.C.M. Hoonhout, *Proceedings of Public Graphics* (pp. 26.1-26.11). Utrecht: Public Graphics Research.
- Burnhill, P., Hartley, J., and Young, M., 1979.
Tables in text. *Applied Ergonomics*, 7, 13-18.
- Cairney, P., and Sless, D., 1982.
Communication effectiveness of symbolic safety signs with different user groups. *Applied Ergonomics*, 13, 91-97.
- Chapanis, A., 1965.
Words, words, words. *Human Factors*, 7, 1-17.
- Cooper, S., and Page, M., 1989.
Instructions for consumer products. London: Her Majesty's Stationery Office.
- Cushman, W.H., and Rosenberg, D.J., 1991.
Human factors in product design (chapters 6 and 7). Amsterdam: Elsevier.
- Dillon, A., 1992.
Reading from paper versus screens: a critical review of the empirical literature. *Ergonomics*, 35, 1297-1326.
- Dillon, A., 1994.
Designing usable electronic text. London: Taylor & Francis.
- Dirken, J.M., 1976.
Leesbaarheid: onderscheiden, opnemen, begrijpen. Eindhoven: Lecturis.
- Easterby, R., and Zwaga, H. (eds.), 1984.
Information design. Chichester: Wiley.
- Hartley, J., 1985.
Designing instructional text (second edition). London: Kogan Page.
- ISO, 1984.
Development and principles for application of public information symbols (ISO Draft Technical Report 7239). Geneva: Author.
- ISO, 1989.
Procedures for the development and testing of public information symbols (ISO 9186). Geneva: Author.
- Jaschinski-Kruza, W., 1990.
On the preferred viewing distances to screen and document at VDU workplaces. *Ergonomics*, 33, 1055-1063.
- Leebeek, H.J., 1986a.
Visuele ergonomie en beeldschermen (I). *EM*, 11, 71-75.
- Leebeek, H.J., 1986b.
Visuele ergonomie en beeldschermen (II). Toepassing van de basisregels. *EM*, 12, 25-33.

- Reynolds, L., 1979.
Progress in documentation. *Journal of Documentation*, 35, 307-340.
- Sanders, M.S., and McCormick, E.J., 1993.
Human factors in engineering and design (chapters 3 and 4). New York: McGraw-Hill.
- Smith, M.J., 1984.
Human factors issues in VDT use: environmental and workstation design considerations. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 4(11), 56-63.
- Smith, S.L., 1979.
Letter size and legibility. *Human Factors*, 21, 661-670.
- Tinker, M.A., 1963.
Legibility of print. Ames, IA: Iowa State University Press.
- Wright, P., 1971.
Writing to be understood: why use sentences? *Applied Ergonomics*, 2, 207-209.
- Zwaga, H.J., 1989.
Comprehensibility estimates of public information symbols: their validity and use. In: *Proceedings of the Human Factors Society 33rd Annual Conference* (pp. 979-983). Santa Monica, CA: Human Factors Society.
- Zwaga, H.J., and Boersema, T., 1983.
Evaluation of a set of graphic symbols. *Applied Ergonomics*, 14, 43-54.

16 Verlichting, daglicht, kunstlicht en keuze lichtbronnen en armaturen

Inleiding

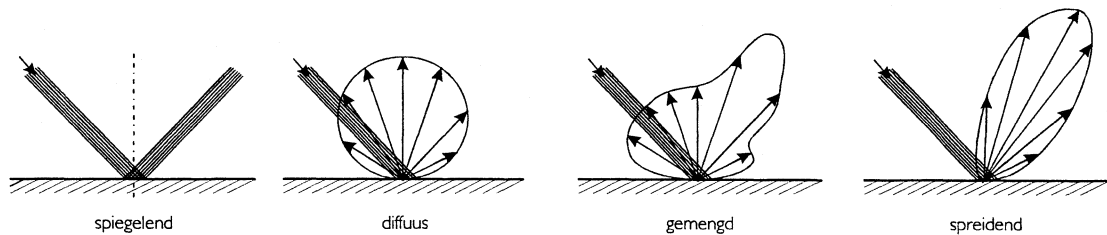
Lichteenheden Belangrijke lichteenheden zijn: lumen (lm), lux (lx), candela (cd) en nit of candela m^{-2} ($cd \cdot m^{-2}$). Ter gedachtebepaling: een moderne gloeilamp heeft per Watt toegevoerd vermogen een lichtsterkte (I) van ongeveer 1,5 cd en zendt per Watt toegevoerd vermogen een totale lichtstroom (Φ) uit van ongeveer 20 lumen. In onderstaand plaatje van de situatie rondom een puntvormig gedachte lichtbron (dus zeer klein en ook zonder de fitting) met een lichtsterkte van 1 cd, wordt één en ander geïllustreerd.



Figuur 16.1: Relatie tussen enkele lichteenheden.

In de pijlrichtingen wordt gelijkmatig lichtenergie uitgestraald zodat op 1 m afstand door een oppervlak van $1 m^2$ uit de omhullende bol een lichtstroom van 1 lm gaat. De lichtbron zendt dus 1 lm uit per steradiaal en derhalve 4π lumen totaal. Valt er op een oppervlak van $1 m^2$, gelijkmatig verdeeld, een lichtstroom van 1 lm, dan is de verlichtingssterkte (E) daar 1 lx. De lichtstroom die, in deze situatie, op 1 m afstand door een oppervlak van $1 m^2$ gaat, gaat op 2 m afstand door een oppervlak van $4 m^2$ en op 3 m afstand door een oppervlak van $9 m^2$. De verlichtingssterkte is daar dus 0,25 lx respectievelijk 0,11 lx. De luminantie, of ook wel de helderheid, hoewel deze laatste term meestal gereserveerd wordt voor de subjectieve beleving van de eerste, wordt gegeven in $cd \cdot m^{-2}$. Bij een niet zelf stralend oppervlak is de luminantie het gevolg van het reflecteren (of doorlaten) van opvallend licht. Een relatie met de verlichtingssterkte ligt dus voor de hand. Een ideaal wit (magnesiumoxide), diffuus reflecterend vlak), verlicht met een verlichtingssterkte van 1 lx, heeft een luminantie van $1/\pi cd \cdot m^{-2}$, dat is

circa $0,32 \text{ cd.m}^{-2}$. Bij een niet ideaal wit, diffuus reflecterend vlak moet deze waarde nog vermenigvuldigd worden met de reflectiefactor, die een waarde heeft tussen 0 (absoluut mat zwart) en 1. Is de reflectie niet diffuus, maar spiegellend of gemengd (figuur 16.2) dan hangt de luminantie af van de hoek waaronder men het vlak beschouwt. Kijkend vanuit de richting van regelmatige terugkaatsing (spiegeling) is de luminantie dan groter dan in het geval van diffuse reflectie. Vanuit richtingen daarbuiten is deze doorgaans kleiner.



Figuur 16.2 Wijzen van reflectie (Hietbrink, 1968).

materiaal	reflectiefactor	materiaal	reflectiefactor
wit pleisterwerk (nieuw, droog)	0,70 - 0,80	donkerbruine gordijnen	0,10 - 0,20
idem (oud)	0,30 - 0,60	zwart fluweel 0,005-0,01	0,005- 0,01
geschuurd wit plafond	0,65 - 0,70	zwart behang	0,03 - 0,05
wit gaatjesboard	0,70 - 0,75	blik	0,68 - 0,70
witte waterverf	0,65 - 0,75	zilver gepolijst	0,88 - 0,93
beton (nieuw)	0,40 - 0,50	nikkel idem	0,53 - 0,63
idem (oud)	0,05 - 0,15	aluminium idem	0,65 - 0,75
baksteen (nieuw)	0,10 - 0,30	chromium idem	0,60 - 0,70
baksteen (oud)	0,05 - 0,15	nikkel mat	0,48 - 0,52
zachtboard (crème, nieuw)	0,50 - 0,60	aluminium mat	0,55 - 0,60
zachtboard (crème, oud)	0,30 - 0,40	chromium mat	0,52 - 0,55
licht berke- of esdoornhout	0,55 - 0,65	aluminium alzac	0,80 - 0,85
licht eikehout	0,40 - 0,50	reflectal	0,85 - 0,88
donker eikehout	0,15 - 0,40	emaille (wit)	0,65 - 0,75
mahonie- en notehout	0,15 - 0,40	koper	0,48 - 0,50

Figuur 16.3 Reflectiefactoren van enkele materialen, voor wit licht.

Straalt een vlak wel zelf licht uit, dan krijgt men de luminantie in cd.m^{-2} door de "lichtsterkte" van dit vlak (berekend alsof al het licht afkomstig was van een puntbron) te delen door het oppervlak. Licht dat op een vlak valt en niet wordt gereflecteerd, wordt in het algemeen geabsorbeerd (veelal omgezet in warmte, maar soms ook (gedeeltelijk) in elektrische energie, zoals bij zonnepanelen); in een aantal gevallen wordt ook een deel van het licht doorgelaten (glas, dunne folies enz.). Hierbij treden vergelijkbare situaties op als bij reflectie, dat wil zeggen doorlating zonder verstrooiing

(helder glas), volledig verstrooide doorlating (dicht opaal glas / melkglas) en diverse mengvormen (matglas). In tabel 16.3 worden voor wit licht de reflectiefactoren van een aantal materialen gegeven, in tabel 16.4 die voor kleuropervlakken.

kleur	licht	middel	donker
rood	0,35	0,20	0,10
bruin	0,50	0,25	0,08
beige	0,65	0,45	0,30
geel	0,70	0,50	0,30
groen	0,60	0,30	0,12
blauw	0,50	0,20	0,05
wit	0,80	0,70	
grijs	0,60	0,35	0,20
zwart		0,04	

Figuur 16.4 Reflectiefactoren voor enkele kleuren.

Luminanties en luminantieverhoudingen (contrasten)

Voor het verrichten van visuele arbeid zijn in de eerste plaats luminanties en luminantieverhoudingen (contrasten) van belang, deze grootheden nemen immers zowel de verlichtingssterkten als de reflecterende- en licht doorlatende vermogens van de werkobjecten in aanmerking.

16.1 De luminanties in het gezichtsveld

Naast het bijdragen aan een goede zichtbaarheid moet verlichting ook bijdragen aan een goede sfeer in de ruimte. De verlichting is één van de factoren, de aard van de werkzaamheden, de hulpmiddelen die daarbij gebruikt worden, het gezichtsvermogen van de gebruiker en de uitvoering en inrichting van de werkruimten spelen hierin eveneens een rol.

In veel gevallen wordt een slechte verlichting niet als zodanig herkend. Het kan echter leiden tot een verminderd welbevinden, klachten als vermoeidheid, pijnlijke ogen en hoofdpijn. Ook verminderde prestaties, zoals meer afleesfouten kunnen het gevolg zijn. Bekende klachten zijn die van verblinding, schittering en spiegeling. De ruimte wordt ook vaak te donker en de contrasten te hoog bevonden. In de praktijk is de verlichting soms een compromis tussen het technisch en economisch voor de hand liggende en het in ergonomisch opzicht wenselijke. Dikwijls zijn de genoemde uitgangspunten echter niet met elkaar in strijd en kan door deskundig advies de situatie aanmerkelijk verbeterd worden tot voordeel van iedereen.

Van belang zijn vooral, zoals gezegd, luminanties en luminantieverhoudingen. Een ruimte zal een des te opdringeriger indruk maken naarmate de luminantieverhoudingen groter zijn dan 10:1. Van de andere kant zal een ruimte er des te saaier en eentoniger uitzien naarmate de luminantieverhoudingen kleiner zijn dan 3:1.

Vaak wordt geprobeerd het hele werkvlak op 85 cm boven de vloer, van wand tot wand gelijkmatig te verlichten met een maximaal toegestane ongelijkmatigheid van 0,7

(= E_{\min}/E_{\max}). Dit levert in het algemeen een saaie omgeving op. Zo'n gelijkmatige verlichting heeft uiteraard wel het voordeel dat men op elke willekeurige plaats in die ruimte kan werken. Een wat plaatselijkere verlichting, die wel een minder gemakkelijker en flexibeler indeling van de werkruimte ten gevolg heeft, zal doorgaans een veel plezieriger omgeving scheppen.

Hierbij dient rekening gehouden te worden met de verschillende zones waarin het gezichtsveld verdeeld kan worden:

- de directe taak (het schrijfpapier, het beeldscherm, de te controleren meters e.d.)
- de onmiddellijke omgeving (het bureau waar het schrijfpapier op ligt, het paneel waar de meters in zitten)
- de rest van het gezichtsveld (bijv. de wand -met de ramen er in- waarop het paneel bevestigd is)

De optimale luminantieverhouding tussen deze oogtaak, directe omgeving en achtergrond is doorgaans 5:2:1 of 1:2:5 in het geval van een donkere oogtaak. De verhouding 10:3:1 of bij donkere oogtaak (bijv. sommige beeldschermtaken) 1:3:10 dient bij voorkeur niet overschreden te worden. Regeling van deze verhouding is mogelijk door de lichtstroom te verdelen en te richten en door de reflectiefactoren te kiezen evenals de wijze van reflecteren. In een werkvertrek worden globaal de volgende reflectiefactoren aanbevolen (figuur 16.5):

oppervlak	reflectiefactor
plafond	0,70 - 0,90
wanden	0,40 - 0,60
werkvlak, kantoormeubilair	0,25 - 0,50
vloer	0,15 - 0,40

Figuur 16.5 Reflectiefactoren in een werkvertrek.

De reflectiefactoren in tabel 16.4 en daarmee de luminanties nemen van boven naar beneden af. Dit is ook in de natuurlijke omgeving buiten het geval; de hemel is doorgaans helder en de grond donker.

Deze reflectiefactoren zijn ook mede bepalend voor de effectiviteit van de verlichtingsbronnen. Immers lage waarden voor de reflectiefactoren leiden tot een grote mate van absorptie van licht, en zo tot een lage utilizatiecoëfficiënt, het percentage van het licht dat door alle oppervlakken in de beschouwde kamer of het beschouwde gebied gereflecteerd wordt. Hieronder wordt het effect geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld.

reflectiefactor van het oppervlak (%)				utilisatiecoëfficiënt van plafondverlichting
plafond	muren	meubilair	vloer	%
65	40	28	12	29
85	72	50	85	57

Figuur 16.6 Relatie tussen utilizatiecoëfficiënt en reflectiefactoren.

Heeft men te maken met reflectiefactoren binnen de aanbevolen grenzen, met normale contrasten in de werktaken en met niet te oude werknemers, dan kunnen onderstaande

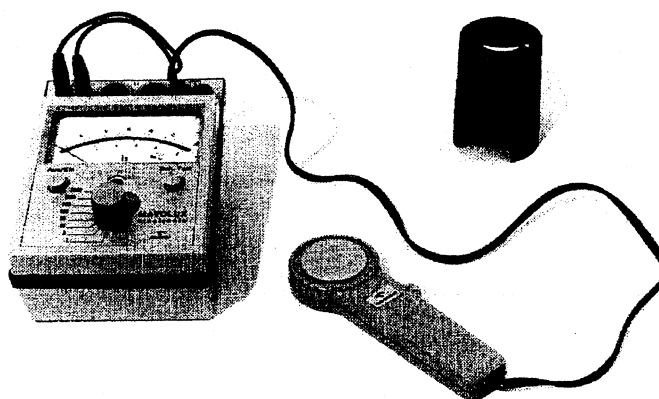
richtwaarden voor de verlichtingssterkte worden aangehouden (figuur 16.7):

werkzaamheden	verlichtingssterkte
zeer fijn werk (horloge maken, graveren)	2500 lx
fijn werk (fijn montagewerk, tekenkamer)	1000 lx
normaal werk (boekhouden, lezen, grof draaien)	500 lx
grof werk (smeden, walsen, magazijn)	250 lx
incidenteel gebruik (archieef, trap, gang)	125 lx

Figuur 16.7 Aanbevolen verlichtingssterkten.

De hoge waarden kunnen wellicht (energie)gunstig gerealiseerd worden door een zwakkere algemene verlichting aan te vullen met plaatselijke verlichting. De daardoor ontstane lokale verschillen in verlichtingssterkte kunnen ook saaiheid van de werkplek voorkomen. Wel dient men alert te zijn op het verblindingsrisico van deze lokale, vaak individueel in te stellen, lichtbronnen.

Om tot een goede verdeling van de verlichting te komen is het vaak niet voldoende om uitsluitend een aantal waarden uit een tabel te gebruiken en op basis daarvan de lampen, de armaturen en hun plaats te kiezen. Elke situatie is namelijk anders. Er moet niet alleen rekening gehouden worden met de vlakken waarop het licht valt en met de lichtbron zelf. Doordat het licht weerkaatst wordt zullen alle voorwerpen en wanden in de omgeving dienst doen als (zwakke) lichtbron. Om tot een goede verlichting van de ruimte te komen zal er dan gemeten moeten worden. Het meest voor de hand liggend om te meten is de verlichtingssterkte. Hoeveel licht valt er op een tafel waar een lamp boven hangt? De verlichtingssterkte kan betrekkelijk eenvoudig gemeten worden met een luxmeter (zie figuur 16.8).



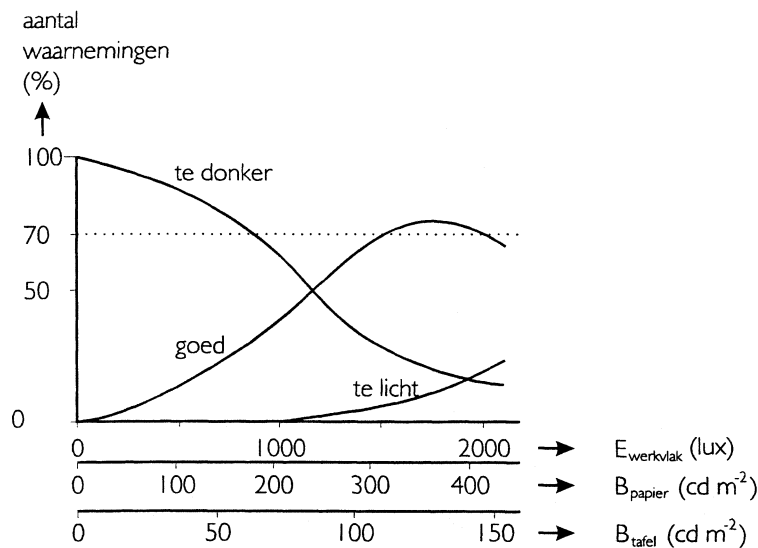
Figuur 16.8 Een voorbeeld van een luxmeter.

Een luxmeter heeft een vaste of een losse meetcel. Die kan op de plaats waarvan men de hoeveelheid opvallend licht wil weten gelegd worden. Het is belangrijk om bij het meten van de verlichtingssterkte vast te leggen op welke afstand de lichtbron zich bevindt en onder welke hoek het werkblad staat. Op die manier kan een uitspraak gedaan worden over de relatie tussen de verlichtingsbron en het verlichte oppervlak.

Om aan te geven welke eigenschappen een bepaalde bron heeft, wordt het lichtvangend oppervlak (tafel, werkblad) verdeeld in een aantal rechthoeken. In het midden van elke rechthoek wordt een meetpunt gemarkeerd. Door in elk meetpunt de verlichtingssterkte te bepalen ontstaat een inzicht in de lichtverdeling. Dezelfde methode kan toegepast worden op een hele werkruimte, door deze in vakken te verdelen en de middelpunten van die vakken als meetpunten te beschouwen. De ruimte wordt gelijkmatig verlicht genoemd als de extreme verlichtingssterkten niet te veel afwijken van het gemiddelde: $E_{min}/E_{max} \geq 0,7$.

Illustratief voor de betrouwbare van de verlichtingsnormen -vaak een compromis tussen kosten van energiegebruik, installatie en onderhoud enerzijds en optimaal visueel comfort en prestaties anderzijds- zijn de resultaten van een onderzoek van J.J. Balder (1964), aan een aantal proefpersonen dat schrijfwerk moest verrichten in een ruimte waarin goede aandacht besteed was aan de reflectiefactoren van meubelen, wanden en plafond. De deelnemers moesten het werk verrichten bij verschillende verlichtingssterkten, waarbij zij het niveau als "goed", "te laag" of "te hoog" konden beoordelen. De resultaten vindt u in figuur 16.9.

Bij 2000 lx, 4x hoger dan de waarde uit figuur 16.10, vindt nog 10% van de ondervraagden het niveau te laag. Van belang hierbij is ook, dat ouderen veel meer licht nodig hebben om visueel hetzelfde te presteren als jongeren; 60- jarigen hebben daarvoor, afhankelijk van het contrast in de werктаak, gemiddeld 2-10x zoveel licht nodig als 20-jarigen.

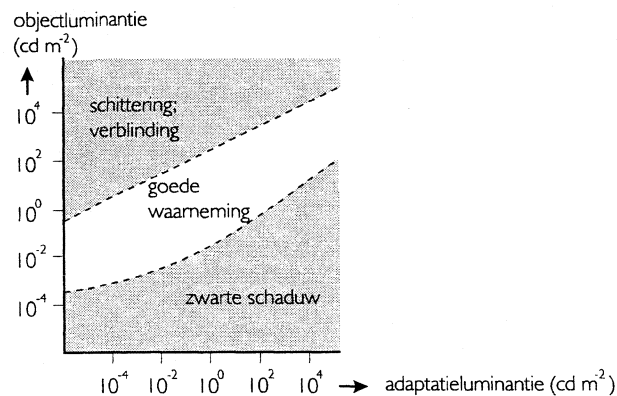


Figuur 16.9 De keuze van de verlichtingssterkte (Balder, in: Hietbrink, G. en Quaedvlieg, N.J., 1968).

16.2 Schittering, verblinding "glare"

Van verblinding is sprake als door te grote luminantie of te hoge luminantieverhoudingen in het gezichtsveld een gevoel van onbehagen ontstaat en/of de visuele waarneming verslechtert. Vooral als de lichtbronnen (waaronder vensters) of hun gespiegelden zich in de buurt van de kijkrichting bevinden treedt dit verschijnsel op (bijv. tegenliggers in nachtelijk verkeer, lezen en opkijken van boek tegen een onafgeschermd verlichtingsarmatuur of venster in, of een computermonitor voor een raam). Hoewel dus luminantiecontrasten essentieel zijn voor het zien, treden bij te

grote contrasten verblindingsverschijnselen op. Vooral bij ouderen kan dit een ernstig probleem zijn vanwege toenemend strooilicht door het met de jaren troebeler worden van de ooglens. Eén en ander is schematisch weergegeven in figuur 16.10.



Figuur 16.10 Schematische weergave van de relatie tussen objectluminantie en adaptatieluminantie en de waarnemingsmogelijkheden (Hopkinson en Collins, in: Boyce P.R., 1981).

Er is een snelle praktische methode om na te gaan of er sprake kan zijn van verblinding, ("glare") door bijvoorbeeld verlichtingsarmaturen. Vanuit de positie van de betreffende werker wordt gekeken of de armaturen voor directe inkijk of inkijk via "spiegelende" werkobjecten (gebruik zonnig een spiegel) en meubilair afgeschermd zijn. Is dit het geval dan is er weinig kans op verblinding of "glare". Is dit niet het geval dan kan "glare" optreden, afhankelijk bijvoorbeeld van de gebruikte lichtbron, bij T.L.-buizen (geringere oppervlakteluminantie) en armaturen met sterk verstrooiende eigenschappen is de kans kleiner dan bij onafgeschermd heldere gloeilampen. Treedt "glare" op dan moeten armaturen afgeschermd worden door reflectoren, schermen of roosters. In figuur 16.11 staat een globaal overzicht van verschillende typen afscherming en hun eigenschappen.

Ook veranderingen in opstelling en uitvoering van werkobjecten en meubilair en plaatsing van personen kunnen aanzienlijke verbetering brengen, zeker ook wat betreft de "glare" ten gevolge van spiegelende reflectie.

Soort	Verblindingshinder	Globale afschermhoek		Voorbeeld van toepassing
		langs (°)	dwars (°)	
naakte lamp	groot	80	120	magazijnen
trog	↓	80	80	werkplaatsen
opale kap	↓	80	80	gangen
lamellen	↓	65	75	kantoren
rooster	↓	45-75	45-75	kantoren
prisma	↓	65	65	kantoren
langsspiegel	↓	75	65	kantoren
spiegelrooster	nihil	45	45	ruimten met beeldschermen, bedieningsruimten

Figuur 16.11 Overzicht eigenschappen van armaturen voor fluorescentielampen.

16.3 Enkele lichtbronnen en hun eigenschappen; armaturen

De belangrijkste lichtbronnen zijn:

- gloeilampen (wolfram gloeidraad);
- gasontladingslampen.

Gloeilampen stralen licht uit met een continu spectrum, waarin alle golflengten van het zichtbare licht min of meer gelijkmatig aanwezig zijn. De lichtopbrengst per Watt toegevoerd vermogen is gering, in de orde van 20-30 lumen. En door het relatief geringe oppervlak van de ballon is de oppervlakteluminantie hoog. Verlichting met gloeilampen maakt derhalve in principe een goede kleurweergave mogelijk, leidt tot relatief hoge stroomkosten en kan nog weleens "glare" opleveren. Dit laatste kan evenwel voorkomen worden door een goede positionering en door afscherming, bijvoorbeeld door gebruik van een goede armatuur.

Gasontladingslampen kunnen we indelen in drie soorten:

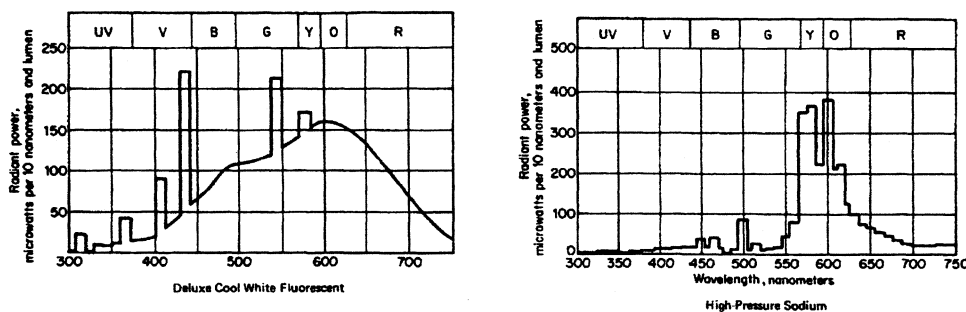
- hoogintensiteitslampen, waaronder kwiklampen, metaal-halidelampen en hoge druk natrium-lampen;
- lage druk natriumlampen;
- fluorescentielampen (T.L.)

De rendementen liggen tussen 30 en 180 lumen per Watt. De levensduur van gasontladingslampen is 5 tot 20 maal zo lang als die van gloeilampen. De prijs is evenwel veel hoger, terwijl meestal ook speciale (start)schakelingen nodig zijn. Gasontladingslampen stralen licht uit met een spectrum, waarin bepaalde pieken optreden, al of niet gesuperponeerd op een continu deel. Het continue deel is zeer prominent bij fluorescentielampen en vrijwel afwezig bij natriumlampen (figuur 16.12). Bij deze laatste is de kleurweergave, gekarakteriseerd door de kleurweergave-index R_a , dan ook zeer slecht.

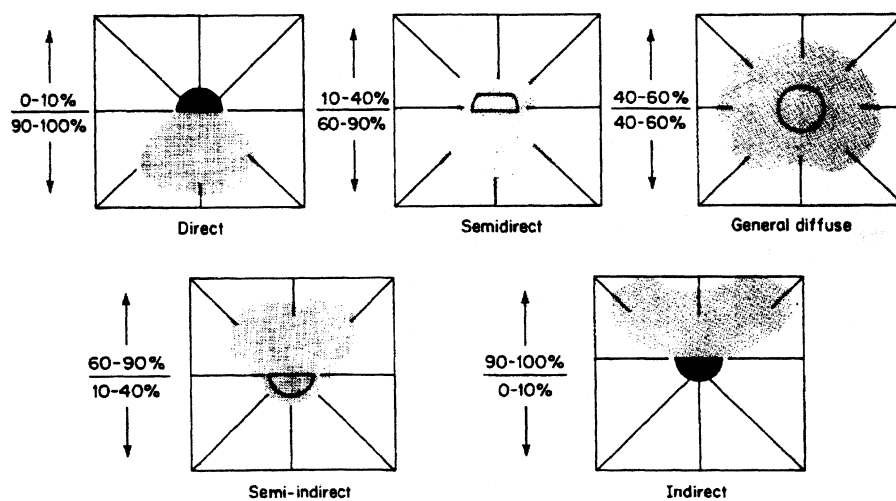
Armaturen worden wel ingedeeld op grond van de verhouding van het percentage licht dat zij naar boven toe uitstralen tot het percentage dat zij naar beneden toe uitstralen (figuur 16.13).

De keuze van een juiste armatuur is zeer belangrijk en dient plaats te vinden op grond van overwegingen als:

- welke lichtverdeling is gewenst?
- hoe wordt "glare" voorkomen?
- hoe bereik ik een energiezuinige verlichting?
- hoe kom ik tot een prettige sfeer?
- hoe zit het met de lichtkleur en de kleurweergave?



Figuur 16.12 Stralingspectra (Sanders & McCormick, 1993).



Figuur 16.13 Typen armaturen (McCormick, 1993).

Er zijn veel technische hulpmiddelen in gebruik om armaturen de gewenste eigenschappen te geven. Gebruik wordt onder meer gemaakt van (Fresnel)lenzen, diffusors, reflectoren, (spiegel)-roosters en schermen.

De kleurweergave van een lichtbron kan men karakteriseren door een getal tussen 0 en 100, de kleurweergave-index (Ra). Deze geeft aan in welke mate een aantal onder de te karakteriseren lichtbron waargenomen proefkleuren overeenstemt met dezelfde proefkleuren, verlicht door een referentielichtbron onder gecontroleerde omstandigheden. In zijn algemeenheid kan men stellen dat lichtbronnen met een hoog

rendement tenderen naar een lage R_a , getuige het lijstje in figuur 16.14.

lichtbron	R_a
hoge druk natriumlamp	29
hoge druk kwiklamp	36
fluorescentielampen (T.L.)	56 - 93
gloeilampen	99

Figuur 16.14 Kleurweergave-index van een viertal lampsoorten.

Behalve van de gebruikte lampen is een goede kleurweergave afhankelijk van gebruikte filters en de keuze van (gekleurde) reflectoren in de armaturen en van grotere reflecterende kleurvlakken in de ruimte.

16.4 Lichtkleur

Licht heeft een bepaalde kleur. En ook is het ene witte licht anders dan het andere. De lichtkleur kan gekarakteriseerd worden door de kleurtemperatuur. Deze geeft in feite aan hoe wit het licht van de lichtbron is. Het bereik van de lichttemperatuur loopt globaal van 2700 K (gloeilampwit) tot 7000 K (daglicht, uit blauwe hemel zonder directe zoninstraling).

Lampen die voor binnenverlichting gebruikt worden kunnen op basis van de kleurtemperatuur in drie groepen verdeeld worden:

- warmwit < 3300 K
- wit 3300 K - 5000 K
- koelwit > 5000K

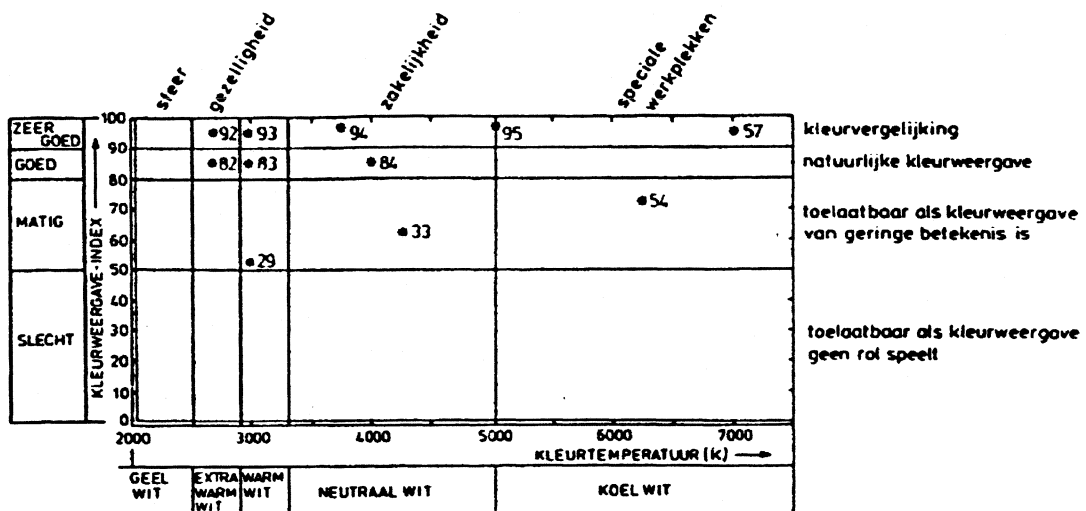
De lichtkleur dient terwille van het visueel comfort aan de verlichtingssterkte te zijn aangepast. In het algemeen geldt dat naarmate het verlichtingsniveau hoger is, ook de kleurtemperatuur van de bron hoger moet zijn.

Het is ook belangrijk om te weten hoe natuurgetrouw de verschillende kleuren van een object dat door een lichtbron wordt verlicht er uitzien. Een manier om dat te doen, is gebruik te maken van de al even ter sprake gebrachte kleurweergave-index (R_a). Deze index karakteriseert de kleurweergave-eigenschappen van een lichtbron en wordt aanbevolen door de CIE (Commission Internationale d'Eclairage). Bij de bepaling van de kleurweergave-index van een lichtbron gaat men uit van de mate van kleurverschuiving, die optreedt ten opzichte van een referentie-lichtbron bij 8 proefkleuren uit de Munsell kleurenatlas. Voor iedere proefkleur geldt een individuele kleurweergave-index ($R_1 - R_8$). De R_a wordt nu berekend als het gemiddelde van de acht individuele indices. Als een nadere specificatie van R_a gewenst is, kan deze nog aangevuld worden door één of meer van deze indices expliciet te vermelden of door de indices van maximaal zes andere kleurmonsters te bepalen en te vermelden.

De kleurweergave-index loopt in principe van 0 tot 100, maar in de praktijk komen vrijwel alleen waarden voor tussen 30 en 96. Een mogelijke indeling is:

- 90 - 100 zeer goed kleurweergave
- 80 - 90 goede kleurweergave
- 50 - 80 matige kleurweergave
- < 50 slechte kleurweergave

Zie figuur 16.15.



Figuur 16.15 Karakterisering van verlichting in termen van kleurtemperatuur en kleurweergave: voor een aantal gangbare TL-lampen is de plaats in dit diagram, met de (Philips)codering aangeduid.

Het is belangrijk een aantal opmerkingen hierbij te maken:

- Lichtbronnen die dezelfde kleurtemperatuur hebben, hoeven niet dezelfde kleurweergave-index te hebben;
- Onderlinge vergelijking van lichtbronnen op basis van hun kleurweergave-index is alleen zinvol als zij (bijna) dezelfde kleurtemperatuur hebben;
- Verschillende soorten ruimten vragen een aan de functie en de sterkte van de verlichting aangepaste lichtkleur.

Eenzijds dient men te streven naar een hoge kleurweergave-index, anderzijds kan het uit oogpunt van energiebeleid of kosten soms nodig zijn bepaalde concessies te doen aan de kleurweergavekwaliteit. Zoals reeds opgemerkt is namelijk de kleurweergave van een lichtbron doorgaans beter naarmate het rendement ervan lager is.

De kleuren van oppervlakken in een ruimte hebben invloed op de werktak omdat ze zich ofwel in het directe gezichtsveld bevinden of doordat ze de uiteindelijk waargenomen kleur van een voorwerp indirect beïnvloeden.

Zoals gezegd moet bij kleuren die direct in het gezichtsveld liggen de verlichtingssterkte aangepast worden aan de factor van diffuse reflectie (hoe donkerder de kleur, des te hoger de verlichtingssterkte moet zijn om eenzelfde luminantie van het kleurvlak te realiseren). Daarnaast is de invloed van een gekleurd vlak op de taak groter naarmate dit vlak zich dicht bij de taak bevindt en groter is. Bijvoorbeeld: een rode omgeving kan een wit verlichte werkplek groenig doen lijken.

Bij de indirecte invloed van een gekleurd vlak op de werktak speelt reflectie een grote

rol. Een deel van het licht bereikt de werktaak pas na één of meer keer gereflecteerd te zijn. De uiteindelijk waargenomen kleur is zodoende afhankelijk van de kleur van het voorwerp, de spectrale samenstelling van het licht van de gebruikte lichtbronnen en de kleuren en reflectieeigenschappen van reflecterende vlakken in het interieur.

16.5 Combinatie van daglicht en kunstlicht

In veel situaties zal er sprake zijn van een combinatie van daglicht en kunstlicht. In de meeste kantoren komt daglicht binnen, maar is dat niet altijd voldoende, waardoor ook bijvoorbeeld TL-licht gebruikt wordt als aanvulling.

Daarnaast is het ook mogelijk dat het daglicht te fel is, waardoor dit (deels) afgeschermd moet worden.

Het is al eerder genoemd dat voor visueel comfort globaal gesteld kan worden, dat naarmate de verlichtingssterkte hoger is, de kleurtemperatuur hoger dient te zijn. Een richtlijn hiervoor vindt u in figuur 16.16.

Verlichtingssterkte	Aanbevolen kleurtemperatuur
< 500 lx	< 3300 K
< 500 lx (als aanvulling op daglicht)	circa 4000 K
500 lx - 1000 lx	circa 4000 K
> 1000 lx	> 4000 K

Figuur 16.16 De na te streven relatie tussen verlichtingssterkte en kleurtemperatuur.

Het afschermen van het daglicht heeft niet alleen invloed op de hoeveelheid licht in een ruimte; ook het klimaat en het zicht worden hierdoor beïnvloed. In figuur 16.17 staat een overzicht met verschillende typen zonwering en hun invloed op deze drie factoren.

Type zonwering	Zoninstraling	Klimaat	Uitzicht
reflecterend glas	-	+	0
absorberend glas	-	0	0
gordijnen	+	-	-
zonnescerm (markies)	+	+	0
jalouzieën binnen	+	-	-
jalouzieën buiten	+	+	-
jalouzieën vertikaal buiten	+	+	0

Figuur 16.17 Invloed van zonwering op verschillende factoren.

+ is positief effect; 0 is matig effect; - is negatief effect.

Begrippen

Lichteenheden

- lumen (lm)
- lux (lx)
- candela (cd)
- nit/candela.m⁻² (cd.m⁻²)
- lichtsterkte (I)
- lichtstroom (Φ)
- puntbron
- verlichtingssterkte (E)
- luminantie
- helderheid
- reflectiefactor
- reflectie niet diffuus
- spiegelende reflectie
- gemengde reflectie
- luminantieverhoudingen (contrasten)

Luminanties in het gezichtsveld

- verblinding
- spiegeling
- absorptie
- utilisatiecoëfficiënt
- armaturen
- luxmeter
- schittering

Lichtbronnen en hun weergave

- gloeilampen
- gasontladingslampen
- kleurweergave-index (R_a)
- kleurtemperatuur
- Munsell kleurenatlas

Literatuur

Boyce, P.R., 1981.

Human factors in lighting. Barking, Applied Science.

Hietbrink, G. en Quaedvlieg N.J., 1968.

Licht en verlichting. Amsterdam, Vereniging tot bevordering van electrotechnisch vakonderwijs in Nederland (V.E.V.).

Moon, P., 1961.

The scientific basis of illuminating engineering. New York, Dover.

Sanders, M.S. and McCormick, E.J., 1993.

Human factors in engineering and design. New York, McGraw-Hill.

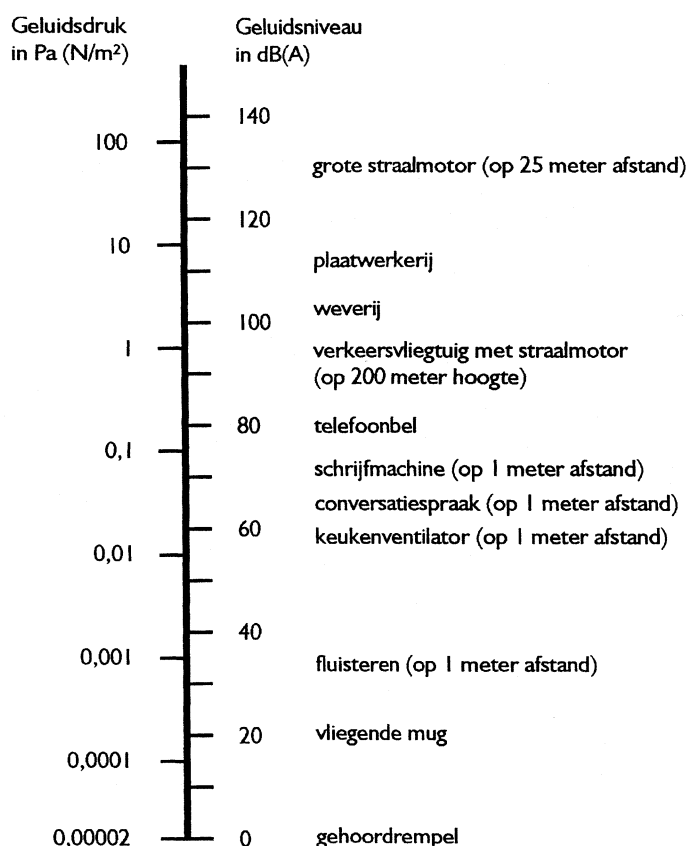
Santen, C. van, Hansen, A.J., 1989.

Daglicht kunstlicht, een leidraad, Delftse Universitaire Pers.

17 Geluid, auditieve signalering, (kunstmatige) spraak, verstaanbaarheid, lawaai en akoestiek

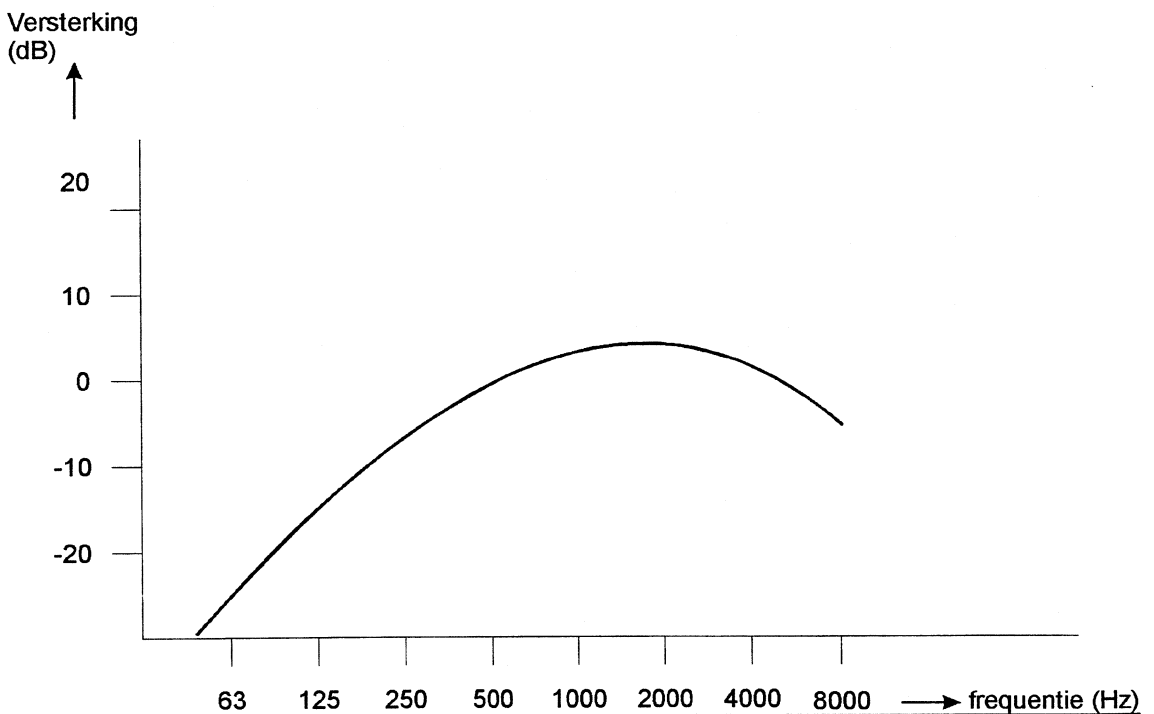
Inleiding

Spraak, auditieve signalering en lawaai zijn alle vormen van geluid. De eerste vorm wordt wel omschreven als 'communicatiegericht stemgeluid', de laatste als 'ongewenst geluid' (Kryter 1950). Geluid is een trillingsverschijnsel, waarbij longitudinale geluidsgolven kleine drukwisselingen teweeg brengen in het medium (meestal lucht) waarin zij zich voortplanten. In de 130 (paragraaf 11.4) is het begrip vensterkarakteristiek al aan de orde geweest. De karakteristieken van het auditieve kanaal worden gevormd door de frequentie, de amplitude en de tijd. De frequentie van het geluid (vensterbreedte) is een maat voor de 'toonhoogte' en de amplitude (vensterhoogte) is een maat voor de luidheid. Het werkgebied van het menselijk oor ligt globaal bij frequenties tussen 20 en 20.000 Hz en bij amplitudes tussen ongeveer 10^{-5} en 100 Pa (N/m^2). Bij frequenties boven 20.000 Hz hebben we te maken met (onhoorbare) ultrasone golven. In verband met dit grote amplitudebereik en omdat de subjectieve indruk van de geluidssterkte, opgedaan via ons gehoor, bij benadering logaritmisch is, heeft men een logaritmische maat gekozen voor het geluidsniveau: de (deci)Bel, [(d)B]. De relatie tussen het geluidsniveau N en de geluidsdruk P is: $N = 10 \log(P^2/P_0^2)$ dB.



Figuur 17.1: De relatie tussen de geluidsdruk in Pa en het geluidsniveau in dB(A) met een aantal voorbeelden

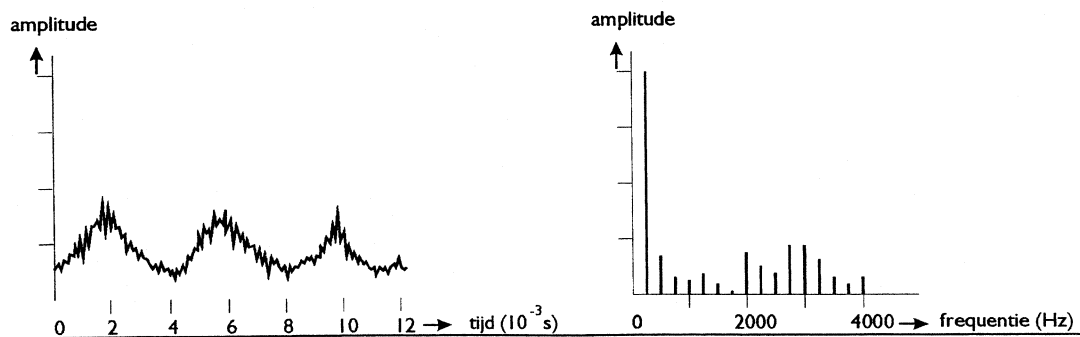
Hierbij stellen P en P_0 de effectieve waarden voor van respectievelijk de drukwisselingen van het heersende geluidsniveau en van die behorende bij de gehoordrempel van het gemiddelde gezonde oor ($2,0 \cdot 10^{-5}$ Pa). De schaal loopt van 0 dB (gehoordrempel) tot 140 dB (boven de pijngrens), zie figuur 17.1, waarbij een vermeerdering met 10 dB door het oor, dus subjectief, geregistreerd wordt als globaal een verdubbeling van de luidheid (128 zangers klinken dus niet 128 keer zo luid als 1 zanger, maar slechts ruim 4 maal; reken dit na!).



Figuur 17.2: Globaal benaderde gevoeligheidskromme van het oor, tevens frequentie karakteristiek van het dB(A) filter

Er treden evenwel twee belangrijke complicaties op doordat::

- 1 de gevoeligheid van het oor frequentie-afhankelijk is, in de zin dat een bepaald geluidsdrukkniveau bij lage frequentie als minder luid wordt ervaren dan bij hogere frequentie; het oor filtert als het ware het binnenkomende geluid; in fig. 17.2 is deze gevoeligheidskromme van het menselijk oor globaal benaderd.
- 2 vrijwel alle geluiden opgebouwd zijn uit meerdere frequenties, dikwijls een complex spectrum. Ook zogenaamd zuivere tonen als van een viool zijn niet enkelvoudig sinusvormig, maar mede opgebouwd uit hogere harmonische (fig. 17.3 en 17.4).

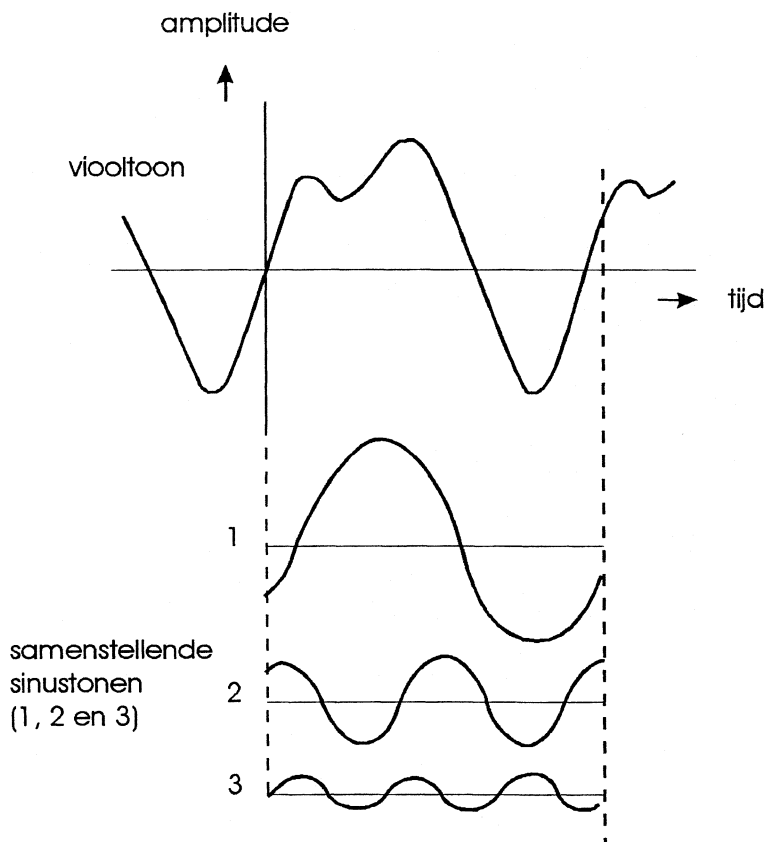


Figuur 17.3 amplitudeverloop en frequentiespectrum van de klinker i (let op de piek bij 250 Hz)

In het dB-frequentievlak kunnen nu lijnen van gelijke subjectieve luidheid worden getrokken, de zogenaamde *isofonen* met foonwaarden tussen 0 en 140 (zie fig. 17.5), waarbij de foonwaarde gelijk is aan de dB-waarde bij 1000 Hz, behalve bij de isofoon 0, de gehoordrempel, die bij 2000 Hz door de nullijn gaat. Deze isofonen zijn gemiddelden voor de gezonde, jeugdige populatie. De vorm van de isofonen hangt vooral in het hoge frequentiegebied nog af van de leeftijd van de waarnemer. (Oude mensen horen hoge tonen, boven de 5000 Hz bijvoorbeeld, moeilijker of helemaal niet meer).

Met behulp van een *geluidsniveaumeter* (deze meet drukwisselingen), voorzien van een filternetwerk met de frequentie karakteristiek van figuur 17.2, worden zogenaamde dB(A)-waarden gemeten die een redelijke benadering zijn van deze foonwaarden.

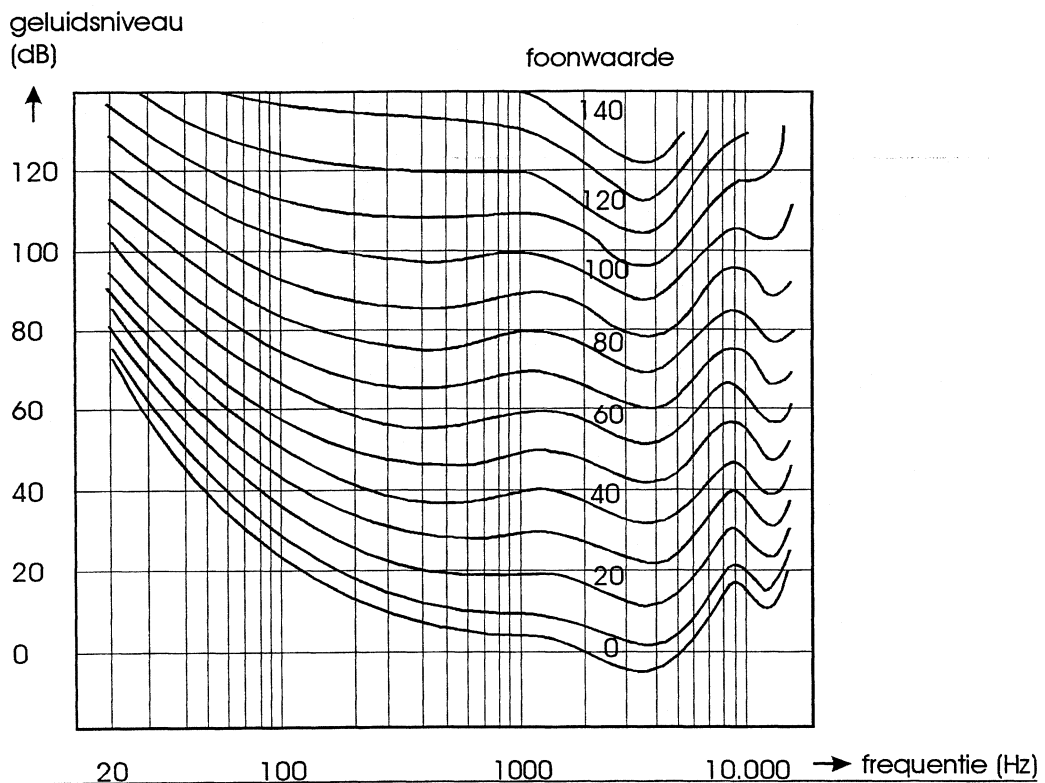
Omdat hogere tonen in ongeveer dezelfde mate sneller hinderlijk zijn voor de



Figuur 17.4 Amplitudeverloop en samenstellende sinustonen van een viooltoon

waarnemer dan lagere, vormen deze dB(A)-waarden tevens een geschikt uitgangspunt voor het bepalen van de overlast van lawaai.

In veel gevallen (bijvoorbeeld bij lawaai bestrijding) is het nodig, niet alleen het totale geluidsniveau te kennen, maar ook de mate waarin de verschillende frequenties vertegenwoordigd zijn. Om dit frequentiespectrum te meten, gebruikt men een geluidsanalysator. Dat is een geluidsniveaumeter met verwisselbare bandfilters, waarmee achtereenvolgens voor de gekozen frequentiegebieden het geluidsniveau gemeten kan worden. Toegepast worden 1-, ½- en 1/3-octaafilters en als sterke sinusvormige componenten aanwezig zijn nog smallere. Bij het meten met behulp van

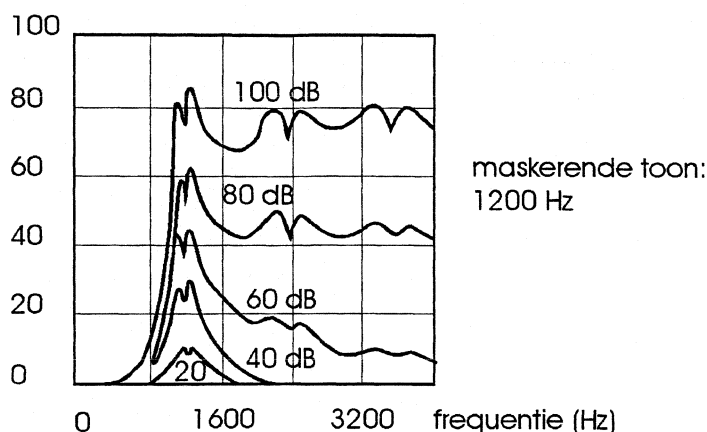


Figuur 17.5 Lijnen van gelijke subjectieve luidheid (isofonen)

filters met beperkte bandbreedte, dient men rekening te houden met het feit dat de totaal doorgelaten geluidsenergie in beginsel evenredig is met deze bandbreedte. Voor

geluid met een vlak spectrum, zijn de waarden gemeten met een octaafilter, dus bijvoorbeeld 3 dB hoger dan die gemeten met een $\frac{1}{2}$ -octaafilter. Met het oog op het signaleren van geluid en geluidsveranderingen en het reageren hierop door de mens, is in het algemeen een groot aantal parameters van belang, waarvoor verwezen wordt naar de hoofdstukken 11 en 12 van het dictaat 'Inleiding tot de Produkt- en Systeemergonomie'.

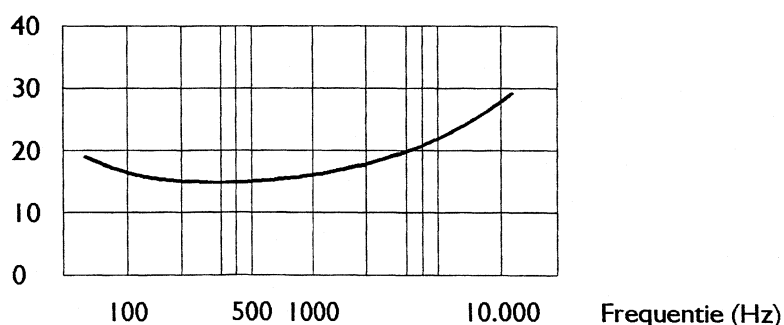
verhoging
waarnemingsdrempel
(dB)



Figuur 17.6 Het maskeren van zuivere tonen door een zuivere toon van 1200 Hz met sterkten van 20, 40, 60, 80 en 100 dB. Als functie van de frequentie wordt het aantal dB gegeven waarmee de waarnemingsdrempel voor de "gemaskeerde" tonen toeneemt (Wagel & Lane, 1924)

Maskering is het verschijnsel dat de aanwezigheid van een geluid de gehoordrempel voor andere geluiden verhoogt. Deze maskering is groter naarmate de frequentiespectra van de geluiden meer overeenkomst vertonen. Voor zuivere tonen is verder gevonden dat lagere tonen hogere meer maskeren dan omgekeerd en dat het maskeer-effect meer dan evenredig toeneemt met het geluidsniveau van de maskerende toon (zie figuur 17.6). Maskering door 'witte ruis' blijkt vooral effectief in het gebied boven 2000 Hz. Deze tendens wordt geïllustreerd door figuur 17.7. De precieze waarden zijn sterk afhankelijk van de feitelijke meetsituatie.

Verhoging
waarnemings-
drempel (dB)



Figuur 17.7: Voorbeeld van het maskeren van zuivere tonen door lawaai (witte ruis). Als functie van de frequentie wordt in dit geval het aantal dB gegeven dat de toon het ruisniveau te boven moet gaan om gehoord te worden

17.1 Auditieve signalering

De auditieve signalering in mens-machine/product-relaties delen we hier als volgt in:

- Bewust als zodanig ontworpen auditieve signalen;

- De minder specifieke en minder bewuste informatie verkregen uit machinegeluid dat niet primair als informatiebron ontworpen is.

17.1.1 Bewust als zodanig ontworpen auditieve signalen

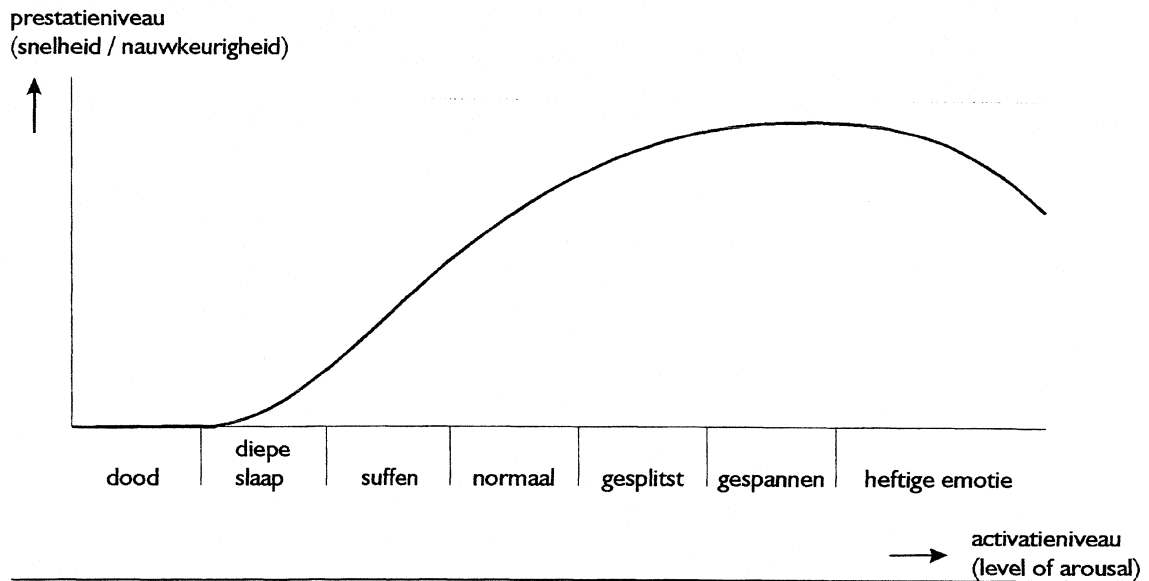
Dikwijls betreft het hier signalen waarbij slechts 1 bit informatie (aan/uit) wordt overgedragen en die dienen als waarschuwingssignaal in de trant van "let op" (zoemer, bel, hoorn, fluit). Vaak is de betekenis van het geluid de gebruiker direct volledig bekend; bijvoorbeeld een fluittoon duidt op het einde van de werktijd; een bel betekent het warenhuis gaat sluiten. Soms ook is het een voorbereidend signaal dat aangeeft dat elders of na korte tijd meer gedetailleerde (visuele) informatie verstrekt wordt. In een machinehal bijvoorbeeld gaat een bel, daarna verschijnt op een alfanumeriek display een nummer dat het bedieningspaneel aangeeft waarvoor attentie gevraagd wordt. Op dit bedieningspaneel ziet de operator dan wat hem precies te doen staat. Ook kan men denken aan een display zoals dat vroeger de boekbehandeling in de Centrale Bibliotheek van de TU symboliseerde. Eerst ging er een belletje en dan verscheen op Nixiebuisjes het nummer van het boek waarvan dan tegelijkertijd aangegeven werd of het al of niet aanwezig was. Er zijn ook geluidssignalen die ons attenderen op een bepaalde werkingstoestand van een machine (denk bijvoorbeeld aan het aandachtvragende, intermitterende kliksignaal dat de richtingaanwijzer in een automobiel begeleidt).

In toenemende mate gaat de geluidssignalering meer bits informatie bevatten; denk aan de meertonige oproepsystemen voor personen, de meertonige hoorns van politie, brandweer en ambulance (niet dezelfde melodie). Auditieve overdracht van echt complexe informatie vindt plaats bij radiobebakeningssystemen voor het precies op de landingsbaan doen landen van vliegtuigen; de piloot hoort punt-streep; punt-streep als hij links van, streep-punt;streep-punt als hij rechts van, en een continue toon als hij precies over de hartlijn van de landingsbaan aanvliegt. Ook de sonarsystemen voor het onder water bepalen van plaats en eventueel bewegingsrichting en -snelheid van obstakels, onderzeeers of scholen vis zijn een goed voorbeeld van complexe auditieve informatie-aanbieding. Er wordt ook gebruik gemaakt van artificieel spraak bijvoorbeeld bij operator-rekentuig interactie, vanuit het autodashboard en bij sprekende uurwerken.

17.1.2 De minder specifieke en minder bewuste informatie verkregen uit machinegeluid dat niet primair als informatiebron ontworpen is

Deze zeer belangrijke informatiebron betreft doorgaans machinegeluiden, veroorzaakt door mechanische trillingen, explosies of luchtweerstand, waarbij allerlei resonanties optreden die karakteristiek zijn voor een bepaald toerental, een bepaalde werkingstoestand of bijvoorbeeld een bepaalde storing. Vooral een vertrouwde machine volgt men al horende. Denk bijvoorbeeld aan het schakelen op het motor/transmissiegeluid bij het autorijden of aan de scheepsmachinist die in zijn slaap door een geringe auditieve verandering gewekt wordt. In veel opzichten is machinegeluid waakzaamheid onderhoudend (het in stand houden van bijvoorbeeld een normaal activatieniveau), juist zoals in veel gevallen achtergrondmuziek wakker houdt en stimuleert. Men dient in dit kader het verband te beschouwen dat er bestaat tussen activatieniveau ('level of arousal') en prestaties (zie figuur 17.8). Beneden een bepaald activatieniveau ('level of arousal') doet een toename ervan de prestatie verbeteren omdat hierbij de ondergrens voor het al of niet adequaat reageren op prikkels wordt verlaagd. Geluid doet het 'level of arousal' toenemen, alcohol

bijvoorbeeld doet het afnemen.



Figuur 17.8: Verband tussen activatieniveau ('level of arousal') en prestaties

Wanneer maken we met vrucht gebruik van auditieve signalering?

- als snelle aandacht gewenst is (denk aan de korte reactietijd)
- als zekere en/of indringende aandacht gewenst is (indringend signaal dat moeilijk onopgemerkt blijft, ook als veel anderssoortige informatie simultaan aangeboden wordt);
- bij een teveel aan visuele informatie;
- als visuele signalering niet mogelijk is (duisternis, er moeten te veel verspreide mensen gewaarschuwd worden, het is niet mogelijk visuele informatie in het blikveld te plaatsen, visuele display zou te veel aan trilling onderhevig zijn);
- als snel een complexe boodschap doorgegeven moet worden (men maakt dan gebruik van spraak).

Bezwaren van auditieve signalering zijn:

- zij kan anderen hinderen;
- zij wordt gemaskeerd door achtergrondlawaai en is bij veel achtergrondlawaai niet bruikbaar;
- zij kan bij gespannen ontvangers een heftige reactie (schrikreactie) oproepen die niet functioneel is (zie figuur 17.8).

In het algemeen kan men stellen dat van bewust gekozen auditieve signalering te weinig of op een te eenvoudig niveau gebruik wordt gemaakt, terwijl het visuele kanaal een tendens heeft om overladen te worden. Veel te weinig is nog onderzocht of ook het 'tactiele kanaal' wat meer ingeschakeld zou kunnen worden en enig soelaas zou kunnen bieden.

17.2 Het ontwerpen van auditieve signalering

Voor het ontwerpen van auditieve signalering bestaat een groot aantal richtlijnen. Deze sporen zeker niet allemaal met elkaar. Goed ontworpen auditieve signalering is dan ook gebaseerd op een weloverwogen keuze uit en zonodig een evenwichtige combinatie van verschillende richtlijnen. Zie ook Mudd, 1961 en Licklider, 1961.

A Algemeen

1 Compatibiliteit

Als het mogelijk is, moeten de dimensies en de codering van de signalen zo gekozen worden dat ze aansluiten bij de aangeleerde of natuurlijke reacties van de gebruikers. Hoge frequenties worden bijvoorbeeld geassocieerd met (om)hoog en een sirene met een noodsituatie.

2 Benadering

Als complexe informatie gepresenteerd moet worden, kan gebruik gemaakt worden van 'twee-traps' signalen:

I Aandacht trekkend signaal: dit is bedoeld om de aandacht van de gebruiker te trekken en een algemene categorie van informatie aan te geven;

II Benoemend signaal: direct nadat de aandacht getrokken is, wordt binnen de algemene informatie-categorie de precieze informatie gegeven.

3 Scheidbaarheid

De gebruiker moet eenvoudig onderscheid kunnen maken tussen het auditieve signaal en de overige auditieve input.

Als een gebruiker tegelijkertijd naar twee of meer kanalen moet luisteren, dienen de frequenties van die kanalen zo veel mogelijk van elkaar te verschillen.

4 Soberheid

Het signaal moet niet meer informatie bevatten dan de gebruiker op dat moment nodig heeft.

5 Consistentie

Elke keer dat een bepaald signaal klinkt, dient het dezelfde informatie aan te duiden.

B Presentatie

1 Vermijd extreme auditieve dimensies

Bijvoorbeeld signalen met een hoge intensiteit kunnen de gebruiker doen schrikken en kunnen de prestatie negatief beïnvloeden.

2 Zorg voor een intensiteit die aangepast is aan het heersende geluidsniveau

Het heersende geluidsniveau moet het signaal niet teveel maskeren.

3 Gebruik onderbroken of variabele signalen

Continue en/of monotone signalen moeten voorkomen worden. Onderbroken of variabele signalen zullen minder snel tot perceptuele adaptatie (en dus tot onopgemerkt blijven van het signaal) leiden.

4 Het auditieve kanaal moet niet overladen worden

Gebruik in een bepaalde situatie slechts een beperkt aantal signalen. Gebruik niet teveel auditieve signalen; dat kan tot verwarring leiden en de gebruiker overbelasten.

C Installatie

- 1 Test de signalen die gebruikt gaan worden
Deze tests moeten uitgevoerd worden met een representatieve steekproef uit de gebruikerspopulatie om er zeker van te zijn dat de potentiële gebruiker het signaal zal waarnemen en kan onderscheiden van andere signalen en het kan herkennen.
- 2 Vermijd conflicten met eerder gebruikte signalen
De betekenis van een nieuw geïnstalleerd signaal mag niet op één of andere manier in strijd zijn met die van soortgelijke signalen die in het bestaande of het vorige systeem gebruikt worden.
- 3 Ondersteun de overgang van een vorig display
Als een auditief signaal een signaal vervangt dat een andere modaliteit heeft (bijvoorbeeld een visueel signaal), dan kunnen deze signalen het beste een tijd naast elkaar aangeboden worden zodat de gebruiker kan wennen aan de nieuwe situatie.

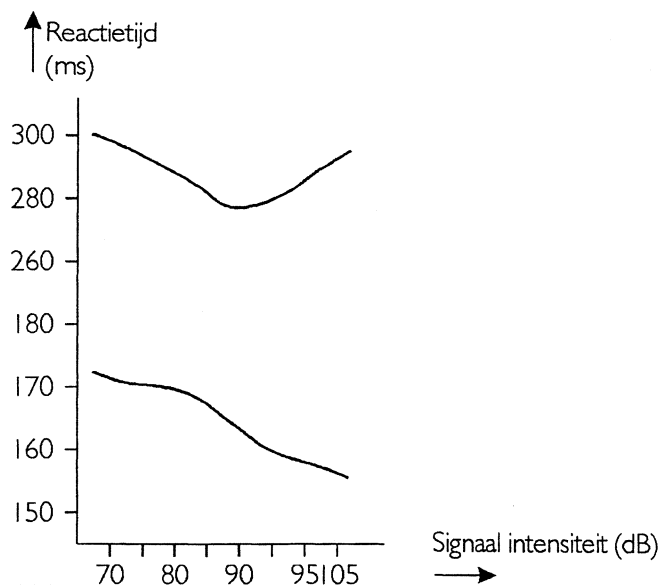
De unieke eigenschappen van auditieve perceptie maken auditieve displays uitermate geschikt voor waarschuwing en alarmering. Er zijn verschillende typen systemen, elk met hun eigen karakteristieken. In de tabel van figuur 17.9 worden van een aantal van deze systemen eigenschappen en karakteristieken gegeven.

Alarmtype	Intensiteit	Frequentie	Attentiewaarde	Geluid-doordringendheid
Diafoon (mishoorn)	erg hoog	erg laag	hoog	slecht in omgevingsgeluid met lage frequenties
Hoorn	hoog	laag tot hoog	hoog	goed
Fluit	hoog	laag tot hoog	hoog indien intermitterend	goed bij juist gekozen frequentie
Sirene	hoog	laag tot hoog	erg hoog als de toonhoogte stijgt en daalt	erg goed vanwege stijgende en dalende frequentie
Bel	gemiddeld	gemiddeld tot hoog	hoog	goed in geluid met een lage frequentie
Zoemer	laag tot gemiddeld	laag tot gemiddeld	hoog	redelijk als het spectrum goed is gekozen t.o.v. de achtergrondruis
Klok	laag tot gemiddeld	laag tot gemiddeld	gemiddeld	redelijk als het spectrum goed is gekozen t.o.v. de achtergrondruis
Oscillator	laag tot hoog	gemiddeld tot hoog	hoog indien intermitterend	goed bij juist gekozen frequentie

Figuur 17.9 Eigenschappen en karakteristieken van diverse auditieve displays

Adams en Trucks (1976) hebben een onderzoek gedaan waarin ze, in vijf verschillende geluidsomgevingen, bij acht verschillende, eenvoudige signalen de reactietijd als functie van de intensiteit gemeten hebben. Uit dit onderzoek blijkt dat de reactietijd korter wordt naarmate de intensiteit van het signaal toeneemt.

Of deze relatie tussen reactietijd en intensiteit ook voor meer complexe situaties geldt is nog maar de vraag. Daarom hebben van de Molen en Keuss (1979) een onderzoek gedaan waarbij zij de vorige situatie vergeleken met een meer complexe. Zij gebruikten twee signalen (1000 en 3000 Hz). De ene groep proefpersonen moest op beide signalen dezelfde reactie geven; de andere groep moest, afhankelijk van het aangeboden signaal, één van twee reacties geven. In figuur 17.10 staan de resultaten van dit onderzoek. Ook in dit onderzoek blijkt dat, als de reactie op beide signalen hetzelfde moet zijn, de reactietijd korter wordt bij toenemende intensiteit. Is de verlangde reactie echter afhankelijk van het aangeboden signaal, dan vertoont de reactietijd een minimum bij een bepaalde, gemiddelde intensiteit.



Figuur 17.10 Relatie tussen de reactietijd en de intensiteit van het signaal bij taken waarbij wel of niet uit verschillende reacties gekozen moet worden (Uit: Sanders & McCormick, 1993)

De toename van de intensiteit bevordert het schrikeffect, wat in eenduidige situaties kennelijk in het voordeel is van een korte reactietijd. Wanneer een proefpersoon echter moet kiezen uit twee reacties moet hij kortstondig geconcentreerd nadenken en werkt het schrikeffect nadelig. De keuze van de intensiteit moet daarom altijd aangepast zijn aan de taken van de gebruikers.

Deatherage (1972) en Mudd (1961) hebben aanbevelingen gedaan voor het ontwerpen van waarschuwings- of alarmsignalen:

- Gebruik frequenties tussen 200 en 5000 Hz en bij voorkeur tussen 500 en 3000 Hz omdat het oor het gevoeligst is binnen dit bereik;
- Gebruik frequenties onder 1000 Hz als de signalen een grote afstand moeten afleggen (meer dan 300 meter);
- Gebruik frequenties onder 500 Hz als de signalen om grote obstakels heen moeten buigen of als ze door een scheidingswand moeten;
- Gebruik een gemoduleerd signaal (1 tot 8 klanken per seconde of sirene-achtige geluiden met een periodiciteit van 1 tot 3 seconde) omdat deze doorgaans voldoende verschillen van achtergrondgeluiden;

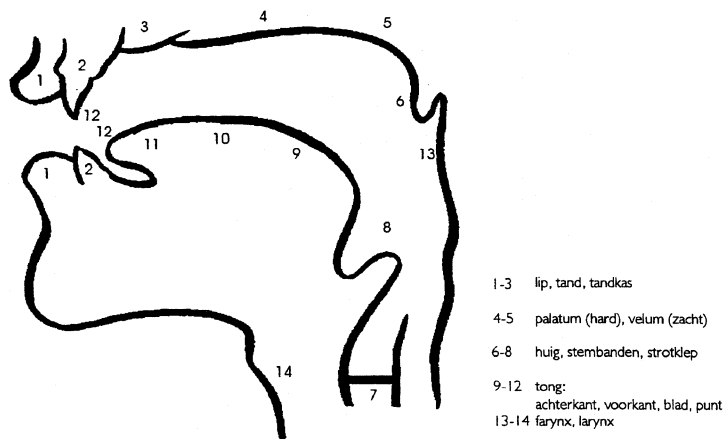
- Als verschillende waarschuwingssignalen gebruikt worden om omstandigheden aan te duiden, waarin verschillende reacties vereist zijn, moeten deze goed van elkaar te onderscheiden zijn en moeten signalen gebruikt worden met een gemiddelde intensiteit;
- Als het mogelijk is moeten aparte communicatiesystemen gebruikt worden, zoals luidsprekers, hoorns of andere apparatuur, die niet voor andere doeleinden gebruikt worden.

Uit een onderzoek van Weiss en Kershner (1984) blijkt dat een gebruiker wel 12 auditieve signalen van elkaar kan onderscheiden. In de praktijk kan men dat aantal beter beperken tot maximaal vijf.

17.3 Spraak en verstaanbaarheid

Spraak is een communicatiemiddel dat gedurende de evolutie van de mens is uitgegroeid van simpel grommen, schreeuwen en lachen tot de meest uitgebreide intensief gebruikte coderingssystemen, de gesproken [fonetische] talen, 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.

Fysisch gezien bestaat spraak uit combinaties van op zichzelf reeds zeer complexe patronen van luchtdrukvariaties, de spraakelementen of fonemen, die tot stand komen doordat de zogenaamde articulators (lippen, tong, tanden, stembanden, gehemelte enz., zie figuur 17.11) in onderlinge interactie de uitgedemde luchtstroom moduleren.



Figuur 17.11 De articulators bij spraak

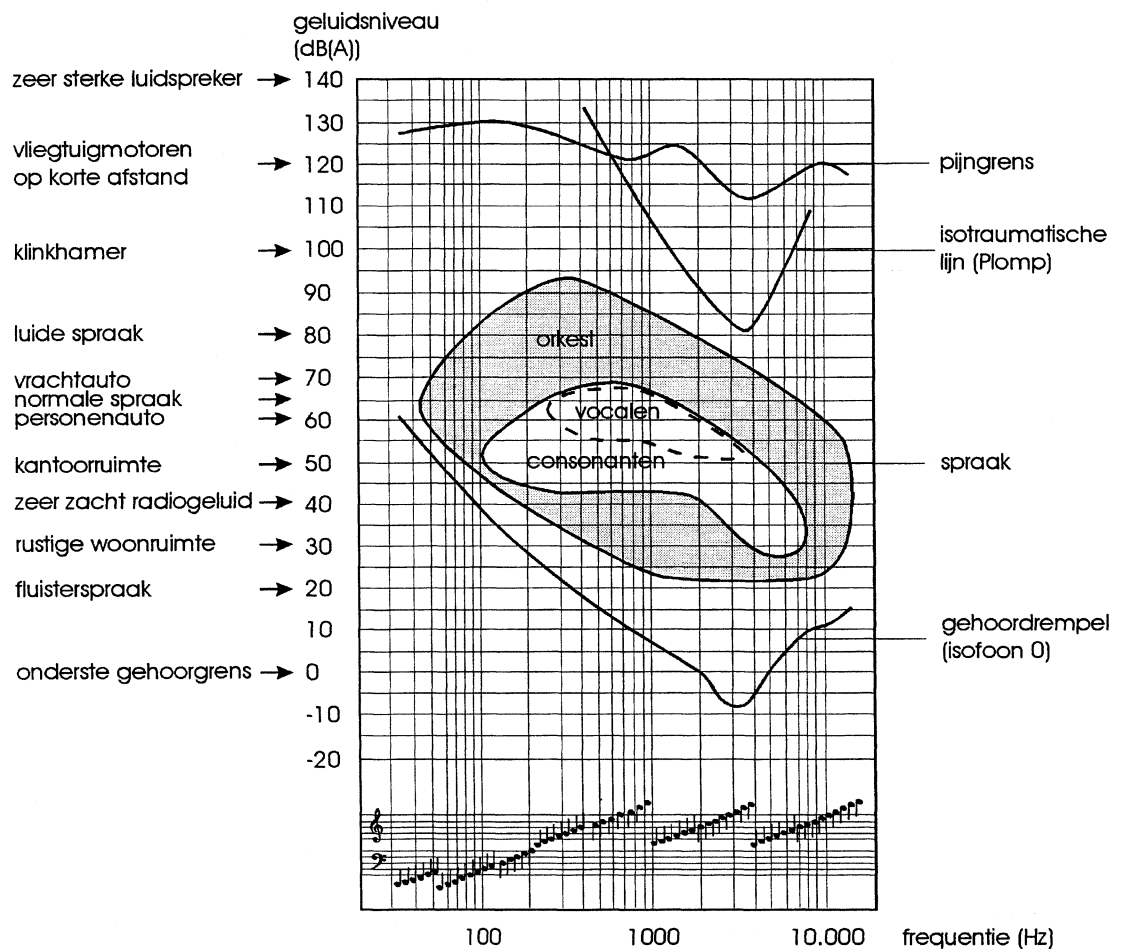
De hiervoor vereiste ingewikkelde motoriek wordt langdurig ingeoeffend en vraagt vrij veel fysieke energie. College geven bijvoorbeeld is dus ook fysiek inspannend. Langdurig luid spreken leidt dan ook tot moeheid, heesheid en op den duur tot een sterker stemapparaat. De fonemen, meer dan honderd in totaal, waarvan het Engels er ongeveer 38 kent, zijn meer of minder typisch voor taal en landstreek. Men

onderscheidt ze onder meer in:

- a klinkers, liggend in het frequentiegebied tussen circa 200 en 3000 Hz,
- b explosieve medeklinkers (p,t,b,d,k), en
- c fricatieve medeklinkers (s,v,f,z,g,h), liggend in het frequentiegebied tussen circa 100 en 9000 Hz, maar waarvan de herkenning vooral bepaald wordt door het gebied tussen circa 750 en 8000 Hz.

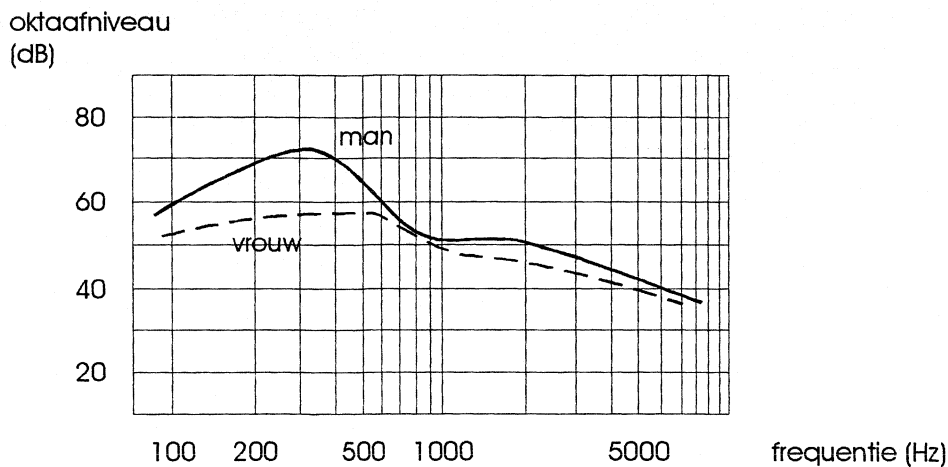
Tijdens het spreken is het geluidsniveau van de klinkers in het algemeen hoger dan dat van de medeklinkers. Het verschil tussen de luidste klinker en de zachtste medeklinker bedraagt wel 30 tot 40 dB(A) (zie figuur 17.12).

Ondanks dit lagere geluidsniveau dragen de medeklinkerklanken gewoonlijk meer bij aan de verstaanbaarheid, een gegeven om niet uit het oog te verliezen als men de invloed van maskering op de verstaanbaarheid van spraak beschouwt.



Figuur 17.12 Toonaudiogram met daarin de gehoordrempel, de gebieden van muziek en spraak, de pijngrens en de isotraumatische lijn waarboven dus gehoorbeschadiging kan optreden

Een gemiddeld frequentiespectrum van spraak wordt weergegeven in figuur 17.13. Bij vrouwen is het niveau vooral in het gebied tot 1000 Hz lager.



Figuur 17.13 Gemiddeld frequentiespectrum van spraak op 30 cm afstand voor de mond

Het gemiddelde geluidsniveau, gemeten op 1 meter afstand van de spreker, varieert van 45 tot 85 dB(A) al naar gelang gefluisterd of geschreeuwd wordt. Bij een normaal gesprek ligt het geluidsniveau rond de 65 dB(A). De snelheid van spreken is zeer variabel van 50 tot 400 woorden per minuut met een gemiddelde van 180 woorden per minuut. Dat is ongeveer 10% van de normale leesnelheid.

Er zijn duizenden talen met nog niet geheel bekende ontstaansrelaties. Er is geen reden te veronderstellen dat de ene taal fonetisch of mentaal moeilijker is dan een andere. De taal blijkt in hoge mate aangepast aan de historische leefsituaties. Tussen de verschillende talen treft men vaak geleidelijke overgangen aan; er zijn dialecten; er zijn geografische 'isoklanklijnen' te trekken. Bijvoorbeeld in het grensgebied tussen Duitsland en de Benelux waar de *ch* in de *k* overgaat (Charles/Karl/Karel).

In een taal en ook binnen een individueel vocabulaire hebben de woorden min of meer vaste frequenties van voorkomen. Speciale vermelding verdienen de zogenaamde toontalen, waar de toonhoogte (Chinees 4, Soedantalen (tam-tam) 2 enz.) een extra codeermiddel is. Er bestaan ook fluittaal, bijv. op de Canarische Eilanden *Silbo* en bij de *Eturi* pigmeënen in Afrika die naast de tweetonstalen zeer geschikt zijn om te roepen tot over zeer grote afstanden. Het individuele actieve vocabulaire van volwassenen loopt van 300 tot 10.000 woorden, afhankelijk van onder andere opleiding en sociale omgeving. Het passieve is vele malen groter. De grote woordenboeken benaderen de 200.000 woorden.

Gewone menselijke spraak reikt normaliter niet verder dan 200 meter; *Silbo* en tweetonstalen echter wel tot aan 10 km.

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 zaken als achtergrondlawaai van de omgeving, akoestiek, gehoorvermogen van de ontvanger en diens vertrouwdheid met het gesprokene en, bij gebruik van technische hulpmiddelen, ook de eigenschappen daarvan.

Bij de spreker blijkt dat men kan verbeteren door 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. Als laatste redmiddel kan men nog spellen met gebruikmaken van de

spelalfabetten. Schreeuwen vermindert evenwel de verstaanbaarheid, 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 aan een half woord genoeg'. Onder moeilijke omstandigheden kan het, wegens de grote redundantie in de (gesproken) taal, betekenen dat zinnen en zinsdelen nog maar matig en betekenisloze woorden, getallen en andere alfanumerieke uitdrukkingen nauwelijks meer verstaan worden. Globaal blijkt dat bij een spraak-lawaai verhouding van 0 dB(A) (spraak en lawaai hebben dan dus hetzelfde geluidsniveau) als zinnen nog voor 90% goed verstaan worden, betekenisloze woorden e.d. in minder dan 50% van de gevallen correct overkomen.

Fout!
hoeft niet.

Behalve door redundantie kan men de voorspelbaarheid van het gesprokene (en daarmee de verstaanbaarheid) ook vergroten door bewust gebruik te maken van een beperkt vocabulaire, waarbij de luisteraar weet welke woorden hij kan verwachten. Deze woorden dienen bovendien gekozen te worden op een minimum aan fonetische overeenkomst. De genoemde manier van werken, al dan niet ondersteund door extra mimiek en gebarencode, treft men regelmatig aan bij bijvoorbeeld bedieningspersoneel, dat in een lawaaiige fabriekshal aan machines werkt.

Onder de externe factoren is het gehoorvermogen voor spraak van de ontvanger essentieel. Omdat een toonaudiogram (gebaseerd op zuivere sinustonen) hiervoor slechts een beperkte voorspellende waarde heeft, analyseert men het vermogen om spraak te verstaan middels een zogenaamd spraakaudiogram. Bij drie ruisniveau's van 'cocktailparty noise' worden 50 eenlettergrepige woorden van een p.b.l. ('phonetically balanced list') voor een taalgebied aangeboden en wordt het percentage correct onderscheiden monosyllaben bepaald. Een dergelijke test uitgevoerd bij een aantal proefpersonen, een representatieve steekproef vormend, is uiteraard ook een van de meest directe methoden om de verstaanbaarheid van spraak onder verschillende omstandigheden (omgevingslawaai, ruis op de telefoonlijn e.d.) te meten.

De methode is evenwel zeer omslachtig. Reden waarom vooral in de techniek (telecommunicatie) gezocht is naar andere, meer technische, maten om spraakverstaanbaarheid te vergelijken. Gebruikt worden onder meer de zeer grove P.S.I.L. (Preferred-octave Speech Interference Level)-index en de meer verfijnde Articulatie-Index (A.I.). De P.S.I.L.-index is eenvoudig het rekenkundig gemiddelde van de dB-waarden van de ruis in drie aaneensluitende octaafbanden met middenfrequenties van 500, 1000 en 2000 Hz. Deze index is zeer bruikbaar als het ruisspectrum redelijk vlak is in deze drie octaafbanden, maar uiterst verraderlijk als er grote pieken optreden.

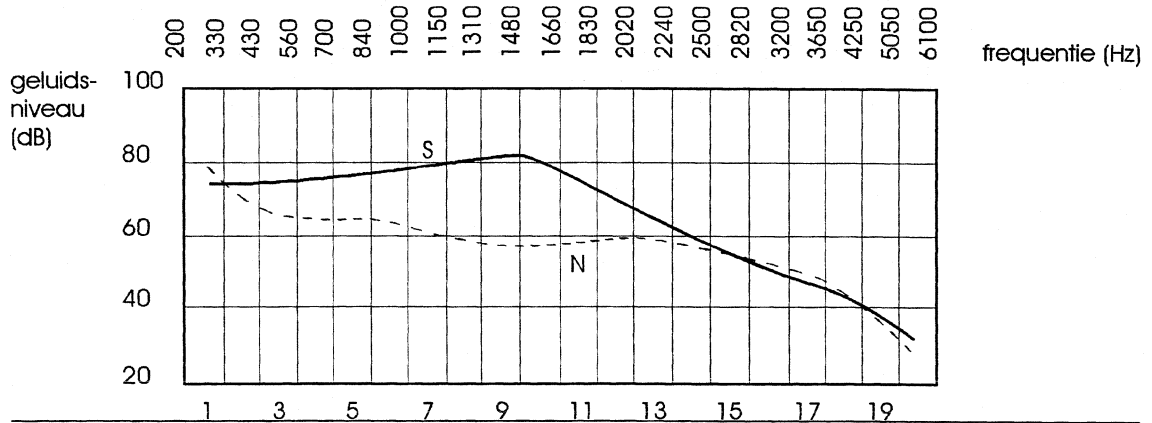
De S.I.L.-index (Speech Interference Level) is een vergelijkbare, oudere index. Hierbij wordt een gemiddelde berekend van de dB-niveau's in andere octaafbanden, namelijk van 600 tot 1200 Hz, van 1200 tot 2400 Hz en van 2400 tot 4800 Hz.

Voor telefoonverbindingen wordt wel aangehouden:

- P.S.I.L.-index < 65: verbinding goed;
- 65 < P.S.I.L.-index < 80: verbinding moeilijk;
- P.S.I.L.-index > 80: verbinding onmogelijk.

De articulatie-index is veel genuanceerder; om hem te berekenen worden bijvoorbeeld het (gemiddelde) spraakfrequentiespectrum en het ruisfrequentiespectrum in een bepaalde situatie verdeeld in 20 frequentiebanden van ongeveer gelijke bijdrage aan

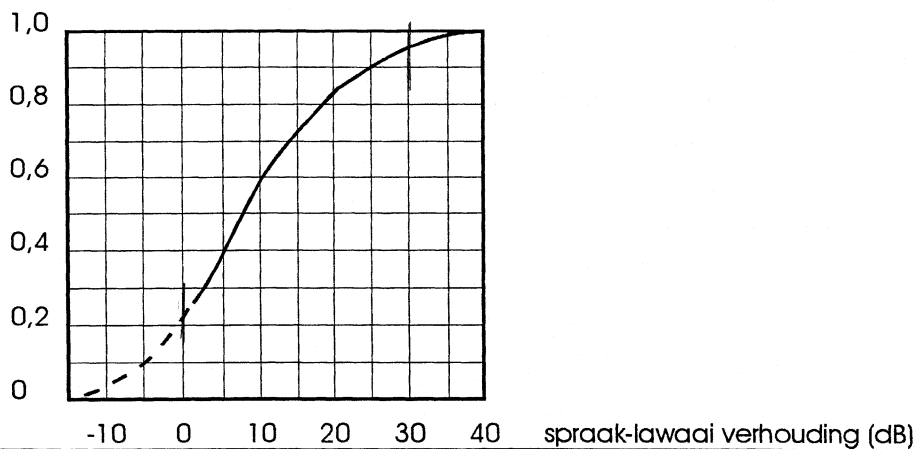
de spraakverstaanbaarheid, zoals in figuur 17.14.



Figuur 17.14 Frequentiespectra van spraak (S) en lawaai (N) opgedeeld in 20 banden voor het berekenen van de articulatie-index. (A.I.)

Voor iedere band wordt bij de middenfrequentie het verschil in dB tussen spraak- en ruisniveau bepaald, hetgeen de spraak-ruis verhouding van die band genoemd wordt. Met behulp van figuur 17.15 wordt vervolgens voor elke band een gewichtsfactor bepaald (W).

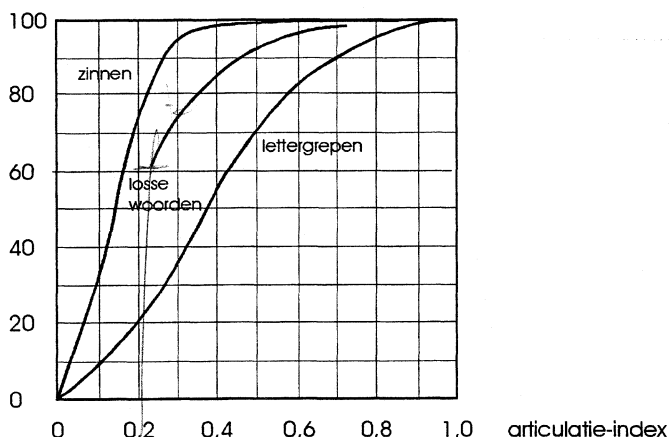
gewichtsfactor (W)



Figuur 17.15 De gewichtsfactor (W) voor het berekenen van de articulatie-index als functie van de spraak-lawaai verhouding (in dB) in de banden van figuur 17.14

De zo verkregen gewichtsfactoren worden opgeteld waarna ter normering door 20 gedeeld wordt. Het resultaat noemt men de A.I.. Er blijkt een goede correlatie aanwezig tussen de A.I. en de verstaanbaarheid van zinnen, woorden en lettergrepen. Deze correlatie is gegeven in figuur 17.16 (French en Steinberg, 1947).

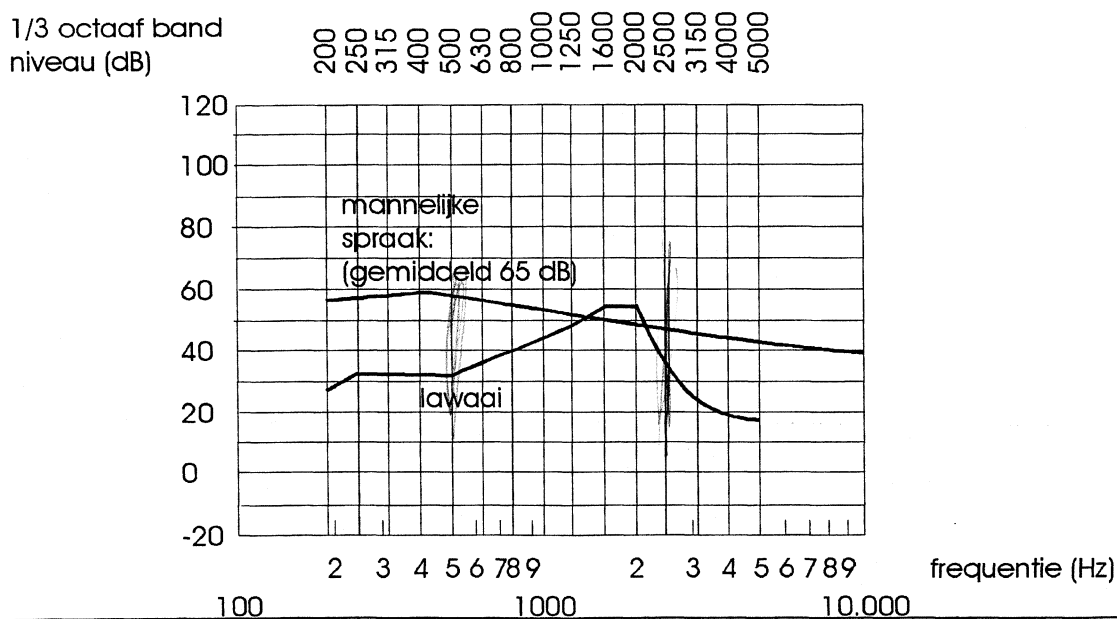
percentage dat
correct verstaan
wordt (%)



Figuur 17.16 Correlatie tussen articulatie-index en verstaanbaarheid van zinnen, woorden en lettergrepen (French en Steinberg, 1947)

Op deze methode bestaan verschillende varianten. Eén van die varianten is de volgende:

- 1 Het spectrum wordt opgedeeld in 15 banden met een breedte van 1/3 octaaf;
- 2 Voor elke één-derde-octaaftband wordt weer het niveau van het geluid dat de luisteraar bereikt, bepaald;
- 3 Hetzelfde wordt gedaan met de niveaus van de ruis. In figuur 17.17 staan deze spectra weergegeven;



Figuur 17.17 Voorbeeld van de berekening van een Articulatie-index

- 4 In het midden van elke band (dat wil zeggen op de getekende verticale lijnen) wordt het verschil tussen het niveau van de spraak en dat van de ruis bepaald. Als het ruisniveau boven het spraakniveau uitkomt, wordt de waarde nul

toegekend. Is het spraakniveau meer dan 30 dB hoger dan het ruisniveau, dan wordt 30 dB gerekend. In de tabel van figuur 17.18 staan deze waarden in de tweede kolom;

- 5 De waarden in de tweede kolom worden vermenigvuldigd met de relatieve gewichten van elke band, zoals aangegeven in de derde kolom. Het produkt staat in de vierde kolom;
- 6 Sommering van deze produkten uit de vierde kolom levert de A.I. op.

band	verschil spraak-lawaai niveau (2)	gewicht (3)	produkt (2 x 3)
200	30	0,0004	0,0120
250	26	0,0010	0,0260
315	27	0,0010	0,0270
400	28 10	0,0014	0,0392
500	26 10	0,0014	0,0364
630	22 10	0,0020	0,0440
800	16 10	0,0020	0,0320
1000	8 10	0,0024	0,0192
1250	3 10	0,0030	0,0090
1600	0 10	0,0037	0,0000
2000	0 10	0,0038	0,0000
2500	12 10	0,0034	0,0408
3150	22	0,0034	0,0758
4000	26	0,0024	0,0624
5000	25	0,0020	0,0500
			AI=0,4738

Figuur 17.18 Een voorbeeld van de berekening van een A.I.

Bij spraakoverdracht middels een telefoonverbinding zijn er meerdere factoren die afbreuk kunnen doen aan de verstaanbaarheid:

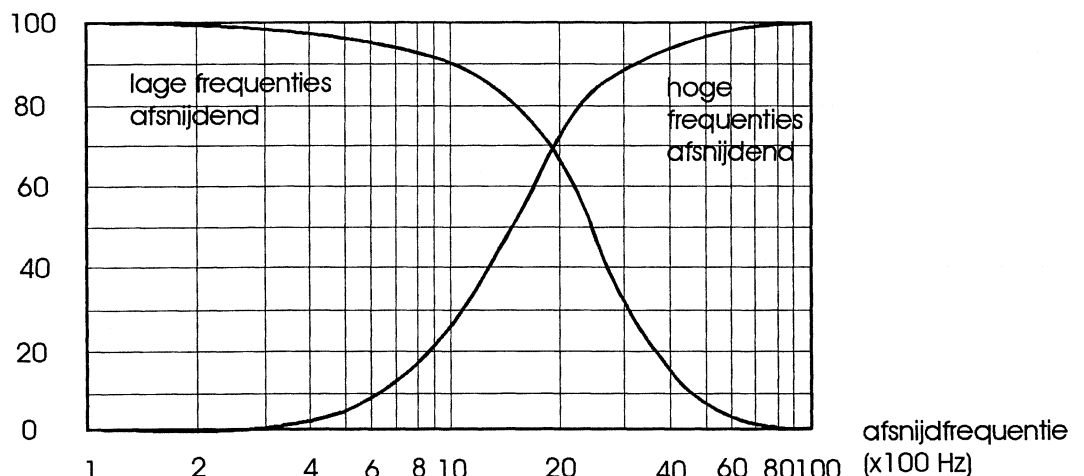
- lawaai dat via de microfoon opgenomen wordt;
Met een goede microfoon die men dicht bij de mond houdt kan men nog een redelijke verbinding onderhouden bij omgevingslawaai met een geluidsniveau van 100 dB(A); met behulp van gradientmicrofoons zelfs nog bij 120 dB(A);
- achtergrondlawaai bij de luisteraar;
Achtergrondlawaai bij de luisteraar sluit men uit door het gebruik van goed afdichtende hoofdtelefoons, bij omgevingslawaai met een sterkte van 120 dB(A) is dan nog redelijke spraakverstaanbaarheid mogelijk. Wordt spraak weergegeven met behulp van luidsprekers, dan bereikt men optimale resultaten

als spraak en lawaai zoveel mogelijk uit verschillende richtingen komen (richtingsgevoeligheid van het oor).

- vervorming in het systeem door bijvoorbeeld bandbreedtebeperking, amplitudebegrenzing, atmosferische storingen (bij draadloze verbindingen).

Natuurgetrouwe weergave vereist een frequentiebereik van globaal 100 tot 8000 Hz; daar versmalling van dit gebied technisch-economisch aantrekkelijk is, komt het vaak voor. (Vergelijk b.v. de bandbreedte van ons telefoonnet van 3100 Hz.) Beperking van het frequentiebereik tot het gebied van 1000 tot 3000 à 4000 Hz is uit het oogpunt van verstaanbaarheid veelal nog acceptabel, getuige figuur 17.19 (French en Steinberg, 1947). Verdere verlaging van bovengrens of verhoging van benedengrens veroorzaakt een vermindering van de herkenbaarheid van respectievelijk fricatieve medeklinkers en klinkers die meestal onaanvaardbaar is.

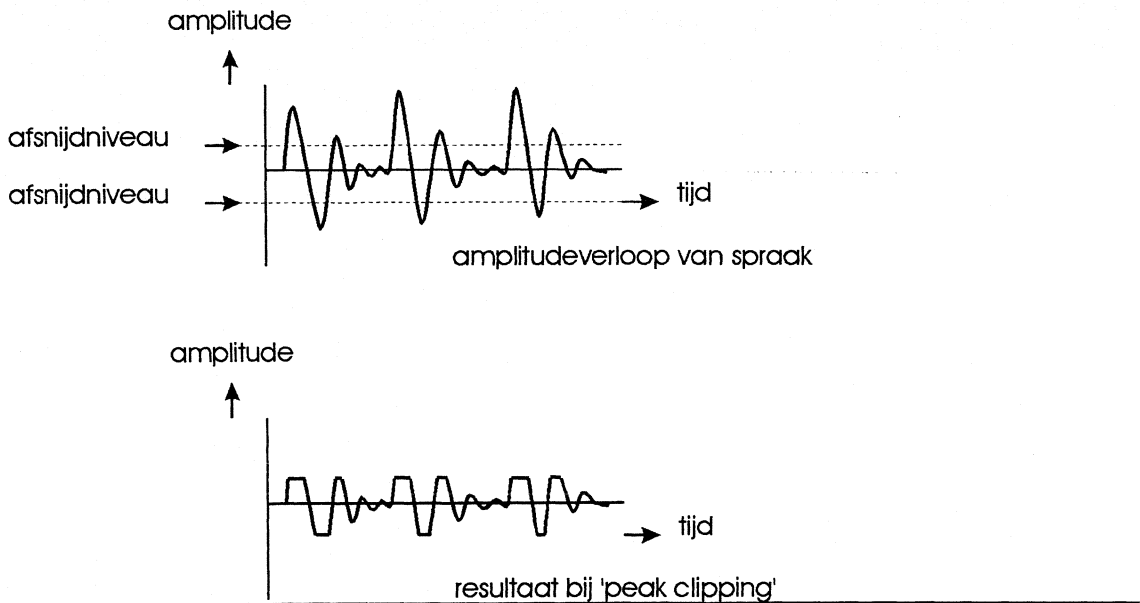
percentage dat correct verstaan wordt (%)



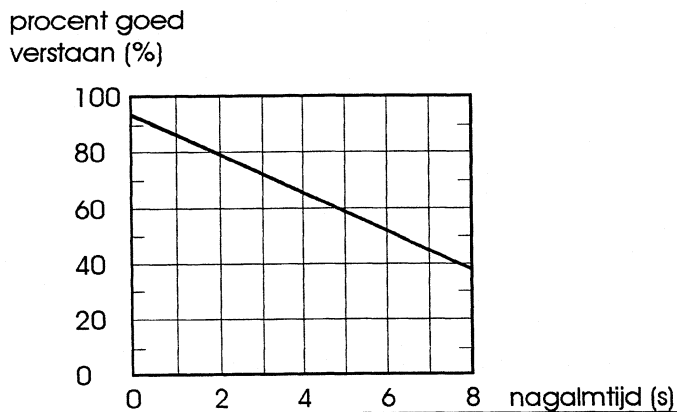
Figuur 17.19 De invloed van hoog- en laag-afsnijdende filters op de verstaanbaarheid van spraak (French en Steinberg, 1947)

In eenvoudige telefonie-apparatuur (bijvoorbeeld een veldtelefoon) maakte men wel gebruik van amplitudebegrenzing ('peak clipping', zie figuur 17.20) om de versterking op een voor de lage geluidsintensiteiten aanvaardbaar niveau te brengen zonder dat oversturing optreedt bij grote amplitudes. Dit doet weliswaar afbreuk aan de natuurgetrouwheid van de spraak, maar nauwelijks aan de verstaanbaarheid (Licklider en Miller, 1951; Miller, 1963).

Ook de akoestiek van de ruimte waarin gesproken wordt en met name de nagalmtijd (T) is van belang voor de verstaanbaarheid. De nagalmtijd (T) is een functie van het volume en van de totale geluidsabsorptie van de ruimte. Globaal kan men stellen dat een grote nagalmtijd een hoog geluidsniveau oplevert maar de herkenbaarheid van snel wisselende geluidsniveaus en -frequenties zoals bij spraak afbreuk doet. Dit wordt geïllustreerd door de grafiek in figuur 17.21 Meer informatie vindt men bijvoorbeeld in het boek 'Bouwakoestiek in kort bestek' van De Lange (1962).



Figuur 17.20 Amplitudebegrenzing ('peak clipping') van spraak



Figuur 17.21 Relatie tussen de verstaanbaarheid van spraak en de nagalmtijd

17.4 Productie en herkenning van spraak door artefacten

Apparatuur gaat steeds meer spreken en luisteren en verstaan. Vanuit de speelgoedsfeer (speelcomputers) breidt deze tendens zich uit naar de professionele sfeer van bediening, beveiliging en dienstverlening. In het algemeen wordt voor deze artificiële spraak niet meer de complete vorm van de geluidsgolven vastgelegd, maar een beperkt aantal karakteristieke bemonsteringswaarden per tijdseenheid, bijvoorbeeld per 20 ms. Dit maakt aanzienlijk simpeler en economischer opslag mogelijk in digitale geheugens en ook eenvoudiger bewerking van de boodschap ten behoeve van decodering, artificiële herkenning. Uiteraard heeft deze 'verkorte' opslag consequenties voor de natuurgetrouwheid van de spraak, de spraakwaliteit; deze neemt in het algemeen af. De verstaanbaarheid evenwel hoeft niet te verslechteren, deze kan zelfs verbeteren.

Synthese van spraak

Synthese is hier het samenstellen van spraakgeluid vanuit een beperkt aantal besturingsparameters voor een spraakgeluidsgenerator (bijv. de Ipovoxen ontwikkeld

door het Instituut voor Perceptieonderzoek (IPO) te Eindhoven). Hoe komt men aan de waarden voor deze besturingsparameters? Er zijn in essentie twee mogelijkheden:

- 1 Uit (automatische) analyse van echte spraak (bemonstering); we spreken dan van resynthese;
- 2 Door automatisch toepassen van op theorie gebaseerde regels.

Mengvormen zijn mogelijk, zoals het verloop van intonatie (zie 17.2.2) door regels en het overige door resynthese. In geval 2 blijft de vraag hoe men tot deze regels c.q. theorie kan komen. Dit is een lange weg van hypothesevorming, experimentele toetsing, bijstelling van de hypothese enz. Het eerste idee was om de regels te laten stelen op de fonemen, zoals bij het fonetisch schrift. Dit werd een mislukking in verband met de zeer problematische overgang van de ene foneem naar de andere. Te ingewikkelde regels bleken nodig voor de aanpassing van de fonemen aan hun positie in de spraakuiting.

Het tweede idee was om uit te gaan van 'hele gesproken woorden'. Voor een goede verstaanbaarheid bleek evenwel een pauze tussen twee woorden nodig. De boodschap duurde daardoor lang, klonk vreemd en de luisteraar had moeite het verband te leggen. In echt gesproken woord beïnvloedt de uitspraak van opeenvolgende woorden elkaar wat betreft duur, sterkte en toonhoogte. De positie in de zin en in de woordgroep is belangrijk, vooral voor de laatste lettergreep. Men besloot een stap terug te gaan en als uitgangspunt 'difonen' te nemen, waarin dus de overgangen tussen de fonemen bewaard zijn. Als men de fonemen juist kiest dan zijn slechts regels nodig voor toonhoogte, duur en sterkte ervan. Verstaanbare spraak blijkt betrekkelijk eenvoudig, natuurgetrouwe zeer lastig. Wat mankeert er dan aan? Er zijn allerlei geluiden aanwezig die uit een andere bron lijken te komen en soms is het alsof onverwacht een nieuwe spreker aan het woord komt. In menselijke spraak worden grenzen tussen samenhangende woorden geaccentueerd door toonhoogte bewegingen. Om dat in artificieel spraak te realiseren moet er kennis zijn van grammaticale en contextuele factoren die de sprekers hierbij leiden. Dit is nog steeds een probleem.

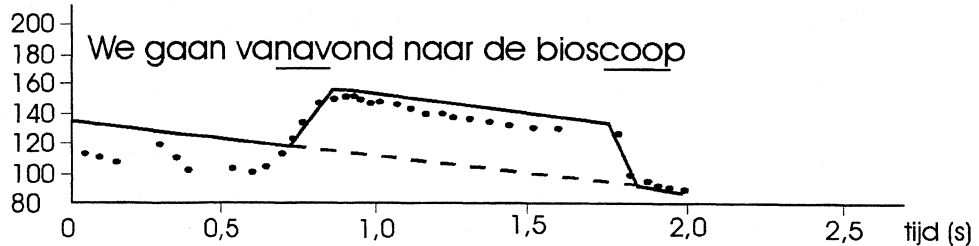
17.5 Toonhoogte en intonatie

Het objectief bepalen (meten) van de toonhoogte van bijv. spraak was een probleem, dit omdat enerzijds vaststond dat de frequentie zeker niet alleen bepalend was voor de menselijke toonhoogteperceptie maar anderzijds dit mechanisme nog onvoldoende bekend was. Als men van een geluid opgebouwd uit een grondtoon van 200 Hz plus een serie harmonische boventonen tot bijv. 8000 Hz toe, de tonen onder de 1600 Hz uitfilterde, werd dit residu waargenomen als hebbende dezelfde toonhoogte als het oorspronkelijk geluid. Met een analyse van de samenstellende frequenties alleen komt men er dus niet. De tijdsstructuur van het signaal zou ook een rol spelen. Zeer hoge, op zichzelf niet hoorbare, harmonische deeltonen bleken nog detecteerbaar als zij weggelaten werden uit het spectrum van een scherpe periodieke puls. Na vele jaren werk van o.a. Schouten, Duifhuis, Goldstein en Willems (IPO-TUD) is uiteindelijk een mathematische beschrijving van de perceptieve toonhoogte in willekeurig, harmonisch, complex geluid tot stand gekomen, die goed voldoet en is op basis hiervan meetapparatuur ontwikkeld.

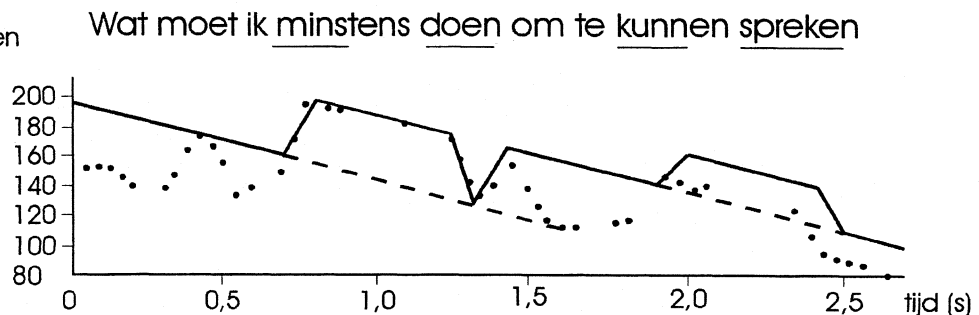
Intonatie is het geheel van toonhoogtevariëaties in spraak. Voor het maken van natuurgetrouwe kunstmatige spraak is een goed aanwenden ervan noodzaak. Onderzoek laat zien dat bij het uitspreken van een zin gewoonlijk een of meer

'hoedpatronen' te zien zijn (figuur 17.22), gesuperponeerd op een dalende tendens. De stijging voor de 'hoed' treedt op bij de eerste geaccentueerde lettergreep, de daling bij de tweede, een volgende stijging voor een tweede 'hoed' bij de derde, enz.

waargenomen
toonhoogte
(Hz)



waargenomen
toonhoogte
(Hz)



Figuur 17.22 Intonatie in gesproken zinnen bron: 25 jaar IPO

Op basis van difonen waaraan toegevoegd intonatie volgens het zojuist beschreven patroon, komt men tot heel acceptabele kunstmatige spraak, op te roepen bijvoorbeeld via toetsenbord en spraaksynthesechip.

17.6 Technische ontwikkeling van spraakgeneratoren

Bij het IPO zijn achtereenvolgens ontwikkeld:

1960 IPOVOX 1	buizen, poorten openen en sluiten analoog gestuurd. 'phonetics'.
IPOVOX 2	transistoren, digitaal gestuurd flip-flop-, later kernen-geheugen
IPOVOX 3	compleet digitaal systeem met leerprocedure, stem ging steeds meer op die van operator lijken
1980 Spraaksynthese chip	Philips MEA 8000, segmenten van 8 ms. spraak, voor het instellen zijn 32 bits nodig; 1000 bits/s.

Inmiddels zijn er veel geavanceerdere spraakchips op de markt.

17.7 Spraakherkenning door artefacten

Het gebruik van natuurlijke spraak voor de conversatie met computers biedt voordelen, zoals:

- operator niet gebonden aan een console;
- operator heeft handen vrij voor andere zaken
- operator heeft wellicht minder training nodig (gebruiksvriendelijke dialoog).

Vrijwel in alle gevallen evenwel betreft de herkenning van spraak door machines nu nog slechts alleenstaande woorden en kortere zinsneden. Een tweetal herkenningsprincipes wordt hiertoe gehanteerd:

- 1 Het vergelijken van het frequentiespectrum van de spraak met spectra van spraakonderdelen in het geheugen tot een bepaalde overeenkomst gevonden is;
- 2 Het separeren van zekere karakteristieke kenmerken zoals pauzes en fricatieve medeklinkers in de uiting en het vergelijken hiervan met de kenmerken van opgeslagen spraakonderdelen.

Beide methoden verschillen weinig in prestatie. De beperkingen zijn:

- 1 Slechts een beperkt, van tevoren vastgelegd vocabulair mogelijk (grote nauwkeurigheid bij 30-50 woorden, nog redelijke prestaties bij 100, mits er niet te veel onderlinge overeenkomst is). Trapsgewijs kan men ook grotere vocabulaires gebruiken. Het eerste woord geeft een keuze uit een vocabulair van 50 woorden, als dat herkend is bestaat er voor het tweede woord een nieuwe keuze uit een dan bepaald, ander vocabulair van weer bijvoorbeeld 50 woorden enz.
- 2 De spreker moet pauzes inlassen tussen woorden of zinsdelen, of juist niet, precies zoals het systeem de commando's kent. Er is evenwel vooruitgang bij de ontwikkeling van 'continuous speech recognition systems'.
- 3 Operator en systeem moeten bij wat complexere situaties op elkaar worden ingesteld, dikwijls is voor elke operator een aparte opslag van het vocabulair nodig. De computer leert verder door herhaaldelijk inspreken van de commando's.
- 4 De menselijke stem ondergaat korte termijn veranderingen onder invloed van emoties, vermoeidheid, verkoudheid enz.. Het systeem reageert dan niet meer, hetgeen erg vervelend kan zijn in bijvoorbeeld emotionele noodsituaties.
- 5 Ruis kan de spraak onherkenbaar maken of juist het systeem activeren. Denk bijvoorbeeld aan achtergrondconversatie. In een situatie bij de postdienst in de V.S. traden bij een systeem met 38 woorden 5% mislukkingen op en een aantal ongewenste activeringen. Het toetsenbord was sneller en betrouwbaarder, maar de werkers hadden dan geen handen vrij voor het transport van de postzakken.

Toepassingen van technische spraakherkenning vinden we vooral bij verkeersleiding, beveiliging en in het algemeen als de operator onder hoge druk staat zoals in het geval van complexe 'perceptual-motor' coördinatie en 'snelheidsstress'.

Ook worden steeds meer consumentenproducten en professionele systemen uitgevoerd met spraakgeneratoren. Een klok die desgevraagd zegt wat de tijd is, kinderspeelgoed en computerprogrammatuur zijn hiervan enkele voorbeelden, evenals telefonische inlichtingen en -besteldiensten.

Een andere toepassing is te vinden in hulpmiddelen voor gehandicapten. Bijvoorbeeld een apparaat dat getypte tekst uitspreekt voor iemand die (tijdelijk) niet kan praten.

De begripelijkheid van kunstmatige spraak in verhouding tot natuurlijke spraak is uiteraard voor een groot deel afhankelijk van de kwaliteit van de spraakgenerator. Deze worden echter steeds beter en een score van 99% correct begrepen woorden is daarom niet meer onrealiseerbaar. Het blijkt bovendien dat mensen zich snel aanpassen aan kunstmatige spraak, zodat na een korte periode van gewenning de resultaten aanzienlijk verbeteren.

Het onthouden van kunstmatige spraak blijkt moeilijker te zijn dan het onthouden van

natuurlijke spraak. Dit kan te maken hebben met het feit dat meer moeite gedaan moet worden om de boodschap te coderen, zodat ook het onthouden moeilijker wordt. Een iets grotere pauze tussen de woorden levert een grote verbetering van het resultaat op.

Vaak wordt kunstmatige spraak beoordeeld als 'blikkerig' en 'plat'. De grootste bezwaren tegen kunstmatige spraak zijn het gebrek aan coarticulatie (het samenvoegen van woorden) en het gebrek aan intonatie. In sommige situaties kan dit juist een voordeel zijn omdat er op die manier onderscheid bestaat tussen een boodschap van een apparaat of van een mens.

Enkele richtlijnen voor het gebruik van kunstmatige spraak zijn:

- 1 Gesproken waarschuwingen dienen aangeboden te worden met een stem die anders is dan andere stemmen die in dezelfde situatie gehoord kunnen worden;
- 2 Als kunstmatige spraak uitsluitend voor waarschuwingen gebruikt wordt, moet deze niet vooraf gegaan worden door een signaal om de aandacht te trekken;
- 3 Als kunstmatige spraak wordt gebruikt voor meerdere vormen van informatie, naast waarschuwingen, kan gebruik gemaakt worden van een methode om eerst de aandacht van de gebruiker in de juiste richting te sturen;
- 4 Zorg voor zeer begrijpelijke, korte boodschappen;
- 5 Voor algemene toepassing moet de acceptatie van de stem door de gebruiker gemaximaliseerd worden, door deze zo natuurlijk mogelijk te laten klinken;
- 6 Overweeg het bieden van de mogelijkheid om de boodschap te laten herhalen;
- 7 Als een spelling-mode wordt geboden, dient de kwaliteit hiervan hoger te zijn dan die van de rest van het systeem;
- 8 Geef de gebruiker de mogelijkheid om de boodschap af te breken. Dit is vooral belangrijk voor ervaren gebruikers, die niet elke keer de hele boodschap hoeven te horen;
- 9 Biedt een boodschap aan voor introductie of training, zodat de gebruiker bekend kan raken met de stem van het systeem;
- 10 Gebruik kunstmatige spraak spaarzaam en alleen als het geschikt is voor de situatie en geaccepteerd wordt door de gebruikers.

17.8 Akoestiek

In de akoestiek zoals hier ingeleid, betreft het doorgaans de voortplanting van geluidsgolven in lucht, d.w.z. de voortplanting van longitudinale (lopende) drukgolven met een golfsnelheid $c = 340$ m/s (de geluidssnelheid).

Soms gaat het om de voortplanting in andere materialen (beton, steen, vezelplaat, water). Hier zijn de geluidssnelheden meestal groter:

$$c_{\text{water}} \approx 1480 \text{ m/s};$$

$$c_{\text{vensterglas}} \approx 5,0 \cdot 10^3 \text{ m/s};$$

$$c_{\text{iijzer}} \approx 5,1 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

De voortplantingssnelheid van het geluid in staven, vloeistoffen en gassen kan berekend worden. Een algemene formule is:

$$c_{\text{long}} = \sqrt{\frac{1}{\alpha \rho}}$$

α hangt af van de aggregatietoestand van het voortplantingsmedium
 ρ is de soortelijke massa

Voor staven, vloeistoffen en gassen is α niet gelijk. In figuur 17.23 staan deze waarden van α en worden de formules voor de voortplantingssnelheid afgeleid.

	α	c
Staven	$\frac{1}{E}$	$\sqrt{\frac{E}{\rho}}$
Vloeistoffen	$\frac{\Delta v}{v} \cdot \frac{1}{\Delta p}$ Dit is de inverse van de compressiemodulus κ (α is de relatieve volumeverandering $\Delta v/v$ bij de drukverandering Δp) $\kappa = \frac{1}{\alpha}$	$\sqrt{\frac{\kappa}{\rho}}$
Gassen	$\frac{\Delta v}{v} \cdot \frac{1}{\Delta p} = \frac{1}{\kappa p}$	$\sqrt{\frac{\kappa p}{\rho}}$ met $\kappa = \frac{c_p}{c_v}$

Figuur 17.23 Voortplantingssnelheid van geluid in staven, vloeistoffen en gassen

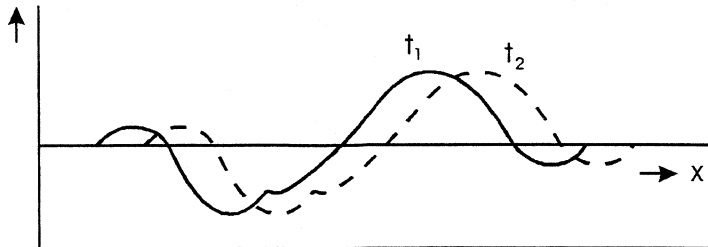
Het gaat hier om adiabatische toestandsveranderingen omdat de drukwisselingen zo snel gaan dat nauwelijks warmtetransport plaats vindt). C_p is de soortelijke warmte bij constante druk en C_v die bij constant volume; $c_p/c_v \approx 1,5$ voor (ideale) gassen. Deze voortplantingssnelheid van het geluid (c) moet niet verward worden met de deeltjessnelheid in het trillend medium (v).

17.9 Soorten geluidsbronnen, enkele verschillen, lopende en staande golven.

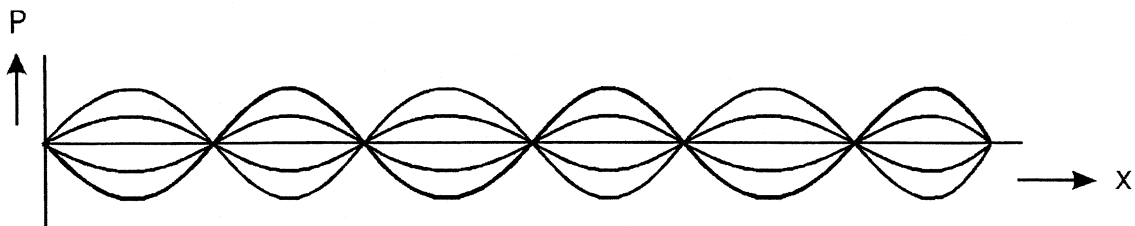
We onderscheiden de volgende geluidsbronnen:

- Puntbron (bolbron) met bolvormige golfuitbreiding;
Hiervan is bij benadering sprake als alle afmetingen van de geluidsbron klein zijn t.o.v. de waarnemingsafstand ($< 1/5$). [Men visualisere de bolbron met een luchtballonnetje dat in snelle afwisseling expandeert en weer wat leegloopt.] Bij ongestoorde uitbreiding van het bolfront in de ruimte neemt het geluidsniveau per verdubbeling van de waarnemingsafstand af met 6 dB(A) en de geluidsenergie met de afstand in het kwadraat.
- Lijnbron (autoweg, pijpleiding);
Bij ongestoorde uitbreiding van het cilindervormig golffront neemt het geluidsniveau per verdubbeling van de waarnemingsafstand af met 3 dB(A) en de geluidsenergie lineair met de afstand.
- Vlakbron ('zeer grote trillende plaat');
Hier neemt in de nabijheid van de bron het geluidsniveau nauwelijks af met toenemende waarnemingsafstand. Bij benadering komen vlakke golven in de praktijk wel voor. Ontmoeten zij obstakels dan ontstaan door buiging, reflectie en verstrooiing meestal zeer ingewikkelde geluidsvelden (staande golven).

Stel u voor een vlakke lopende golf in lucht in de positieve x-richting: Hiervoor geldt: $u = f(t-x/c)$, waarbij u de uitwijking van de luchtdeeltjes is en t de tijd. De deeltjessnelheid $v = \delta u / \delta t$ en de geluidsdruk $p = \rho \cdot c \cdot v$ ($\rho_{\text{lucht}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$).



Figuur 17.24 Een lopende golf bekeken op de tijden t_1 en t_2 ; als men $\Delta t (= t_2 - t_1)$ wacht is de golf $c \cdot \Delta t$ verder



Figuur 17.25 Een staande harmonische golf bekeken op vier verschillende tijdstippen; waar p maximaal is, is $v = 0$ en omgekeerd

17.10 Geluidsabsorptie, - reflectie en - doorlating

Geluidsenergie vallend op een wand wordt gereflecteerd, geabsorbeerd (omgezet in warmte) en doorgelaten (zie figuur 17.26). Stel de opvallende geluidsintensiteit (energie per tijdseenheid per m^2) I_i , de gereflecteerde I_r , de geabsorbeerde I_a en de doorgelaten intensiteit I_d dan geldt:

$$I_i = I_r + I_d + I_a; \text{ dus } \frac{I_r}{I_i} + \frac{I_d}{I_i} + \frac{I_a}{I_i} = 1$$

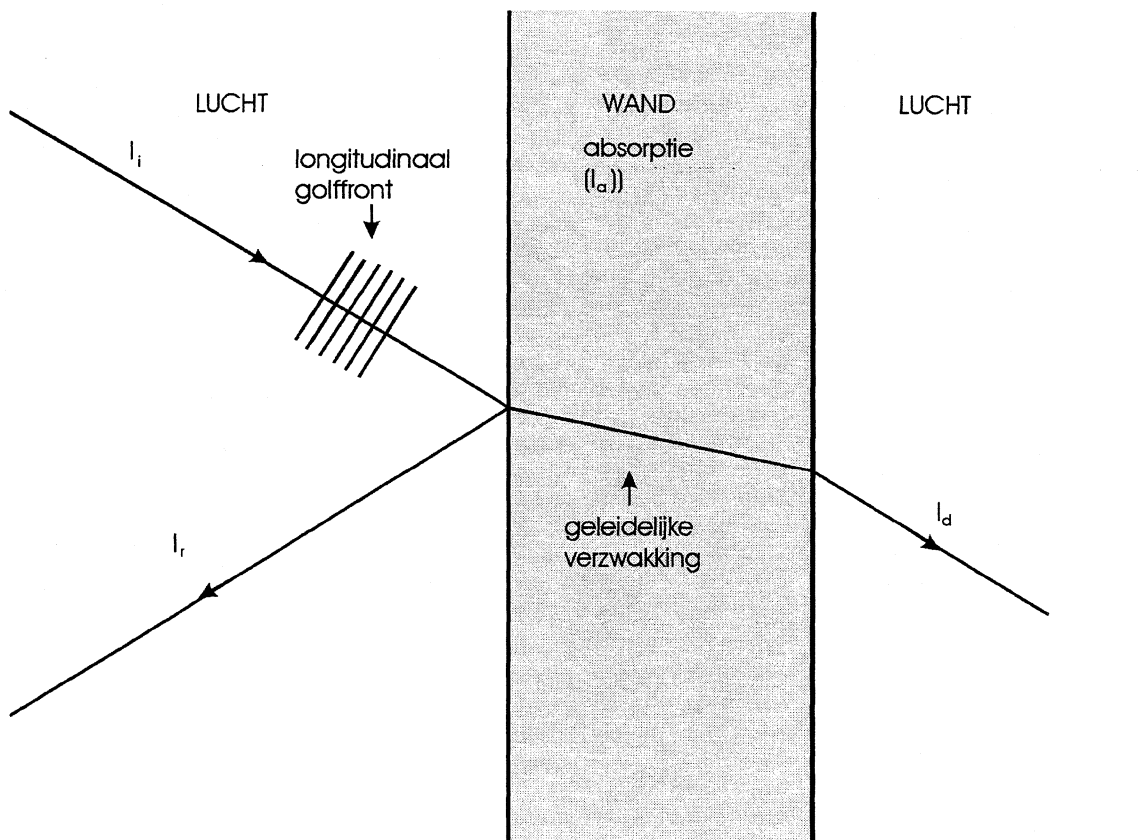
Dat wil zeggen $r + d + a = 1$, waarbij $r = I_r/I_i$ de reflectiecoëfficiënt is, $d = I_d/I_i$ de doorlatingscoëfficiënt is en $a = I_a/I_i$ de absorptiecoëfficiënt is.

d is in het algemeen (zeer) klein:

enkele ruit/ deur	$d \approx 0,01 (10^{-2})$;
halfsteens muur	$d \approx 0,0001 (10^{-4})$;
enkelsteens muur	$d \approx 0,00001 (10^{-5})$.

Dus in de praktijk geldt bij benadering $r + a = 1$.

Soms wordt onder de geluidsabsorptie (van bijvoorbeeld een wand) ook wel verstaan dat deel van de geluidsintensiteit dat niet wordt teruggekaatst, dus absorptie en doorlating te zamen. Geluidsisolatie van een wand heeft dan betrekking op het deel dat wordt doorgelaten. Een geringe doorlaatbaarheid, dat wil zeggen een zware, niet poreuze wand, levert een grote geluidsisolatie op. Let wel! Wanden die het geluid goed absorberen hoeven niet noodzakelijkerwijs ook goed te isoleren. Het doorlaatgedeelte kan immers nog relatief groot zijn.



Figuur 17.26 Geluidsenergie vallend op een wand; absorptie, reflectie, doorlating

Het omgekeerde geldt overigens ook. Het is dus niet zo dat men de doorlating door een muur belangrijk kan verminderen door een absorberende laag aan te brengen.

Samenvattend:

- de wand is absorberend als a groot is (eventueel als $a + d$ groot is);
- de wand is isolerend als d klein is.

Een grote reflectie (hoge waarde van r) leidt in een ruimte met een geluidsbron tot een relatief hoog geluidsniveau met veel (hinderlijke) nagalm/echo. De nagalmtijd T (de tijd waarbij, na uitzetten van de bron, het geluidsniveau 60 dB(A) [factor 10^6] daalt) is dan groot b.v. $> 0,1$ s. In een ruimte met veel lawaaiproductie streeft men dus naar absorberende materialen voor wanden, plafonds enz. om het geluidsniveau dragelijk te houden en naar isolerende wanden om de lawaaioverlast in aangrenzende ruimtes te beperken. Een en ander maakt in de ruimte zelf bijvoorbeeld een gesprek mogelijk onder machinegeluid en zorgt voor een betere akoestiek (bijvoorbeeld een kortere nagalmtijd T in collegezalen), terwijl anderszins de overlast voor de omgeving beperkt wordt. Tegenwoordig zijn er systemen waarmee men elektronisch de nagalmtijd in een ruimte kan aanpassen aan het doel waar deze op dat moment voor gebruikt wordt.

Een benaderend rekenvoorbeeld ter illustratie.

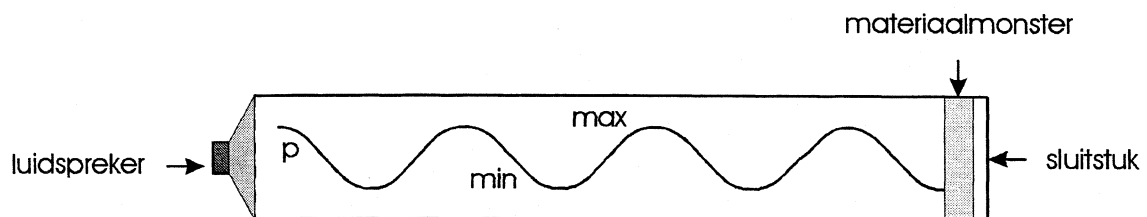
Midden in een 10 meter lange 'harde' kamer (betonnen muren, vloer en plafond; $r = 0,99$) hangt men een gordijn op dat de ruimte in tweeën verdeelt ($a = 0,20$ per doorgang). In 1 seconde is iedere golf $340/10 = 34$ maal door het gordijn gegaan en verzwakt tot $0,80^{34} = 0,0005$ ($5 \cdot 10^{-4}$) van de oorspronkelijke energie (een verzwakking van 33 dB).

Absorberende wanden zijn bijvoorbeeld: ingeboorde of ingezaagde zachtboardtegels, poreuze pleisters, vezelplaten e.d. en wanden bekleed met tapijt of met een gesloten houten betimmering of een gordijn er voor. Dit alles vermindert het geluid dat de waarnemer indirect bereikt. Op direct geluid vlak bij de bron bijvoorbeeld heeft dit geen enkele invloed. De absorptie treedt op door energieverlies van de trillende lucht in de nauwe doorgangen van het absorberende materiaal. Door viskeuze wrijving wordt hier (een minieme hoeveelheid) warmte ontwikkeld. Hoge frequenties worden gemakkelijker geabsorbeerd dan lage, de lucht trilt immers sneller wat meer wrijving oplevert. Dit houdt al in dat voor voldoende verzwakking de dikte van het absorberend materiaal groot moet zijn, zeker voor lage frequenties (grote golflengten). Absorberende muurverf of behang bestaat dus niet.

Bepalende factoren voor de absorptiecoëfficiënt zijn de specifieke luchtweerstand R ($-dp/dx = Rv$, R is dus de evenredigheidsfactor tussen de drukgradiënt (het drukverval) en de lichtsnelheid) in combinatie met de materiaaldikte. R moet niet te groot zijn want dan treedt reflectie op en ook niet te klein want dan is de verzwakking gering. Goed is dus een middelmatige waarde van R gecombineerd met een grote dikte. Ook hangt de absorptiecoëfficiënt nog af van de hoek van inval van de golven. De absorptiecoëfficiënt bij alzijdige inval a_{sab} is doorgaans 1,5 x zo groot als die bij loodrechte inval, als deze laatste tenminste kleiner is dan 0,5. De absorptiewaarde door de fabrikant in voorlichtingsmateriaal opgegeven, is meestal a_{sab} .

17.11 Het meten van de absorptiecoëfficiënt

De absorptiecoëfficiënt a (loodrechte inval) meet men met de interferometer. Dit is een pijp met aan de ene kant een luidspreker en aan de andere kant een monster van het te onderzoeken materiaal met daar achter een reflecterend sluitstuk (figuur 17.27).



Figuur 17.27 Interferometer voor bepaling van de absorptiecoëfficiënt

De invallende en de gereflecteerde golf tezamen geven een staande golf. Met een kleine microfoon meet men P_{max} en P_{min} , de druk in resp. een maximum en een minimum.

Nu geldt $P_{max} = \hat{P}_i + \hat{P}_r$ en $P_{min} = \hat{P}_i - \hat{P}_r$, waarbij \hat{P}_i de drukamplitude van de invallende golf is en \hat{P}_r die van de gereflecteerde.

De absorptiecoëfficiënt a is nu te berekenen, de geluidsintensiteit van harmonische golven is immers evenredig met het kwadraat van de drukamplitude (de afgelegde weg is daar immers evenredig met de druk).

17.12 Geluidsisolatie

Zoals gemeld betreft geluidsisolatie de doorlating van het geluid. Bepalend is eigenlijk in hoeverre men in een aangrenzende ruimte of in het algemeen buiten de betreffende ruimte het geluid nog hoort. Voor een goede geluidsisolatie moet d klein zijn en is dus a en/of r groot. Directe scheidende wanden kan men goed isolerend uitvoeren dat wil

zeggen zwaar en niet poreus. Dit leidt tot een hoge r vooral voor hoge frequenties. Er zijn immers grote krachten nodig om grote massa's aan het trillen te brengen en hogere frequenties gaan gepaard met hogere snelheden en versnellingen en dus met grotere benodigde krachten. Toch kan men in zo'n geval in aangrenzende ruimten nog veel last hebben van lawaaihinder vanwege het zogenaamde omweggeluid. Dit omweggeluid wordt veroorzaakt door trillingen die zich door de constructieelementen van bijvoorbeeld een flatgebouw voortplanten (contactgeluid) waardoor vanuit niet direct aangrenzende, in trilling gebrachte oppervlakken lawaai buiten de ruimte wordt afgegeven, vooral bij trillende machines en dergelijke. Denk ook aan het kloppen op een radiator in een bepaalde kamer. Dat is vaak in de gehele flat te horen.

17.13 Lawaai

Lawaai kan schadelijk zijn voor het gehoor en kan daarnaast als zeer hinderlijk ervaren worden (zie 'Inleiding tot de Produkt- en Systeemergonomie), vandaar dat er (wettelijke) grenzen gesteld zijn aan de blootstelling eraan.

Volgens Broadbent (1976) kunnen er drie soorten effecten van lawaai onderscheiden worden:

- 1 Bepaalde beslissingen worden met meer (ongefundeerde) zekerheid genomen. Als er lawaai is, zal een luid signaal goed opgemerkt worden. Een minder duidelijk hoorbaar signaal zal niet opgemerkt worden. In een stille omgeving daarentegen kan een minder duidelijk hoorbaar geluid de gebruiker aan het twijfelen brengen over de betekenis ervan.
- 2 In een omgeving met veel lawaai zal de aandacht van de gebruiker gefocuseerd worden op de meest relevante aspecten van de taak. Dit verklaart ook de positieve effecten van lawaai op een eenvoudige routinetaak: het wegvloeien van de aandacht door verveling wordt tegengegaan.
- 3 Bij ononderbroken werkzaamheden in een lawaaiige omgeving, zonder de mogelijkheid om te rusten, komen vaak perioden van lage produktiviteit voor. De gemiddelde prestatie zal niet dalen, maar de variatie wordt groter.

Een mogelijke verklaring voor het effect van lawaai op de prestatie is een combinatie van vier determinanten (Poulton, 1976, 1977, 1978):

- 1 Maskering van taakgerichte aanwijzingen en 'inner speech' (taal die niet uitgesproken wordt, maar die gebruikt wordt voor het structureren van de eigen gedachten);
- 2 Afleiding;
- 3 Gunstige toename van het activatieniveau bij de eerste introductie van geluid;
- 4 Positieve en negatieve verschuiving van de prestatie in een lawaaiige omgeving ten opzichte van een stille omgeving. Als gevolg van het verhoogde activatieniveau in een lawaaiige omgeving kan het leren van een taak positief beïnvloed worden (positieve verschuiving). Als lawaai gebruikt wordt om afleiding die in een stille omgeving kan optreden, tegen te gaan, werkt dit soms contraproductief (negatieve verschuiving).

Volgens Broadbent (1976, 1977, 1978) speelt 'overarousal' (zie figuur 17.8) een belangrijke rol in de verklaring voor het negatieve effect van lawaai op de prestatie. Ook een teveel aan prikkels is slecht voor de prestatie.

Het is ook mogelijk dat de gebruiker een bepaalde betekenis toekent aan het lawaai,

waardoor de motivatie afneemt of de stress toeneemt (denk aan een hard geluid dat gevaar kan betekenen).

Geluid kan, bijvoorbeeld in de vorm van muziek, ook een motiverende of rustgevende functie hebben waardoor de prestatie kan toenemen.

De geluidsniveaus waarbij tijdens experimenten meetbare negatieve effecten in de prestatie van proefpersonen optreden, liggen boven de grenzen die bepaald worden door bijvoorbeeld de criteria voor gehoorbeschadiging. Met andere woorden: als de blootstelling aan lawaai binnen deze laatste grenzen blijft (zie hiervoor de volgende paragraaf), zal de prestatie niet noemenswaardig negatief beïnvloed worden.

Normen voor blootstelling aan lawaai

Aan de hand van beschouwingen van de OSHA (Occupational Safety and Health Administration, 1983) wordt hier een aantal normen besproken, die bedoeld zijn voor de werksituatie.

Continu en intermitterend lawaai

Het centrale begrip in deze norm is de lawaaidosis (noise dose): blootstelling aan geluid boven 80 dB(A) wordt gerekend als een partiële lawaaidosis, onder 80 dB(A) wordt geluid niet als lawaai beschouwd. De partiële dosis is:

$$\frac{\text{tijd die is doorgebracht op een bepaald geluidsniveau}}{\text{maximaal toelaatbare tijd op dat niveau}}$$

In figuur 17.28 staat de maximaal toelaatbare tijd op de verschillende niveau's.

Het totaal van de dagelijkse lawaaidosis (waarbij uitgegaan wordt van een 8-urige werkdag) is de som van de partiële doses. Vervolgens kan die dosis omgerekend worden naar een tijd-gewogen gemiddelde; een gemiddeld geluidsniveau dat eenzelfde lawaaidosis zou veroorzaken als de gebruiker er acht uur achtereen aan blootgesteld zou worden (zie figuur 17.29).

Het maximaal toelaatbare niveau (lawaaidosis 100) is gesteld op 90 dB(A); hierboven moeten maatregelen genomen worden om de blootstelling te verminderen. Het actieniveau is gesteld op 50% hiervan, dus op 85 dB(A). Hierboven moet de werknemer onderzocht worden op de effecten van de blootstelling en moeten nadelige effecten tegengegaan worden.

Ter illustratie een voorbeeld: stel, iemand werkt acht uur op een dag en wordt blootgesteld aan drie verschillende geluidsniveau's:

- 3,5 uur aan 95 dB(A);
- 0,5 uur aan 105 dB(A);
- 4,0 uur aan 85 dB(A).

Volgens figuur 17.28 is elk van deze blootstellingen binnen de grenzen. Gerekend over de gehele dag is de lawaaidosis echter 163,5 $[(3,5/4,0 + 0,5/1,0 + 4,0/16,0) \times 100]$ en dat komt overeen met een tijd-gewogen gemiddelde van 93,5 dB(A). Dit is boven het toegestane niveau.

Impulslawaai

Als het geluidsniveau in een bepaalde omgeving voornamelijk bepaald wordt door

impulslawaai, dan is de volgende norm relevant.

OSHA definieert impulslawaai als geluid dat in minder dan 35 ms toeneemt tot een maximale intensiteit die niet langer aanhoudt dan 500 ms en die 20 dB(A) hoger ligt dan het uitgangsniveau. Voor deze vorm van lawaai is een norm opgesteld aan de hand van het aantal blootstellingen per acht uur (zie figuur 17.30).

Geluidsniveau (dB(A))	Toelaatbare tijd (uur)	lawaaidosis (D)	tijd-gewogen gemiddelde (dB(A), TWA)
80	32	10	73
85	16	25	80
90	8	50 (activatieniveau)	85
95	4	75	88
100	2	100 (maximaal toegestaan niveau van blootstelling)	90
105	1		
110	0,5	115	91
115	0,25	130	92
120	0,125	150	93
125	0,063	175	94
130	0,031	200	95
		400	100

Figuur 17.28 Maximaal toelaatbare tijd doorgebracht op een bepaald geluidsniveau (OSHA, 1983)

Figuur 17.29 Het tijd-gewogen gemiddelde van verschillende lawaaidoses; $TWA = 16,61 \log D/100 + 90$ (OSHA, 1983)

maximum geluidsniveau (dB(A))	maximum aantal impulsen per 8 uur
140	100
135	316
130	1.000
125	3.162
120	8.913
115	31.623
112,4	57.600

Figuur 17.30 Maximaal toegestaan aantal impulsen per acht uur, afhankelijk van het maximum geluidsniveau (OSHA, 1983)

Infrasoon 'lawaai'

Dit is geluid met een frequentie die voor het oor te laag is om het te kunnen waarnemen (lager dan 20 Hz). Voor deze vorm van lawaai zijn geen internationale

normen opgesteld.

Ultrasoon 'lawaai'

Hierbij zijn de frequenties zo hoog dat het oor ze niet kan waarnemen (hoger dan 20.000 Hz). De grens voor blootstelling ligt bij 110 dB.

In situaties waarin verschillende van de bovenstaande vormen van lawaai tegelijk voorkomen, mogen de genoemde normen niet zonder meer 'opgeteld' worden. Er bestaat (nog) geen norm voor deze combinatie van vormen van lawaai.

Geluidsoverlast

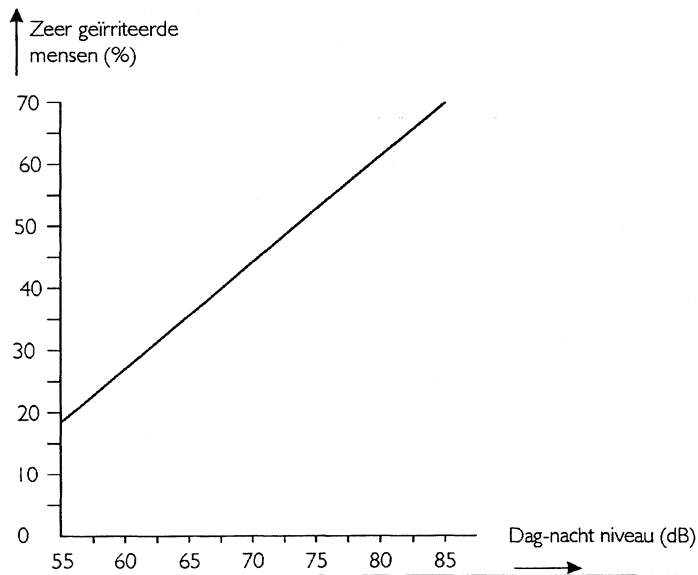
Het begrip geluidsoverlast is relatief. Doorgaans veroorzaakt een hard geluid meer overlast dan een zacht, maar een druppelende kraan is een voorbeeld van een zacht geluid dat zeer veel overlast kan veroorzaken. Overlast meten is dan ook altijd subjectief. Het wordt meestal gemeten met behulp van een vijf-punts schaal (bijvoorbeeld waarneembaar/indringend/ergerlijk/zeer hinderlijk/ondraaglijk).

Een aantal factoren dat meespeelt in de subjectieve beoordeling van lawaai is:

- geluidsniveau;
- frequentie;
- duur;
- complexiteit van het spectrum;
- wisselingen in het geluidsniveau;
- wisselingen in frequentie;
- stijgtijd van het geluid;
- (dit zijn akoestische factoren)
- ervaringen van de gebruiker met het geluid;
- activiteiten van de gebruiker;
- voorspelbaarheid van het vóórkomen van het geluid;
- noodzakelijkheid;
- persoonlijkheid en gesteldheid van de gebruiker;
- houding ten opzichte van de bron;
- tijd van het jaar;
- tijd van de dag;
- omgeving.

Er zijn veel methoden ontwikkeld om de relatie tussen de blootstelling aan lawaai en de mate van overlast te meten. Een van deze methoden is het bepalen van een equivalent geluidsniveau (L_{eq}). De methode berust erop dat blootstelling aan verschillende geluiden achter elkaar (gemiddeld) resulteert in een blootstelling aan een hoeveelheid akoestische energie die overeenkomt met een continue blootstelling van een bepaalde duur, aan één bepaald geluid. Bijvoorbeeld een blootstelling van een uur aan 100 dB(A) zou resulteren in een L_{eq} van 100 dB(A). Is er gedurende de vier uur daarna geen geluid, dan zakt het gemiddelde over die vijf uur tot 94 dB(A).

Een andere methode is het bepalen van het dag-nacht niveau (L_{dn}). Er bestaat een nagenoeg lineair verband tussen het L_{dn} en het percentage mensen dat zegt ernstige overlast te ervaren (correlatiecoëfficiënt van 0,9). In figuur 17.31 staat hiervan een voorbeeld. Toch is het ook weer niet zo dat geluiden met eenzelfde L_{dn} dezelfde overlast geven. Zo moet bijvoorbeeld wegverkeer 10 dB(A) meer lawaai produceren dan luchtverkeer, om evenveel overlast te veroorzaken.



Figuur 17.31 Relatie tussen de blootstelling aan lawaai en het percentage mensen uit een gemeenschap dat zegt bijzonder geïrriteerd te zijn

Begrippen

inleiding

- longitudinale geluidsgolven
- ultrasone golven
- (deci)Bel ((d)B)
- spectrum
- hogere harmonische
- isofonen
- maskering
- witte ruis

auditiële signalering
 activatieniveau

spraak en verstaanbaarheid

- articulators
- explosieve medeklinkers
- fricatieve medeklinkers
- isotraumatische lijn
- frequentiespectrum
- akoestiek
- articulatie
- spraakaudiogram
- phonetically balanced list
- Articulatie-Index (AI)
- Speech Interference Level
- peak clipping
- nagalmtijd

produktie en herkenning van spraak door artefacten

- synthese van spraak
- difonen
- fonemen
- artificiële spraak

technische ontwikkeling van spraakgeneratoren

- spraakherkenning door artefacten
 - continuous speech recognition systems
 - perceptual-motor coördinatie

akoestiek

- aggregatietoestand
- compressiemodulus
- adiabatische toestandsveranderingen

geluidsabsorptie, -reflectie en -doorlating

- geluidsisolatie
- inner speech
- partiële lawaaidosis
- lawaaidosis
- tijd-gewogen gemiddelde
- impulslawaai
- infrason lawaai
- ultrason lawaai
- equivalent geluidsniveau

Literatuur

Adams, S and Trucks, L., 1976

A procedure for evaluating auditory warning signals In: Proceedings of the 6th International Ergonomics Association and Technical Program for the 20th Annual Meeting of the Human Factors Society. Santa Monica, CA: Human Factors Society.

Broadbent, D., 1979

Human performance and noise In: Harris C. (ed.), Handbook of noise control. New York: McGraw-Hill.

Coler, C. et al., 1977

Voice technology for interactive realtime command/control systems applications, symposium proceedings (M. Curran, R. Breaux and E. Huff eds.) NASA Ames Research Center. Mofett Field, Cal..

Conolly, D. 1979

Voice data entry in air traffic control, Federal Aviation Administration, Atlantic City N.J., (FAA-NA-79-20).

Deatherage, B. H., 1972

Auditory and other sensory forms of information presentation In: H.P. van Cott and R. G. Kinkade (eds.), Human engineering guide to equipment design. Washington: Government Printing Office.

Duifhuis, H. et al., 1982

Measurement of pitch in speech: An implementation of Goldstein's theory of

- pitch perception*. Journal acoustical society of America 71 (6) 1568-1580.
- French, N.R. and J.C. Steinberg, 1947
Journal acoustical society of America 19, 90-119.
- Harris, C. (ed.), 1979
Handbook of noise control, New York.
- IPO, 1982
25 jaar IPO 1957-1982. IPO, Eindhoven.
- Kryter, K.D., 1950
Journal of speech and hearing disorders 12 Monograph Supplement no. 1.
- Kryter, K., 1972
Speech communication. In: Cott, H. van and Kinkade R. (eds.), Human engineering guide to equipment design. Washington: Government Printing Office.
- Kryter, K., 1985
The effect of noise on man (2nd ed.), Orlando, FL: Academic.
- Lange, P.A. de, 1962
Bouwakoestiek in kort bestek. Nijgh & Ditmar, Den Haag.
- Licklider, J. C. R., 1961
Audio warning signals for Air Force weapon systems (TR 60-814). USAF, Wright Air Development Division, Wright Patterson Air Force Base.
- Licklider, J.C.R. and G.A. Miller, 1951
The perception of speech. In: Handbook of experimental psychology (S.S. Stevens ed.) John Wiley & Sons, New York.
- Michaelis, P. and Wiggins, R., 1982
A human factors engineer's introduction to speech synthesizers. In: Badre, A. and Schneiderman, B. (eds.), Directions in human computer interaction. Nordwood, NJ: Ablex Publishing.
- Miller, G.A., 1963
Language and communication. McGraw-Hill, New York.
- Molen, M. van der en Keuss, P., 1979
The relationship between reaction time and intensity in discrete auditory tasks. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 31. 95-102.
- Mudd, S. A., 1961
The scaling and experimental investigation of four dimensions of pure tone and their use in an audio-visual monitoring problem. Niet gepubliceerd proefschrift, Lafayette, IN: Purdue University.
- Occupational Safety and Health Administration, 1981
Occupational noise exposure; Hearing conservation amendment. Federal Register, 46, 4078-4179.
- Occupational Safety and Health Administration, 1983
Occupational noise exposure; Hearing conservation amendment. Federal Register, 48, 9738-9783.
- Peterson, A. and Cross, E., 1978
Handbook of noise measurement (8th edition). New Concord, MA: General Radio Co.
- Poulton, E., 1976
Continuous noise interferes with work by masking auditory feedback and inner speech. Applied ergonomics, 7, 79-84.

- Poulton, E., 1977
Continuous intense noise masks auditory feedback and inner speech.
Psychological Bulletin, 84, 977-1001.
- Poulton, E., 1978
A new look at the effects of noise: A rejoinder.
Psychological Bulletin, 85, 1068-1079.
- Sanders, M.S. and McCormick, E.J., 1993
Human factors in engineering and design. McGraw-Hill, New York, 7th
edition.
- Simpson, C. and Williams, D., 1980
*Response time effects of alerting tone and semantic context for synthesized
cockpit warnings.* Human Factors, 22, 319-320.
- Thomas, J, Rosson, M. and Chodorow, M., 1984
Human factors and synthetic speech. Proceedings of the Human Factors
Society, 28th Annual Meeting. Santa Monica, CA: Human Factors Society, pp.
763-767.
- Wiegand, G., 1981
Collegedictaat technische natuurkunde C-11^a, Delft.

18 Bestuurderscabines in voertuigen

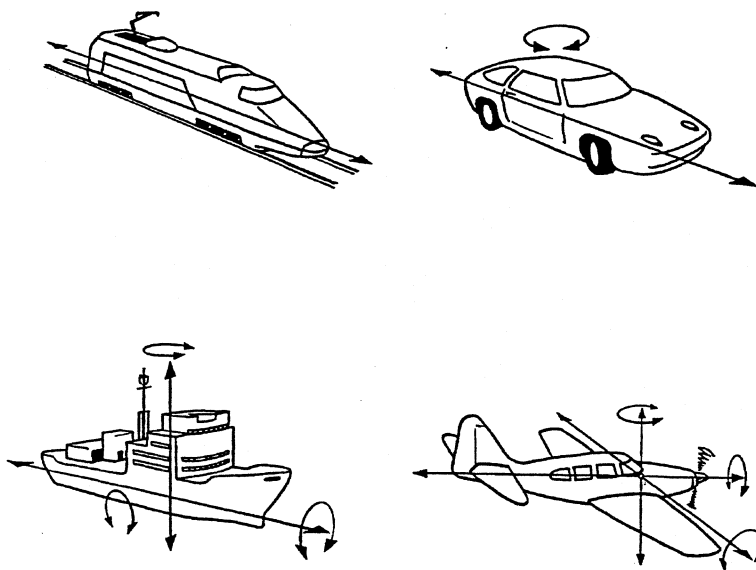
Inleiding

Bestuurderscabines zijn uit ergonomisch gezichtspunt zeer interessante onderwerpen. Veel verschillende aspecten komen hierbij aan de orde:

- De ruimte moet plaats bieden aan grote en aan kleine gebruikers, terwijl bedieningscomponenten voor iedereen op comfortabele wijze te bedienen moeten zijn;
- Het gezichtsveld en de bewegingsruimte van de gebruiker zijn belangrijke aspecten. (De essentiële parameters voor de maten van bijvoorbeeld auto-cabines zijn reeds behandeld in hoofdstuk 5);
- Comfort speelt een grote rol, bijvoorbeeld wat zitten betreft (zie ook hoofdstuk 6);

Verder moet bij het ontwerpen van cabines veel aandacht besteed worden aan:

- De compatibiliteit en codering (zie hoofdstuk 14);
- De cognitieve aspecten zoals het opnemen en verwerken van informatie (hoofdstuk 12);
- Het leren bedienen (hoofdstuk 13).



Figuur 18.1 Bewegingsmogelijkheden (graden van vrijheid) van verschillende voertuigen

In dit hoofdstuk wordt de praktische toepassing beschreven van ergonomische principes bij het vormgeven en (onderling) positioneren van displays en controls in bestuurderscabines van voertuigen.

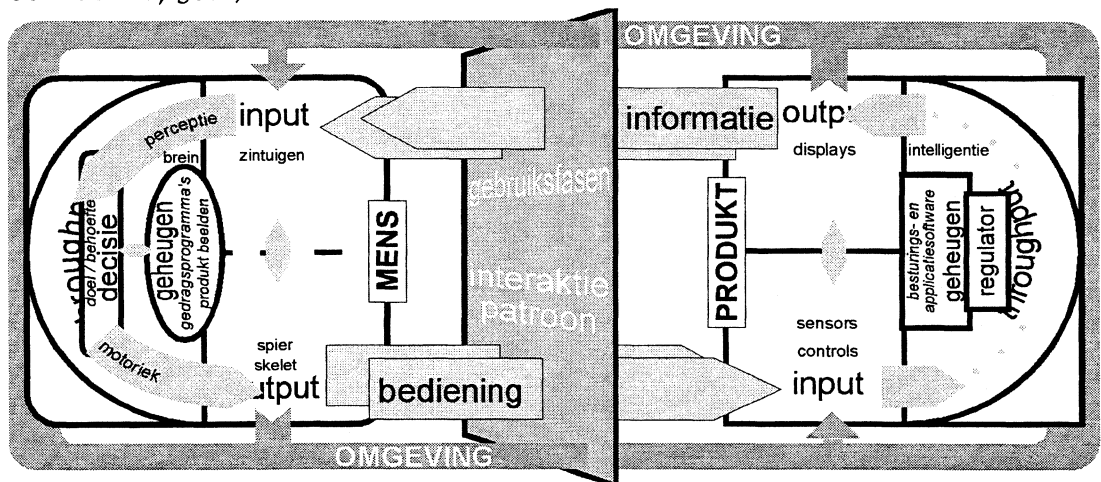
De transportvormen waarnaar hier gekeken wordt zijn de trein, de auto, het schip en het vliegtuig. Deze volgorde is gebaseerd op het aantal vrijheidsgraden van beweging (zie fig. 18.1). De trein heeft een vastgelegde weg af te leggen en kan daarop slechts voor- of achteruit. De autobestuurder kan, binnen één vlak, vrij de richting kiezen. Het schip voegt daar nog een beperkte kanteling om de lengte-as en een draaiing om de dwars-as aan toe. Het vliegtuig heeft de meeste bewegingsmogelijkheden van alle hier

behandelde voertuigen, en mist bovendien het contact met de grond. Natuurlijk heeft een auto, in beperkte mate, ook te maken met verticale bewegingen (door oneffenheden in het wegdek bijvoorbeeld), maar bij het besturen is informatie over deze beweging toch van veel minder belang dan bij bijvoorbeeld vliegtuigen. (In sommige terreinwagens worden overigens wel displays toegepast die de "roll, of kanteling om de lengte-as aangeven, om mogelijk kiepen te voorkomen). Met de bovengenoemde voer- en vaartuigen en de daarbij horende displays wordt een beeld gegeven van de hoofdcategorieën die te onderscheiden zijn en waarvan speciale voertuigen (met hun oneindige diversiteit) weer afgeleiden zijn.

MPI-model

Het besturen van een voertuig is een complex samenspel van handelingen. Sommige handelingen kunnen of moeten gelijktijdig uitgevoerd worden, andere volgen elkaar op.

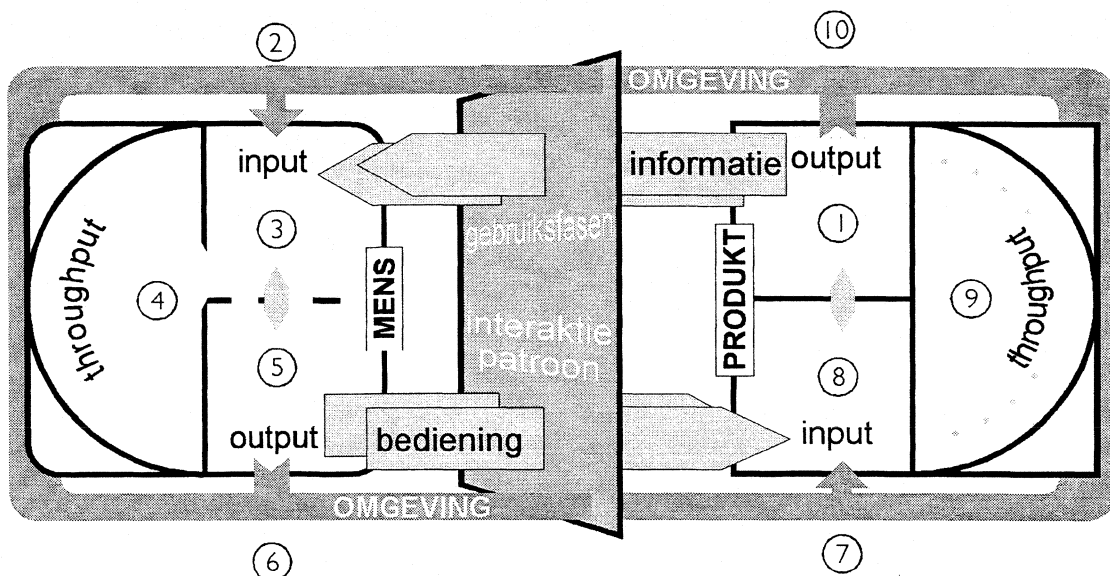
Bij het bestuderen van die interactie tussen de gebruiker en het voertuig kan gebruik gemaakt worden van het MPI-model, zoals dat in figuur 18.2 staat weergegeven (zie ook ide130, §3.4).



Figuur 18.2 MPI-model

Ter illustratie een uitwerking van het rijden in een (personen)auto. In figuur 18.3 staat nog een keer (een vereenvoudigde versie van) het MPI-model. In deze uitwerking is slechts een zeer klein deel van de totale interactie terug te vinden, namelijk het veranderen van de snelheid van de auto. Voor het voorbeeld is er voor gekozen om te beginnen bij de output van het produkt. Dit is niet noodzakelijk het beginpunt van de interactie.

Voor de verschillende voertuigen die in dit hoofdstuk behandeld zullen worden kan een dergelijke analyse gemaakt worden van de mens-produktinteractie. Deze analyse levert informatie over input-outputrelaties, over de interactie met de omgeving en over de taakstructurering.



Figuur 18.3 MPI-model

- | | |
|---|--|
| <p>1</p> <ul style="list-style-type: none"> - weergave van de snelheid (en eventueel toerental) op een display - stand van de versnellingspook - geluid van de motor <p>2</p> <ul style="list-style-type: none"> - informatie over de situatie ter plaatse, zoals voorrangsborden, stoplichten, snelheidslimiet etc. (Dit zijn eigenlijk produkten met elk hun eigen interactie met de gebruiker.) - omgevingsfactoren zoals sneeuw of ijsel: de wielen worden geremd, maar door de gladheid van het wegdek veranderd de snelheid van het voertuig niet (of niet zo sterk als gewenst) - lawaai, warmte, verlichtingssituatie <p>3</p> <ul style="list-style-type: none"> - luisteren naar het geluid van de motor - voelen of kijken in welke stand de versnellingspook staat - aflezen van de snelheid <p>4</p> <ul style="list-style-type: none"> - beslissen of de snelheid aangepast moet worden: afwegen of de huidige snelheid geschikt /gewenst is voor de situatie, rekening houdend met onder andere de voor de reis geplande tijd - beslissen of er geschakeld moet worden: afwegen of het toerental binnen de toelaatbare grenzen ligt | <p>5</p> <ul style="list-style-type: none"> - standverandering van de koppeling, het gaspedaal, de versnellingspook of het rempedaal <p>6</p> <ul style="list-style-type: none"> - informatie voor de omgeving zoals met de hand een gebaar maken voorrang te zullen verlenen <p>7</p> <ul style="list-style-type: none"> - bijvoorbeeld informatie van een 'intelligent vehicle highway system' - toevoer van brandstof bij een pompstation (Dit zijn eigenlijk produkten met elk hun eigen interactie met de gebruiker.) - weersomstandigheden zoals temperatuur en vochtigheid: naast de stand van het gaspedaal is de buitentemperatuur van invloed op de prestatie van de motor <p>8</p> <ul style="list-style-type: none"> - standverandering van de verschillende pedalen en de versnellingspook <p>9</p> <ul style="list-style-type: none"> - schakelen naar een andere versnelling (afhankelijk van de juiste volgorde en timing van de handelingen van de gebruiker) - remmen <p>10</p> <ul style="list-style-type: none"> - uitlaatgassen, warmte, lawaai, signalen aan andere automobilisten zoals richtingaanwijzing |
|---|--|

Menselijke fouten

Bij het functioneren van systemen is een klein gedeelte van de ongelukken te verklaren uit zuiver technische oorzaken, een groot gedeelte komt voort uit 'menselijke fouten'. Een vergelijking tussen de vier behandelde vervoerstypen (figuur 18.4):

Voertuigtype	Ongevallen anders dan door technisch falen
treinverkeer	96%
autoverkeer	95%
scheepvaart	85%
luchtvaart	79%

Figuur 18.4 Percentage ongevallen toegeschreven aan 'menselijke fouten' in vervoerssystemen (Schuffel & Wagenaar, 1984)

De zogenaamde 'menselijke fouten' blijken voor een deel terug te voeren op ontwerpfouten. De ontwerpers hebben in die gevallen onvoldoende rekening gehouden met perceptuele, cognitieve of fysieke beperkingen van de gebruikers, of ze hebben de uit te voeren taken onvoldoende onderzocht.

Een voorbeeld: eind jaren zestig werden de afmetingen van tankers steeds groter (één van de redenen hiervoor was het afsluiten van het Suez-kanaal; voor de langere route om Kaap de Goede Hoop was het financieel aantrekkelijk grotere schepen te gebruiken). De massatraagheid van deze supertankers is dermate groot dat de invloed van een stuurbeweging aan het roer pas na een aantal minuten merkbaar wordt in een koersverandering van het schip. Deze 'dode tijd' tussen bediening en gevolg mag niet groter zijn dan ongeveer drie minuten. Bij een langere tussentijd kan de mens het verband tussen input en output niet meer leggen. Hier worden de grenzen van de menselijke mogelijkheden bereikt. Een hulpmiddel om menselijke fouten als gevolg hiervan te voorkomen is bijvoorbeeld een instrument dat een voorspelling doet over de koers van het schip bij verder ongewijzigde roeruitslag ('predicting display').

18.1 Trein

18.1.1 Taken van de machinist

De primaire taak van een machinist lijkt eenvoudig. De rijweg wordt van buitenaf (door de verkeersleiding) opgelegd dus de machinist heeft zelf geen invloed op de bestemming. De hoofdtak van de machinist is: 'Het veilig, regelmatig en op tijd vervoeren van de door hem bediende treinen.' De belangrijkste taakdelen die hieruit volgen zijn:

- het op gang en tot stilstand brengen van de trein;
- het opvolgen van seinen en andere aanwijzingen langs de baan of in de kabine;
- het op tijd uitvoeren van de dienst;
- het bewaken van de veiligheid van de trein.

In de praktijk blijkt dat de taak van machinisten helemaal niet zo licht is. Vooral de omgevingsfactoren (in het MPI-model van figuur de factoren 2 en 3), zoals lawaai (bv. bij rijden over bruggen), trillen, atmosferische omstandigheden of directe gevolgen daarvan (mist, laagstaande zon, gladde rails) gekoppeld aan de eis dat de dienst op tijd uitgevoerd moet worden, zorgen voor taakverzwaring. Er moet een evenwicht gevonden worden tussen de exploitatie-eisen (op tijd rijden), de veiligheid en de mogelijkheden/beperkingen van de bestuurder (durft hij bijvoorbeeld met 120 km/uur door de mist te rijden en kan hij de seinen dan nog tijdig opmerken).

De ontwerper moet bij het uitkiezen en dimensioneren van de controls en displays in een trein rekening houden met de aanwezigheid van storende omgevingsfactoren als trillingen of duisternis. Natuurlijk moet ook gekeken worden naar bestaande cabines omdat ingesleten patronen maar langzaam veranderen (zie ook hoofdstuk 13). De belangrijkste bedieningsmiddelen als de snelheidsregelaar en de remhendel hebben een fors formaat en de kracht nodig voor de bediening ligt hoger dan voor bedieningsmiddelen die alleen in een statische situatie gebruikt worden. Deze wat stroeve bediening voorkomt onbedoelde activering; een nadeel is dat nauwkeurig bedienen lastig is en flinke oefening vergt (denk aan het soepel afremmen bij stations). Bij de dimensionering is er rekening mee gehouden dat de controls soms met handschoenen aan bediend worden (bijvoorbeeld 's morgens vroeg, in de winter).

De aflezing van de belangrijkste displays moet snel ('in één oogopslag') en eenduidig kunnen gebeuren, zodat de machinist weer snel naar buiten kan kijken. Gezien de soms moeilijke lichtomstandigheden en het trillen van de trein, zijn de displays voorzien van grote markeringen en bijschriften.

Ter ondersteuning van de visuele displays is een aantal auditieve waarschuwingen ingebouwd. Deze zijn meervoudig gecodeerd: er zijn gongslagen (enkel of meervoudig), korte bellen, zoemers en klikkers. De signalen zijn over het algemeen zo gekozen en liggen in zodanige frequentiebanden dat de intensiteit van het signaal minimaal 10 dB(A) boven de motor- en rijgeluiden ligt. Meldingen door middel van (computer-)spraak zijn niet toegepast in de treincabines. Vooral de oudere machinisten zouden hier problemen mee kunnen krijgen in verband met ouderdomsdoofheid (deze treedt voornamelijk op in het spraakgebied van het gehoor) of gedeeltelijke lawaaidoofheid die ontstaan is toen zij op oude typen dieselloks reden.

18.2 Auto

Auto's rijden in een heel andere omgeving dan treinen. De geleiding van buiten is veel minder -de automobilist moet zelf zijn route bepalen-, de omgeving is minder voorspelbaar (gedrag van medeweggebruikers) maar de mogelijkheden om zelf handelend op te treden zijn groter; grotere wendbaarheid, er is een relatief korte remweg en het accelereren kan sneller. Er vindt dus meer interactie plaats tussen de bestuurder en de omgeving.

18.2.1 Taken bestuurder

De hoofdtaken van de automobilist zijn (ingedeeld volgens Rasmussen, zie hoofdstuk 13):

- op het skill based niveau
het bedienen van de auto (schakelen, gas geven, remmen);
- op het rule based niveau
verkeersregels, bekende weg volgen;
- op het knowledge based niveau
handelingen bij onverwachte situaties.

Het bedienen van het auto-mechaniek kan na veelvuldige oefening vrijwel gedachteloos (minder bewust) plaats vinden. De processen zoals gas geven, schakelen enz. zijn als motorische gedragsprogramma's in de hersenen opgeslagen en worden voornamelijk uitgevoerd op grond van auditieve en taktiele signalen (motorgeluid en

voertuigrillingen). Bij het rijden in een andere auto dan men gewend is, moet men weer meer bewust bezig zijn met de bediening (zie hoofdstuk 13).

Het manoeuvreren met de auto is een mengvorm van bewust en minder bewust reageren. Op grond van verwachtingen met betrekking tot het wegprofiel en de omgeving (perifeer waargenomen) en het gedrag van medeweggebruikers (voornamelijk waargenomen door regelmatige scanbewegingen van het oog) wordt het voertuig bijgestuurd. Op het moment dat de verwachtingen niet blijken te kloppen (bijvoorbeeld een auto die uit de 'dode hoek' komt opdoemen) kan het handelen opeens weer zeer bewust uitgevoerd worden.

Het navigeren is een geheel van bewuste handelingen. Voornamelijk het visuele systeem dient hier als input. Van tijd tot tijd moeten beslissingen genomen worden over richtingsveranderingen. Voorbereiding is noodzakelijk (welke richting moet ik globaal uit) en soms is improviseren nodig als blijkt dat de situatie anders is dan verwacht (bv. een onvoorziene éénrichtingsstraat).

18.2.2 Hulpmiddelen voor regel- en manoeuvre taken

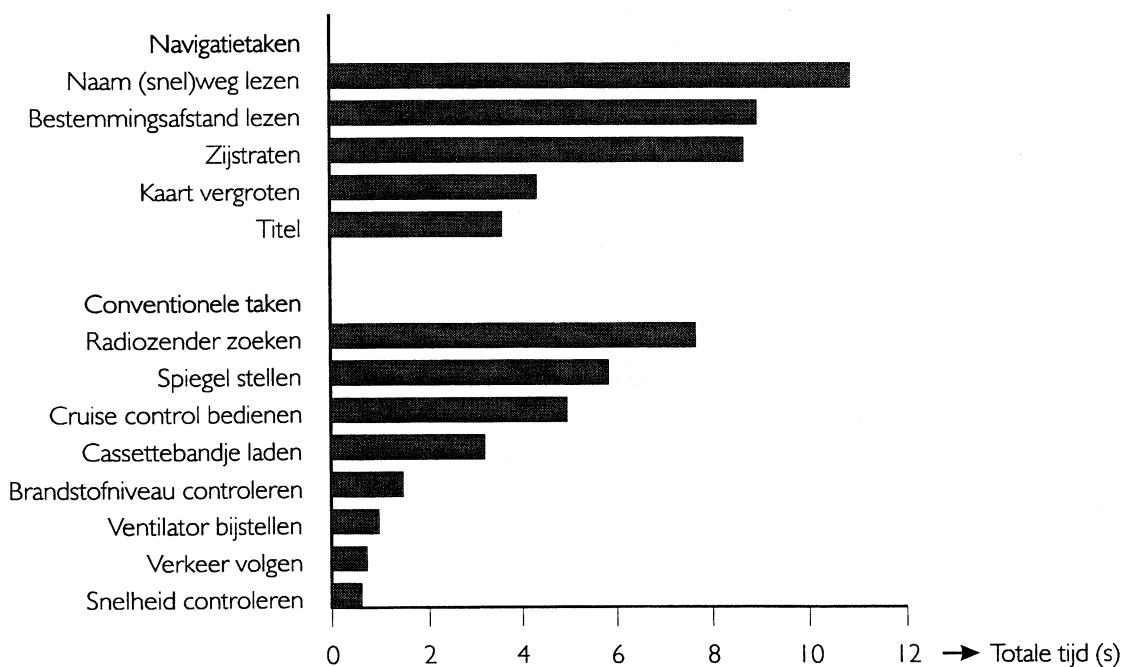
De ultiem geautomatiseerde auto -je geeft aan waar je naar toe wilt, en de auto doet de rest zelf, gestuurd door een Automatic Vehicle Guidance System- zal vooralsnog niet rijden. Toch zijn er voor deelproblemen van het autorijden al geautomatiseerde oplossingen ontwikkeld. Voor het laagste niveau van handelen, het regelniveau, zijn reeds verschillende geautomatiseerde systemen beschikbaar. Voorbeelden hiervan zijn het automatisch schakelen, waardoor het koppelen en schakelen niet meer door de bestuurder uitgevoerd hoeven te worden en cruise control, waardoor de snelheid van het voertuig automatisch constant gehouden wordt. Een ander voorbeeld is het Automatic Brake System (ABS): een sensor controleert tijdens het remmen of de wielen nog draaien; op het moment dat een wiel blokkeert (en de remwerking daardoor plotseling afneemt) wordt de druk in de remleiding even verlaagd en gaat het wiel weer draaiend remmen. In theorie verhoogt dit systeem de veiligheid. In de praktijk blijkt dat auto's uitgerust met ABS vaker dan andere bij ongelukken betrokken zijn (veel ABS-auto's worden van achteren aangereden door auto's die niet zo goed kunnen remmen). Een van de oorzaken is een te groot vertrouwen in het systeem waardoor men roekelozer gaat rijden, een tweede oorzaak is het verschil in remwerking met auto's die niet met ABS zijn uitgevoerd (dit kan natuurlijk ook met de categorie gebruikers te maken hebben).

Gedragbeïnvloeding van de automobilist kan plaatsvinden op het middelste niveau, het manoeuvre niveau. Binnen in de auto zou dit bijvoorbeeld kunnen gebeuren door bij het bereiken van de maximaal toegestane snelheid de druk die nodig is om het gaspedaal verder in te duwen te vergroten. Hierdoor krijgt de bestuurder een directe, tactiele terugkoppeling. Buiten de auto zijn nu al automatisch werkende systemen in gebruik zoals het Motorway Control & Signalling System (MCSS) zoals toegepast op rijksweg 13 (Rijswijk-Rotterdam). Dit systeem geeft op grond van gemeten verkeersintensiteit en verkeerssnelheid aanwijzingen via oplichtende snelheidsborden. Ook hier dreigt weer het gevaar dat de automobilist te veel gaat vertrouwen op de aanwezige systemen en zelf nauwelijks meer oplet.

Op het hoogste niveau, het strategisch niveau valt te denken aan navigatiesystemen die de meest geschikte route bepalen, rekening houdend met verkeersinformatie over files en wegwerkzaamheden. Ook systemen die waarschuwen voor eventuele botsingen, zoals behoren tot deze zogenaamde 'intelligent vehicle highway systems' (IVHS). Een mogelijk probleem dat deze ontwikkelingen met zich meebrengt is het overladen van de gebruiker met informatie. Er is een onderzoek uitgevoerd door Dingus, Antin,

Hulse en Wierwille (Dingus et al, 1988), waarin gekeken is naar de tijd die autorijders besteden aan taken die visuele attentie verlangen. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen navigatietaken bij gebruik van een commercieel verkrijgbaar navigatiehulpmiddel ('moving map system') en andere conventionele taken. In figuur 18.6 staan de resultaten van dit onderzoek. Opvallend aan deze resultaten is dat voor het uitvoeren van sommige taken gedurende 8 tot 11 seconde de ogen niet op de weg gericht zijn.

De conventionele taken die relatief veel tijd in beslag nemen zoals de radio afstemmen en de spiegel stellen zijn in principe incidentele taken. Ze kunnen bovendien gepland worden voor een moment waarop de aandacht voor het verkeer even minder kan zijn en ze zijn reeds aanzienlijk vereenvoudigd door gedeeltelijke automatisering. De navigatietaken die lang duren zullen daarentegen juist in ingewikkelde verkeerssituaties voorkomen, en waarschijnlijk in een voor de gebruiker onbekende omgeving en kunnen daarmee dus extra problematisch zijn.



Figuur 18.6 Gemiddelde tijd besteed aan kijken naar displays en/of bedieningsmiddelen tijdens het autorijden met een 'moving-map systeem' (naar Dingus et al, 1988).

Deze systemen vereisen uitgebreid onderzoek naar de informatiebehoefte van de gebruikers, naar de manier waarop deze informatie aangeboden moet worden en naar hoe de gebruiker deze systemen kan bedienen. Zie bijvoorbeeld hoofdstuk 21 over ergonomisch (gebruiks)onderzoek.

18.2.3 Navigatiehulpmiddelen

Als hulpmiddel op het strategisch niveau, bij het navigeren in de auto, zijn/komen een aantal zogenaamde Route Guidance Systemen (RGS'en) op de markt. Een van de voordelen van dit soort systemen is dat de mentale belasting van de bestuurder in een onbekende omgeving kleiner is, waardoor meer aandacht aan de eigenlijke rijtaak besteed kan worden. Tevens wordt een lichte vermindering (3 à 4 %) voorspeld van de kilometers, omdat mensen niet meer zoekend rond hoeven te rijden. Aan de andere kant zou het aantal kilometers weer kunnen stijgen door een grotere efficiency,

waardoor men bijvoorbeeld meer adressen per dag kan bereiken. Voorbeelden van dit soort systemen zijn het CARIN- systeem van Philips, het Travelpilot-systeem van Blaupunkt en het Aliscout-systeem van Siemens. De werking van al deze systemen verschilt.

Het CARIN-systeem maakt op dit moment gebruik van een in de auto ingebouwd kompas (in de toekomst, naar verwachting, van veel nauwkeuriger satellietnavigatie), omwentelingssensoren op de assen en een Compact Disc waarop alle route-informatie staat. Als de bestuurder heeft ingetoetst wat het gewenste eindpunt van de reis is, geeft het systeem aanwijzingen over de te volgen route. In figuur 18.7 staat een afbeelding van de informatie die een gebruiker zou kunnen zien.



Figuur 18.7 Voorbeeld van het beeld van een route-informatie.

Zoals hier beschreven is het systeem vrijwel gesloten. Hierdoor is het echter ook niet altijd actueel genoeg. Door een koppeling te maken met radio-informatie(interactie tussen de omgeving en het produkt) zal het mogelijk zijn om ook actuele gegevens over het verkeer en de wegen, zoals file- en mistvorming of wegomleidingen, door te geven aan de boordcomputer. De kosten van het CARIN-systeem zijn vooral voor de automobilist, voor het radio-gedeelte moet ook geïnvesteerd worden in het aanpassen van de radiozenders.

Het Aliscout-systeem maakt gebruik van 'walbakens'. Bij de verkeerslichten is een vierde lamp gezet die infrarode (IR) signalen zendt naar een ontvanger in de auto. Met een gemoduleerd IR-signaal zijn boodschappen over te brengen naar de computer in de auto. Op deze manier is zeer gedetailleerde informatie te geven over bijvoorbeeld verstopte straten en omleidingsroutes. In theorie is het mogelijk met dit systeem individuele auto's te volgen. Dit systeem vergt flinke openbare investeringen in de infrastructuur (er is een proef mee gedaan in Berlijn). Ook de RGS'en van de toekomst zullen waarschijnlijk gebruik maken van signalen die opgevangen worden van verschillende navigatiesatellieten. Zodra voldoende satellieten in het luchtruim hangen is het mogelijk om hiermee zeer nauwkeurig de plaats van een auto te bepalen (driehoeksmeting). Behalve het nauwkeurig bepalen van de positie op wegen in een 'plat vlak' (polderlandschap) zal het dan ook mogelijk zijn dit te doen op wegen in de bergen.

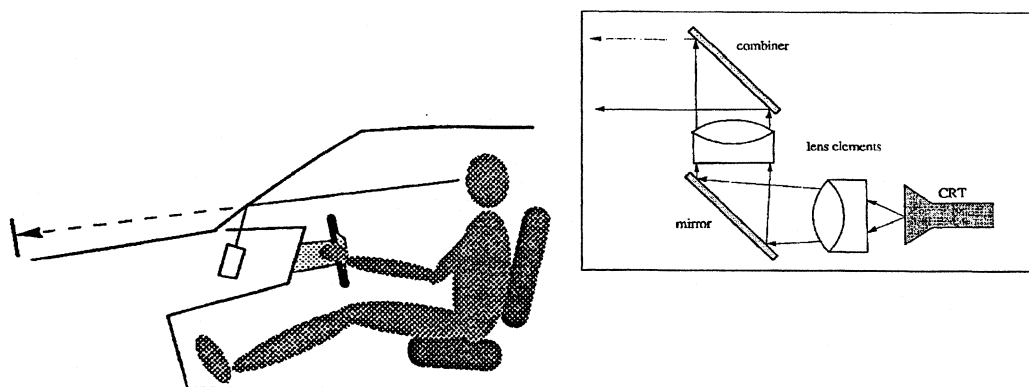
18.2.4 Weergave informatie

Een probleem bij alle systemen is op welke manier de informatie van het systeem wordt doorgegeven aan de bestuurder. De verschillende mogelijkheden zijn visuele displays (kaarten met een cursor, pijlen die de gewenste richting aangeven) of auditieve displays (gesproken mededelingen met richting-aanwijzingen, gecodeerde geluiden), of een combinatie van beide. Tactiele displays komen niet in aanmerking in verband met de complexiteit van de boodschappen.

Het Instituut voor Zintuig Fysiologie (TNO-IZF) heeft, in een geïnstrumenteerde auto, onderzoek gedaan naar de gewenste aanbiedingsvorm van de informatie. Hiertoe werden drie manieren van informatiepresentatie met elkaar vergeleken. In de visuele conditie werden eenvoudige pijlen getoond op een schermje op het dashboard. Bij het verschijnen van een nieuwe richtingaanwijzing werd de aandacht getrokken met een zoemertje. Bij de auditieve conditie werden met behulp van een gedigitaliseerde stem tijdig commando's als 'GA LINKS', 'TWEDE WEG RECHTS' gegeven. De derde conditie was het navigeren met behulp van een gewone, papieren plattegrond. Alle condities werden beproefd op verschillende trajecten en op verschillende momenten (verschil in verkeersintensiteit en omstandigheden).

Uit de resultaten bleken duidelijke verschillen tussen het conventionele kaartlezen en de twee RGS- condities. Voor het raadplegen van de plattegrond waren relatief vaker lange stops nodig en er werden meer fouten gemaakt. Tussen visuele en auditieve aanbieding van route- informatie waren slechts kleine verschillen. Proefpersonen in de visuele conditie maakten iets meer fouten in het kiezen van de route. De versnellingen (optrekken en remmen) van de auto bleken het grootst bij het gebruik van de plattegrond en waren veel minder bij de andere twee condities; de auditieve conditie leverde het meest gelijkmatige rijgedrag op.

De conclusies uit deze experimenten zijn dat RGS'en de verkeersveiligheid kunnen bevorderen aangezien zij de mentale belasting van een automobilist in een onbekende omgeving verlagen, en bovendien zorgen voor een meer homogene verkeersstroom. Voor het aanbieden van deze informatie lijkt een 'head-up' display (HUD) zeer geschikt te zijn. Bij displays op het dashboard van een auto moet de gebruiker telkens het hoofd (en dus de aandacht) van het verkeer afwenden om de informatie te kunnen opnemen. De kracht van een HUD zit in het feit dat de bestuurder de blik op de weg gericht kan houden en met een geringe oogbeweging de informatie op het HUD kan lezen, zonder te moeten accommoderen. Met name voor oudere bestuurders biedt dit voordelen in verband met de verminderde snelheid van oogbewegingen en het geringere accommodatiebereik. In figuur 18.8 is de basisopstelling van een HUD gegeven.



Figuur 18.8 Basisopstelling van een head-up display (Weishut, 1991).

Het beeld dat de bestuurder ziet is een projectie van het beeld van een CRT. Die projectie (een virtueel beeld) wordt als het ware gesuperponeerd op het verkeersbeeld. Er is een aantal criteria waaraan een HUD moet voldoen. Hier worden alleen de belangrijkste genoemd:

- 1 Voor optimale zichtbaarheid van de projectie dient deze juist boven de motorkap gepositioneerd te worden, op een waarnemingsafstand van ongeveer twee meter voor de voorruit.
- 2 Het aantal kleuren dat gebruikt wordt mag niet te groot zijn. Bij voorkeur moet gebruik gemaakt worden van golflengten waarvoor het oog bij daglicht het meest gevoelig is.
- 3 De luminantieverhouding tussen het HUD en het verkeersbeeld dient bij daglicht minimaal 1,2 te zijn omdat anders het beeld van het HUD niet voldoende zichtbaar is. Rijdt de gebruiker echter een tunnel in, dan moet hij niet verblind worden door het HUD. Een snelle, automatische aanpassing van de helderheid is daarom een voorwaarde.
- 4 De grootte van de zogenaamde uittreepupil, in feite een "3D-eye box" dient minimaal 10 cm x 10 cm x 10 cm te zijn. Deze box is de ruimte waarbinnen het oog van de waarnemer moet worden gebracht en zich moet blijven bevinden om het beeld te kunnen zien. Dat kan bereikt worden door de bestuurdersstoel verstelbaar te maken, door de afstelling van het HUD te wijzigen of door een combinatie van beide.
- 5 De betekenis van de route-informatie moet direct duidelijk zijn; simpele grafische voorstellingen verdienen de voorkeur.

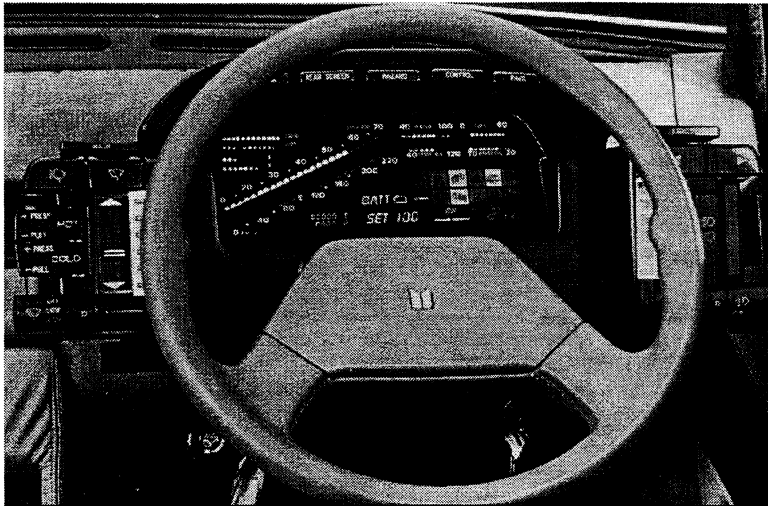
Er zijn simulatorexperimenten uitgevoerd waarbij gebruikers route-informatie aangeboden werd met behulp van een HUD of met een 'flat panel display' (FPD)(Weishut, 1991). Hieruit blijkt dat er een sterke voorkeur bestaat voor HUD's. De reactietijden en prestaties van de proefpersonen waren beter dan bij FPD's. Naast het weergeven van route-informatie is het systeem ook geschikt voor het weergeven van de traditionele dashboardinformatie.

18.2.5 Autodisplays

De informatie uit de omgeving van een autobestuurder kan op verschillende manieren opgenomen worden (zie figuur 18.3). Traditioneel gebeurde dit vooral direct, extern en visueel (naar buiten kijken). Andere belangrijke informatie komt auditief en tactiel tot de bestuurder (intern: motortoerental, stuur krachten; extern: claxonneren, toestand van de weg) of vestibulair (versnellingskrachten bij remmen of in bochten). De bestuurder krijgt steeds meer informatie aangeboden. Hiervoor worden voornamelijk visuele displays gebruikt (zie figuur 18.9).

Primaire informatie

De enige informatie die voortdurend ter beschikking moet zijn voor de autobestuurder is de, steeds wisselende, snelheid; in de huidige auto's worden abnormale situaties met betrekking tot de *toestand*, zoals weinig brandstof of een te hoog oplopende temperatuur van de auto doorgaans tijdig en opvallend aangekondigd. De snelheidsmeter dient derhalve een prominente plaats in te nemen op het dashboard en eenvoudig en eenduidig afgelezen te kunnen worden. De meter moet voor kwalitatief en kwantitatief gebruik geschikt zijn. Een grote ronde of halfronde schaal met bewegende wijzer is zeer geschikt. De plaatsing van de meter is het best als deze vlak bij het kijkgebied naar buiten ligt in het comfortabele blikveld. Van belang is dat het



Figuur 18.9 Toenemende hoeveelheid informatie op een dashboard.

stuur de meter niet kan afdekken. Vanwege het frequente gebruik is het aantrekkelijk ook deze informatie te presenteren in een head-up display. Veelal gebeurt één en ander evenwel nog in een separate dashboarddisplay en komen er ook veel andere uitvoeringen voor, zoals horizontale of verticale rechte schalen. Een zeer slechte display was de kijklupe met daarachter een bewegende schaal zoals eertijds toegepast door Citroën. Het kleine gedeelte van de schaal dat zichtbaar is maakt kwalitatief aflezen erg moeilijk, en de loupe vertekent het beeld zeer ernstig vooral als men er niet recht voor zit. Ook heeft men last van een beperkte uittreepupil (vergelijk de 'eye-box' van de head-up displays).

Met het intreden van de elektronica zijn nieuwe vormen van snelheidsmeters eenvoudig mogelijk geworden.

Sommige hiervan zijn eveneens ergonomisch slecht te noemen. Vaak wordt geprobeerd door een combinatie van digitale uitlezing (exacte snelheid) en een grafiek (trendverloop) de informatie over te brengen. Het verwerken van deze twee soorten informatie belast echter de bestuurder meer dan de aflezing van de eerder genoemde (half-)ronde klokken.

Secundaire informatie

De hoeveelheid secundaire informatie over de technische toestand van de auto is de laatste jaren erg toegenomen. Veel subsystemen zijn in auto's aangebracht. Vroeger kwam de informatie apart, via een mechanische of elektrische verbinding, van elk meetpunt. Door het toepassen van elektrische bussen, waarop alle subsystemen aangesloten zijn, en computers die de signalen van de elektronische sensoren integreren is het mogelijk geïntegreerde en geïnterpreteerde informatie aan te bieden over bijvoorbeeld noodzakelijk onderhoud. In sommige auto's wordt belangrijke informatie (bv. oliedruk valt weg) behalve visueel ook auditief aangeboden door middel van kunstmatige spraak (Renault).

Voor het plaatsen van de secundaire informatiepanelen zijn in principe twee oplossingen mogelijk:

- 1 Alle informatie presenteren in één min of meer centraal gelegen display; dit display is dan zelf ingedeeld volgens de principes van urgentie en frequentie; om de bestuurder niet onnodig te belasten heeft het 'display by exception'-principe

- de voorkeur (alleen melden van datgene waar een afwijking optreedt, zie ook hoofdstuk 12);
- 2 Centraal slechts enkele waarschuwinglampen plaatsen (één voor waarschuwing en één voor alarmering) en een perifeer gelegen overzichtspaneel; op dit overzichtspaneel kunnen lampjes continu blijven branden zolang de storing duurt zonder de aandacht van de bestuurder te zeer af te leiden.

18.2.6 Technische uitvoering

Door de gemiddeld zeer grote series die van automobielen gemaakt worden is het financieel haalbaar speciaal ontworpen displays toe te passen. Niet steeds zijn ergonomische aspecten het uitgangspunt bij het display-design. Vaak zijn commerciële en modeaspecten grondslag voor de ontwerpen.

De huidige automobioldisplays zijn veelal electro-optische displays, terwijl vroeger alleen (electro-)mechanische displays werden toegepast. Voordelen van de electro-optische displays zijn onder andere het lage gewicht, het kleine volume, de eenvoud van montage en de lage kostprijs van de moderne displays. Door de computertechniek is het nu ook mogelijk informatie van verschillende bronnen met elkaar te integreren. Op grond van mechanische en (kostprijs)technische overwegingen zijn van de elektronische displays vooral de LED's, de LCD's en de EL-panelen bruikbaar voor montage in auto's. Bij veel modellen ziet men deze technieken al (gedeeltelijk) toegepast, vooral nog in de dashboards en consoles, maar soms ook als head-up display.

18.3 Schip

Ontwikkelingen in de scheepvaart

De scheepvaart is een branche met een zeer lange historie en dus met veel tradities. Door technische ontwikkelingen en economische factoren, waaronder grote onderlinge concurrentie neemt het aantal mensen dat ingezet wordt om een schip te laten varen voortdurend af. Een gevolg hiervan is dat het beroep zeeman veel zwaarder (kennis van het hele scheepsgebeuren) en eenzamer is dan vroeger op grote schepen (het aantal bemanningsleden is geminimaliseerd). Bovendien zijn de taken verschoven van puur fysieke handelingen (o.a. het hijsen van de zeilen) naar passieve bewakingstaken (scannen van instrumenten). Deze paragraaf behandelt alleen de grote zeescheepvaart en niet de binnenvaart. Dit omdat er een keus gemaakt moest worden en het besturen van binnenschepen vanuit ergonomisch inzicht wat minder interessant is omdat deze schepen vrij snel kunnen reageren en de aanwijsinstrumenten hier een kleinere rol spelen in verband met de vaak zichtbare wal.

Veel van de veiligheidsmaatregelen die nu gelden voor de grote zeescheepvaart zijn opgesteld na scheepsrampen. Zo is de constructie van supertankers verbeterd na de stranding van de Torrey Canyon ('67) en de Amoco Cadiz ('78) (beschreven in Casey). De meeste maatregelen zijn echter hoofdzakelijk technisch of procedureel van aard. Wat blijft zijn de 'menselijke fouten'. De top vijf van oorzaken van het menselijk falen bij ongevallen op zee is als volgt (Schuffel, 1980):

1. onoplettendheid;
2. dubbelzinnige relatie gezagvoerder-loods;
3. slecht brugontwerp;
4. nog steeds ontoereikende procedures;
5. zwakke lichamelijke/geestelijke conditie van de wachtman (alcoholgebruik).

Uit deze resultaten moge duidelijk zijn dat het onder meer van groot belang is de brug zo uit te voeren dat noch een prikkelarme omgeving ontstaat, noch een brug met een overvloed aan prikkels. In de situatie op volle zee is het gevaar voor een prikkelarme toestand het grootst; de wachtsman heeft dan een vigilantietaak waar slechts nu en dan actie vereist is.

18.3.1 Taken wachtsman

Was vroeger op schepen een duidelijke arbeidsverdeling aanwezig (de roerganger bediende het roer, de marconist verzorgde de morseverbindingen, de scheepsmachinist bediende de scheepsmotoren) tegenwoordig is de persoon die een schip bedient een all-round vakman die tot op zekere hoogte al deze taken uitvoert. De volgende soorten taken zijn aanwezig (ingedeeld volgens Rasmussen):

- skill based taken
het bedienen van de apparatuur op het schip en het bewaken van de toestand van het schip;
- rule based taken
het op koers houden van het schip zodat het schip veilig en op tijd de haven van bestemming bereikt;
- knowledge based taken
het uitzoeken van de gunstigste vaarweg rekening houdend met natuurlijke omgevingsfactoren (het weer, stroming) en vastliggende regels en procedures (vaargeulen, verboden vaargebieden e.d.).

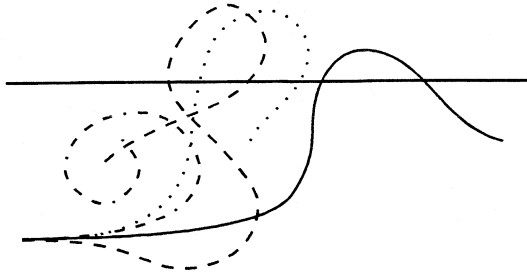
De machinekamer van tegenwoordig is niet meer continu bemand. De grote betrouwbaarheid van de huidige scheepsdiesels maakt het niet meer nodig dat er voortdurend iemand ter plekke is. Vaak wordt nog wel regelmatig de ronde gedaan om tijdig eventuele mankementen te kunnen ontdekken of om klein onderhoud uit te voeren (zoals smeren). De bediening van de motoren gebeurt op afstand, vanaf de brug. Naast de zorg voor het goed werken van de apparatuur zijn twee belangrijke regeltaken het verzorgen van de communicatie (in- en extern) en het bewaken van de veiligheid van het schip.

Het kleine aantal mensen dat nu aan boord van een schip werkt moet een goed overzicht hebben over de situatie. In het geval van calamiteiten is het van groot belang dat ieder weet wat er gebeurt. Hiervoor is een betrouwbaar intern communicatiesysteem onontbeerlijk. De bediening van dit systeem moet eenvoudig zijn zodat ook in stress-situaties de communicatie snel tot stand kan komen. De mogelijkheden voor externe communicatie worden steeds beter. Waren in het begin van het radiotijdperk nog slechts berichten in morsecode over te brengen, inmiddels is het mogelijk via satellieten gewone twee-weg spraakverbindingen te onderhouden. Voor de veiligheid van schip en bemanning zijn verschillende systemen aan boord. Variërend van automatische brandblusinstallaties, detektiesystemen voor gasontwikkeling, tot automatisch sluitende deuren om waterdichte compartimenten te vormen. Voor al deze systemen moet op de brug bewakings- en bedieningsapparatuur aanwezig zijn. Ook de bediening van de laad- en losapparatuur is tegenwoordig meestal op de brug geplaatst.

Het besturen van een schip is meestal een complexe stuurtaak. Om een schip van koers te doen veranderen wordt een roeruitslag gegeven. Deze roeruitslag geeft het schip een hoekversnelling. Om de versnelling en de draaisnelheid weer ongedaan te maken is een roeruitslag in de tegenovergestelde richting nodig. Een dergelijk systeem is moeilijk te beheersen. Een illustratie daarvan is te zien in figuur 18.10. De opdracht

die enkele onervaren stuurlieden moesten uitvoeren was met een groot schip, naar de lijn toevaren en vervolgens langs die lijn blijven varen.

De stuurtaak wordt bemoeilijkt door externe factoren als stroming en wind en de zogenaamde time-lag: de looptijd tussen het moment van ingreep en het moment van de reactie van het schip. Zo wordt een roerhoekverandering van 10° van een 250.000 ton metend schip pas na 10 seconden waargenomen in de koers. Dan pas heeft het schip een draaisnelheid van één boogminuut per seconde, wat de drempelwaarde voor waarneming is bij een stilstaande achtergrond.



Figuur 18.10 Resultaten van een stuurtaak met een groot schip door onervaren stuurlieden (Willems, 1979).

De koersvoorspellende display ("predicting display"), als remedie tegen dit probleem, werd reeds in het begin van dit hoofdstuk genoemd.

Een andere mogelijkheid is het toepassen van ondersteunende, sterk geautomatiseerde systemen zoals de adaptieve stuurautomaat die op grond van kompasinformatie en de signalen van interne bewegingsopnemers (giroscofen) of externe navigatiehulpmiddelen (radiozenders of satellieten) de koers van het schip in de gaten houdt. Aangevuld met het gebruik van geavanceerde radarapparatuur die waarschuwt als een willekeurig voorwerp binnen zijn bereik komt (Automatic Radar Plotting Aid) is dan een vrijwel onbemand systeem ontstaan dat het schip over zee stuurt.

Doelidentificatie is tot nog toe niet goed mogelijk met behulp van de computer en zal derhalve voorlopig door de mens moeten gebeuren.

Het bepalen van de ideale route voor het schip is vooralsnog een terrein waarop de mens niet gemist kan worden. De computer kan hier wel goed gebruikt worden als rekenhulpmiddel dat verschillende route-varianten kan doorrekenen voor bijvoorbeeld brandstofgebruik of vaartijd. De beslissing zal echter steeds genomen worden door de kapitein van het schip.

18.3.2 De brug

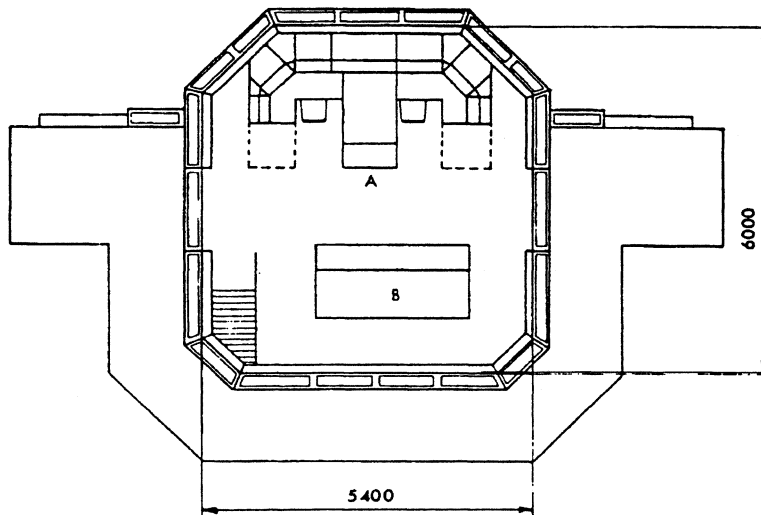
Konventionele bruggen

Bij de zeilvaart gebeurde het besturen van de schepen op het achterdek in de vrije buitenlucht. Na enige tijd ontstond op de stoomschepen het basismodel van de brug zoals dat nu nog steeds gebruikelijk is: een gesloten stuurhuis met (open) vleugels naar de zijkant van het schip (figuur 18.11). Naarmate de schepen groter werden namen ook de afmetingen van de stuurhuizen toe. Gevolg hiervan was dat alle apparatuur naast elkaar werd neergezet. Op deze manier ontstonden bruggen met verschillende werkplekken naast elkaar. De eerder beschreven vooruitgang in de technische mogelijkheden en de vermindering van het aantal bemanningsleden deed de roep ontstaan naar meer geïntegreerde oplossingen (in de paragraaf Brug '90 wordt hiervan een voorbeeld behandeld).

Bouwkundige voorzieningen

In 1977 is in het Verenigd Koninkrijk de 'Bridge design code' opgesteld. Deze geeft naast eisen aan controls en displays richtlijnen voor o.a. de bouwkundige voorzieningen van de brug.

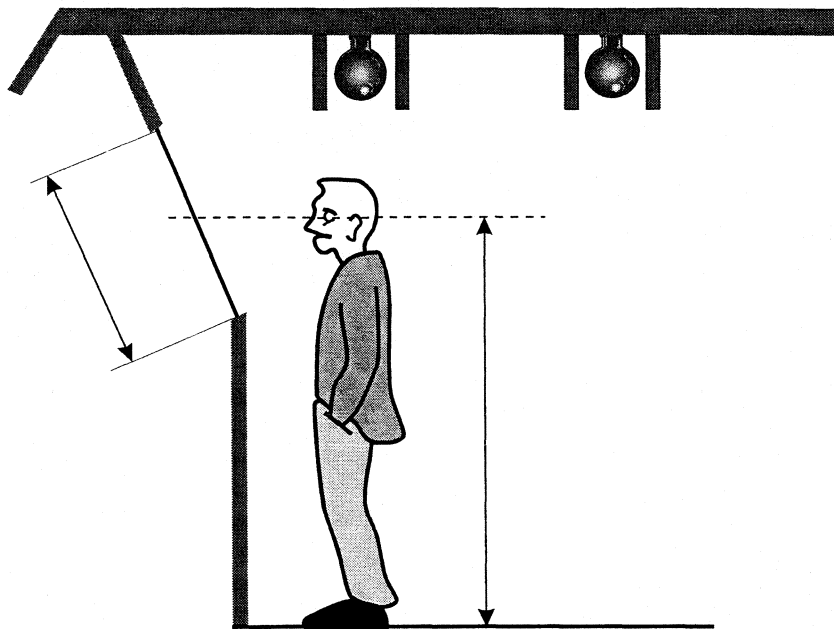
Het uitzicht vanaf de brug moet over de volle 360° mogelijk zijn. Ook moet men, vanaf de brugvleugels, de zijkant van het schip kunnen zien. Obstakels in het gezichtsveld (schoorstenen, raamstijlen, losse lading) die meer dan 10° beeldhoek innemen dienen vermeden te worden. De ruiten van het stuurhuis dienen minimaal 0,8 x 0,8 m² groot te zijn en ze dienen zo geplaatst te zijn dat het midden op de gemiddelde ooghoogte zit. Van groot belang zijn verder nog een goede ontwaseming en een was-/wisinstallatie aan de buitenzijde (of zogenaamde centrifugaal ruiten, sneldraaiende ronde ruiten waar de druppels vanaf geslingerd worden). Door de ruiten schuin naar buiten te stellen (zie figuur 18.12) heeft de wachtsman 's nachts geen hinder van reflecties van buiten. De verlichting binnen moet zodanig afgeschermd worden dat ook hier geen last van reflecties optreedt. Voor het behoud van het nachtzien wordt rossig licht toegepast (ook bij de kaartentafel) binnen de stuurhut en op de brugvleugels en het toilet bij de brug.



Figuur 18.11 Plattegrond van Brug '90 (van Breda & van de Kooy, 1985).

Trillingen van buiten de brug (golflslag, motortrillingen) moeten zoveel mogelijk gedempt worden zodat een stabiel werkplatform ontstaat. Anderzijds mogen deze trillingen niet zoveel gedempt worden dat de wacht mensen de voeling met het schip verliezen.

Geluidstrillingen dienen ook afdoende geïsoleerd te worden. Vooral bij schepen waarbij de schoorsteen is vastgebouwd aan het stuurhuis is dit zeer belangrijk.



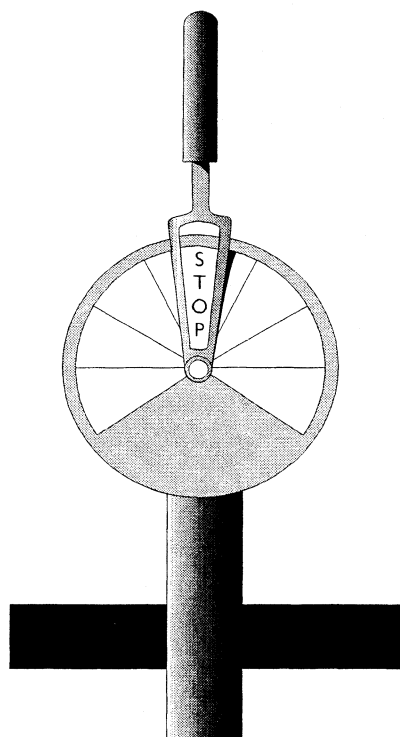
Figuur 18.12 Plaatsing van ramen en verlichtingsarmaturen in de stuurhut.

18.3.3 Brug-indeling

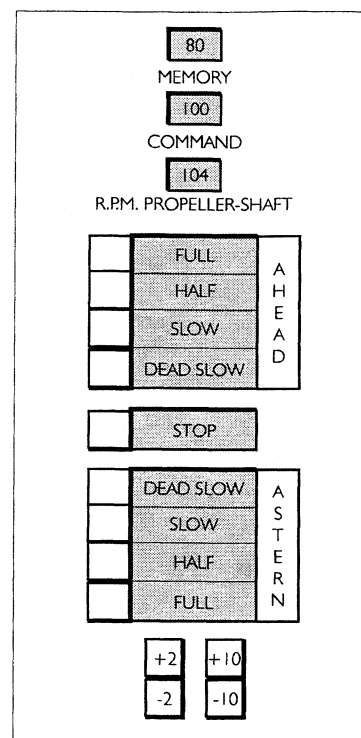
De primaire besturings- en navigatieapparatuur is centraal op de brug opgesteld, met vlakbij de communicatiemiddelen. Problematisch is de eis dat de bediening zowel door één man (bij rustig weer op open zee) als door meer dan vijf personen (bij calamiteiten) comfortabel moet kunnen gebeuren; dit leidt altijd tot compromissen. De secundaire apparatuur, zoals de laad- en losapparatuur is in de periferie van de brug opgesteld. De kaartentafel staat of achter de wachtsman opgesteld of naast hem. Tussen de (schuif-)deuren naar de brugvleugels moet een recht looppad liggen dat niet door personen of voorwerpen belemmerd wordt. Op de brug moeten bovendien een rustplek en een toilet aanwezig zijn, evenals een voorziening voor warme en koude dranken.

Brug instrumentatie

De bedieningsmiddelen en afleesinstrumenten op scheepsbruggen zijn over het algemeen fors gedimensioneerd. Enerzijds is dit gedaan vanwege de soms zeer beweeglijke toestand waarin zij bediend en afgelezen moeten worden, anderzijds omdat aan ruimte geen gebrek is. De mechanische telegraaf (figuur 18.13) is een goed voorbeeld van een gecombineerd bedieningsmiddel/afleesinstrument. Aan de stand van de hendel is op afstand de motortoestand te zien. Op de moderne digitale telegrafen (figuur 18.14) is de aflezing minder goed mogelijk, alhoewel er nog altijd terugkoppeling is door brandende signaal lampen. De invoering van de digitale telegraaf is eerder gebaseerd op technische overwegingen dan op ergonomische. Met de drukknoptelegraaf wordt de voortstuwing van het schip bepaald. Door het indrukken van een knop wordt een vast vaartcommando gegeven. De ingedrukte knop licht op.



Figuur 18.13 Mechanische telegraaf.



Figuur 18.14 Digitale drukknoptelegraaf.

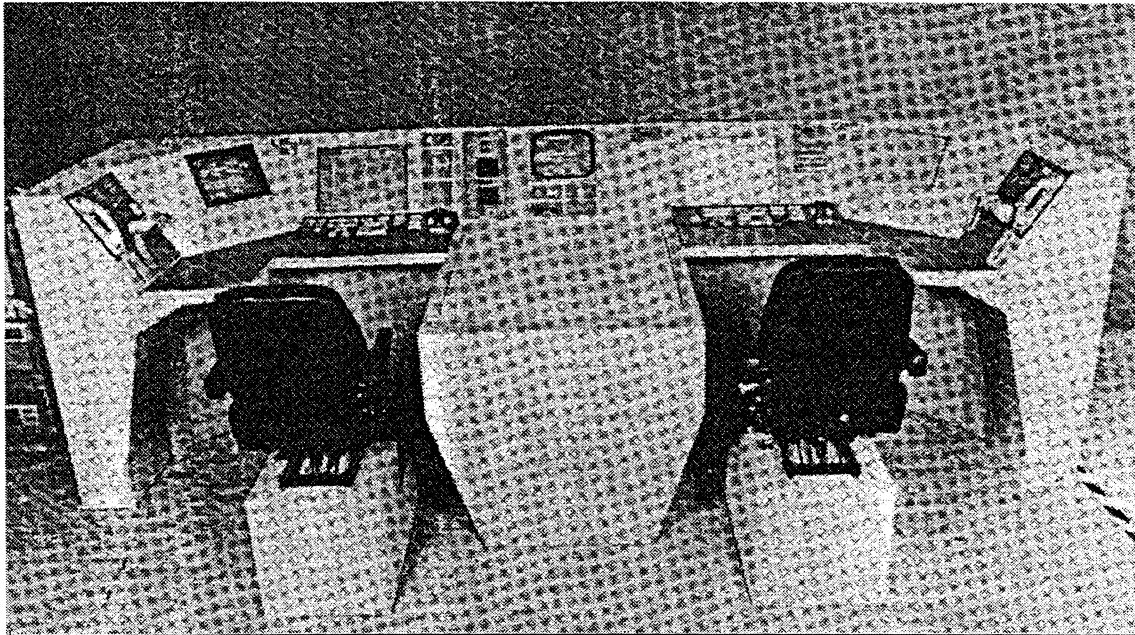
Op het display COMMAND staat het gewenste toerental van de schroefas weergegeven. Van te voren kan een vaargeheugen worden ingesteld met de onderste twee knoppen. Het toerental verschijnt op het display MEMORY. Door nu commando HALF te geven zal het gewenste toerental (COMMAND) de waarde van MEMORY aannemen. In het display met daaronder R.P.M. PROPELLER SHAFT staat het actuele toerental van de schroefas.

Scheepskompassen zijn zo opgesteld dat ze, voor een waarnemer kijkend in de lengte-as van het schip altijd de koers aanwijzen die het schip vaart. Dit is een zogenaamde 'inside-out' aanwijzing; er wordt uitgegaan van het schip als middelpunt van de omgeving, de omgeving draait als het ware om het schip heen. Dit soort aanwijzingen is vooral geschikt in de uitvoeringsfase van een plan, omdat het beeld dat waargenomen wordt door het raam een overeenkomstig beeld geeft als het aflezen van het kompas en de vergelijking met een radar-beeld. In de planningsfase van een reis, wanneer men de grote lijnen moet uitzetten, is het uitgaan van een 'outside-in' representatie meer geschikt. De meeste kaarten hebben een vaste oriëntatie (noord boven). Bij het uitzetten van een reis neemt men de omgeving als vaststaand aan en wordt het schip als bewegend element gezien (Schuffel, '84). Bij het beschrijven van vliegtuiginstrumenten komt deze tegenstelling nogmaals ter sprake.

Brug '90

Het Brug '90-concept is het resultaat van een studie verricht in opdracht van Nederlandse reders (Schuffel, '84; v. Breda & v.d. Kooy, '85). Als resultaat van een uitvoerige taakanalyse is een brug ontworpen die in principe door één persoon wordt bediend en bewaakt (figuur 18.15). De bedieningspositie is voorin de brug geplaatst zodat er vrij uitzicht is over de omgeving en hij is dubbel uitgevoerd zodat

tegelijktijd bijvoorbeeld de wachtsman en een loods kunnen zitten (figuur 18.16). Een gedeelte van de taken zal automatisch worden uitgevoerd, een ander deel door de mens. Deze waakt over de werking van de automaten en controleert de werking door eigen observaties (naar buiten kijken of het beeld klopt). Alle apparatuur is binnen handbereik rondom de zitplaats gepositioneerd (figuur 18.15).

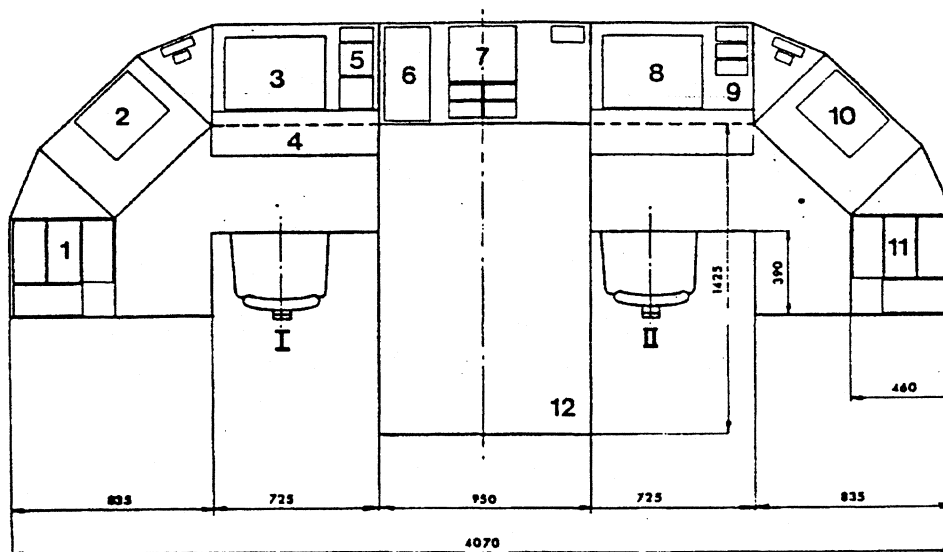


Figuur 18.15 Brug '90 mock up (van Breda & van de Kooy, 1985)

Centraal staat op deze werkplaats een beeldbuis voor navigatie- en manoeuvre-informatie (radarscherm) met daarnaast de bedieningsmiddelen voor het met de hand uitvoeren van enkele functies. In het hoekpaneel is een scherm geplaatst waarop de toestand in de machinekamer afgelezen kan worden en zijdelings naast de bediener is het communicatiegedeelte geplaatst. Middenin de brug staat een semi-automatische kaartentafel. Hierbij geeft een bewegend verlicht scheepje dat van onderaf op de kaart wordt geprojecteerd de positie van het schip aan. Het gecombineerde navigatie- en manoeuvredisplay biedt geïntegreerde informatie aan. Een video-radarbeeld geeft de omgeving weer met daarop de positie van het schip, eventuele andere objecten in de omgeving en snelheidsvectoren van stroming en wind. Ook informatie over de snelheid van het schip, het motortoerental en de uitslag van het stuurwiel en het roer is aangegeven. Uit al deze gegevens berekent de boordcomputer de toekomstige koers van het eigen schip en andere schepen in de buurt en laat deze ook op het scherm zien. De wachtsman kan zo controleren of hij al dan niet op een aanvaringskoers ligt.

Onderzoek in een scheepssimulator heeft aangetoond dat de nauwkeurigheid van de navigatie op de Brug '90 met één-mans-bediening significant hoger ligt dan bij conventionele bruggen. De mentale belasting is bij de Brug '90 lager dan een door één man bediende conventionele brug (Boer & Schuffel, 1985). Gezien de relatief geringe snelheden van schepen en de ruimte die er doorgaans nog steeds op zee aanwezig is, ligt de toepassing (ook op termijn) van bijvoorbeeld geavanceerde head-up displays ook in de éénmans, cockpit-achtige bedieningssituaties

niet direct voor de hand.



Figuur 18.16 Indeling van de werkplek op de Brug '90 (van Breda & van de Kooy, 1985).

I = hoofdpositie (wachtsman, gezagvoerder)
 II = back-up positie (loods, stuurman)

1 = communicatiepaneel
 2 = machinekamerdisplay
 3 = navigatie- en manoeuvredisplay
 4 = toetsenbord
 5 = koersautomaat
 6 = telegraaf

7 = statusdisplay
 8 = back-up van 3
 9 = back-up stuursysteem
 10 = back-up van 2
 11 = communicatiepaneel
 12 = semi-automatische kaartentafel

18.4 Vliegtuig

Vliegen is een duidelijk doelgerichte activiteit. Iedere vlucht heeft een begin- en einddoel en om de vlucht succesvol uit te voeren moet er tussen start en landing een aantal subdoelen gesteld en gerealiseerd worden. Daarom moet het vliegtuig onder meer voorzien zijn van display-systemen die de bemanning in staat stellen om:

- deze subdoelen vast te stellen;
- deze subdoelen op een veilige en voldoende nauwkeurige manier te realiseren.

Tijdens de vlucht moeten er onder meer subdoelen gesteld zijn voor:

- de vlieghoogte;
- de vliegrichting;
- de vliegtijd of -afstand;
- het mechanisch functioneren van het toestel (brandstofverbruik, temperatuur, vleugelkleppen, roeren, landingsgestel, stuwdruk enz.).

De display-systemen aan boord moeten de bemanning de juiste informatie geven; logisch gegroepeerd en goed gedimensioneerd en gecodeerd voor eenvoudige interpretatie, met minimale kans op afleesfouten en zodanig effectief gecodeerd dat een gemakkelijke en nauwkeurige besturing van het toestel mogelijk wordt.

Door het uitvoeren van een systeemanalyse en van experimenten in de praktijk en met simulators kan vastgesteld worden:

- welke informatie nodig is;
- welke principes voor het coderen van informatie en voor het dimensioneren van displays nodig zijn voor gemakkelijke interpretatie en effectieve besturing;
- welke regels er gelden voor het groeperen van verwante informatie in zogenaamde 'integrated displays' (dat zijn displays waarbij verwante informatie aangeboden wordt binnen een gemeenschappelijk referentiekader, zodanig dat de relaties tussen de gegevens direct waarneembaar zijn; dus beslist niet het 'haphazard' combineren van niet verwante informatie in een gemeenschappelijk display).

Aangezien de informatiebehoefte vrij nauwkeurig vast staat zijn de meeste kansen voor verbetering van de instrumentatie gelegen in de wijze van aanbieden, de dimensionering en de codering en de groepering in 'integrated displays'.

In verband met de veiligheid in de lucht zijn door de International Civil Aviation Organization minimum regels opgesteld: de zichtvliegvoorschriften (Visual Flight Rules) en de instrumentvliegvoorschriften (Instrument Flight Rules). Bij VFR-omstandigheden is de vlieger zelf in staat en verplicht te volgen hoe het verkeer op de vluchtroute er uitziet. De burgerluchtvaart wordt over het algemeen uitgevoerd onder de IFR. Vluchten onder IFR-omstandigheden moeten altijd begeleid worden door een verkeersleiding aan de grond. De vliegers moeten in die situatie informatie uit de aanwijzingen van hun instrumenten halen. Uitzicht is veelal moeilijk of onmogelijk (mist, duisternis en dergelijke). Alleen op het laatste stukje van de vlucht, bij de landing, wordt naar buiten gekeken om de sterk verlichte landingsbaan te onderscheiden. Vliegtuigen met bepaalde geavanceerde apparatuur mogen op daartoe uitgeruste vliegvelden zelfs met een zichtlimiet nul (mist tot aan de grond) landen.

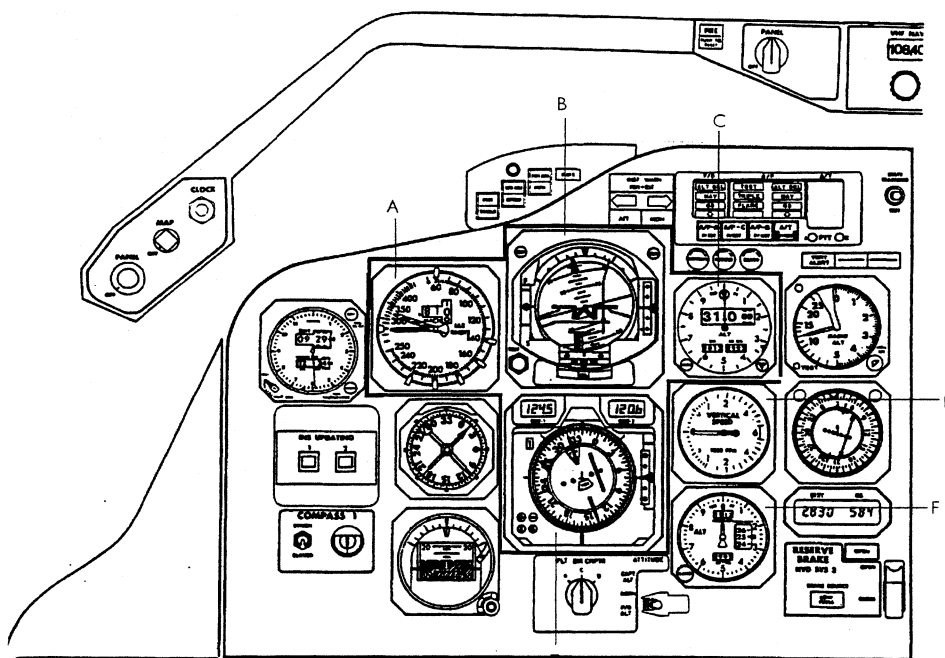
18.4.1 Cockpit-displays

Net als in de voorgaande paragrafen kan bij het vliegen onderscheid gemaakt worden tussen taken op het skill based, rule based en knowledge based niveau. In de cockpit zijn twee groepen instrumenten te onderscheiden:

- De *vlieg*instrumenten die aangeven wat de plaats van het vliegtuig ten opzichte van de aarde is (navigatieniveau) en die de stand van het toestel in de lucht weergeven (manoeuvreniveau);
- De *vliegtuig*instrumenten die informatie geven over het gedrag van de verschillende systemen in het vliegtuig.

In de klassieke cockpit zijn de vlieginstrumenten volgens afspraak geplaatst in het centrale blikveld van de vlieger in de zogenaamde "basic T" opstelling (figuur 18.17).

Met de informatie van deze instrumenten kan de vlieger zich een voorstelling maken van de stand en positie van het vliegtuig. De vlieginstrumenten zijn tussen de vliegers in en boven hun hoofden geplaatst. In de huidige elektronische cockpit is al deze informatie terug te vinden op twee geïntegreerde displays: het Primary Flight Display (zie figuur 18.24) en het Navigation Display (zie figuur 18.25).



Figuur 18.17 De "basic-T": a. de luchtsnelheidsmeter (airspeed); b. de kunstmatige horizon (attitude); c. de barometrische hoogtemeter (altimeter); d. onderaan in het midden het radio magnetische kompas (radio mag. ind.). Van wat latere datum zijn: e. de verticale snelheidsmeter (vertical speed) en f. de radiografische hoogtemeter (rechts van het midden).

In elk normaal geïnstrumenteerd vliegtuig wordt in het centrale blikveld op displays informatie gegeven over:

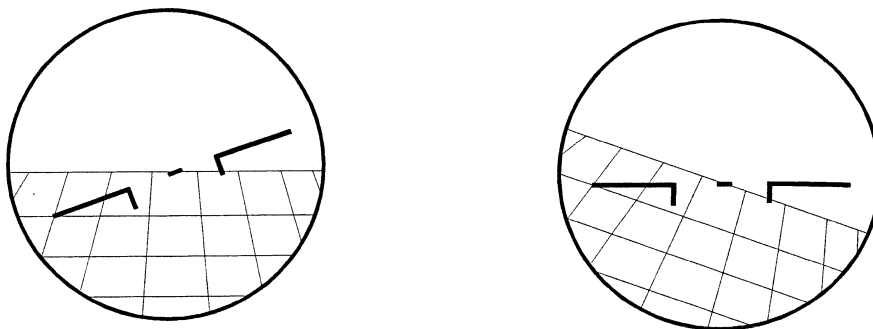
- snelheid; de *Airspeed Indicator* geeft de snelheid weer in de richting van de lengte-as van het toestel;
- stand van het toestel; op de *Attitude Display* (of kunstmatige horizon) is de hoek tussen de dwars-as van het vliegtuig en de horizon af te lezen -roll-, en de hoek tussen de verticale as en de loodlijn opgericht van het aardoppervlak -pitch-;
- hoogte; de *Altimeter* is een barometrische hoogtemeter die op grond van luchtdrukverschillen de hoogte ten opzichte van het zeeniveau of ten opzichte van een gestandaardiseerd drukvlak berekent; voor nauwkeurige hoogte-informatie bij de landing wordt gebruik gemaakt van een radiohoogtemeter die werkt op basis van een neerwaarts uitgezonden en weer opgevangen elektronisch signaal;
- richting; de *Radio Magnetic Indicator*, op een roterende kompasroos is bovenaan de koers van het vliegtuig af te lezen; met twee pijlen is de richting van twee radiobakens te bepalen. Gecombineerd met afstandsinformatie tot deze bakens is een exacte plaatsbepaling in het horizontale vlak mogelijk.

Vaak is er ook een aanwijzer voor de verticale snelheid van het toestel aanwezig; de *Vertical Speed Indicator*.

Weergave relatie vliegtuig-aarde

De vliegers beschouwen het vliegtuig als referentiepunt, dus uit hun gezichtspunt beweegt de aarde rondom het vliegtuig. Met dit uitgangspunt is het logisch dat in alle displays waarop een relatie vliegtuig-aarde te zien is (b.v. stand-, navigatie en hoogte-displays) het vliegtuigsymbool als stilstaand referentiepunt gepresenteerd wordt. Deze instrumenten zijn dan ook zogenaamde "fly-to" instrumenten

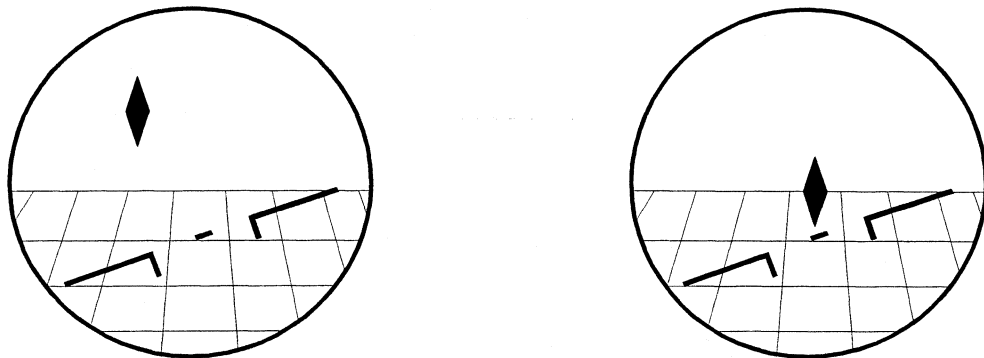
(compensatie-displays). De bovenstaande motivering voor het toepassen van dit type instrumenten wordt versterkt door de manier waarop vliegers het vak leren. Bij de opleiding in sportvliegtuigjes let de aspirant-vlieger in eerste instantie voornamelijk op het uitzicht, terwijl de instructeur de controls en displays in de gaten houdt. Deze situatie is vergelijkbaar met het leren autorijden op de openbare weg de leerling moet vooral op het verkeer letten en de instructeur voert de belangrijkste bedieningshandelingen uit. Het beeld dat de aspirant-vlieger ziet door de cockpitramen stemt overeen met het geabstraheerde beeld op de Attitude Display. Op deze display draait achter het stilstaande vliegtuigsymbool de kunstmatige horizon die de blauwe lucht scheidt van de bruine aarde. Een mogelijk probleem is de tegenstrijdige informatie die de evenwichtsorganen aan de vlieger geven. De evenwichtsorganen reageren namelijk op de zwaartekracht, zij hebben de aarde als referentie. En van de eerste zaken die beginnende vliegers krijgen ingeprint is nooit te vertrouwen op hun evenwichtsgevoel, maar alleen op de instrumenten. Later in de opleiding moet de aspirant-vlieger leren vliegen uitsluitend op grond van de informatie die de instrumenten geven. Het vreemde beeld, voor niet-vliegers, van instrumenten die de "verkeerde kant" op draaien is door het visueel vliegen al zo ingesleten, dat het vliegen op instrumenten niet meer vreemd is voor de aspirant-vlieger.



Figuur 18.18 Attitude Displays, links met bewegend vliegtuigsymbool (a) en rechts met bewegende horizon (b).

In de loop der jaren is veel onderzoek gedaan naar de beste uitvoering van Attitude Displays -displays die de stand van het vliegtuig in de ruimte aangeven- (o.a. Johnson & Roscoe, 1972, Roscoe & Willges, 1970-1974). De onderzoeken zijn uitgevoerd in vluchtnabootsers en in echte vliegtuigen. De proefpersonen waren studenten, maar ook ervaren en onervaren vliegers. De uitkomsten zijn niet eenduidig en het trekken van conclusies is moeilijk gebleken. Het gebruik van een display met een bewegend vliegtuigsymbool (figuur 18. 18a) wordt aanbevolen boven een instrument waarop de horizon beweegt (figuur 18.18b); dit is dus tegengesteld aan de dagelijkse praktijksituatie waarin displays van het type als afgebeeld in figuur 18.19(a en b) worden gebruikt!

Bovendien bleek de uitvoering waarbij zowel het vliegtuigsymbool als het "doel" ten opzichte van een vast referentiekader bewegen (volgdisplay, figuur 18.19a) superieur aan het instrument waarbij het "doel" vastligt (compensatiedisplay, figuur 18.19b).

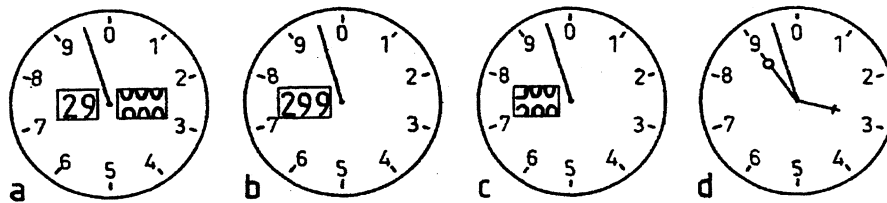


Figuur 18.19 Attitude Displays, links met bewegend vliegtuigsymbool en bewegend doel (volgdisplay) en rechts met bewegend vliegtuigsymbool en vast 'doel' (compensatiedisplay).

Het verschil tussen de hedendaagse praktijk en de resultaten uit onderzoeken zal waarschijnlijk blijven bestaan. De kosten en de te verwachten aanpassingsproblemen om over te gaan naar een ander type instrumenten zijn dermate groot, dat deze stap niet snel genomen zal worden.

Hoogtemeters

Bij de hoogtemeters speelt een aantal problemen. Deze houden verband met het enorme meetbereik (tussen 0 en 100.000 voet ofwel 0 en 30.000 meter) en de gewoonte om een afleesnauwkeurigheid van ongeveer 5 voet (1,5 m) te realiseren, terwijl de meetnauwkeurigheid en de benodigde afleesnauwkeurigheid doorgaans hoogstens in de orde van 100 voet (30 m) liggen.



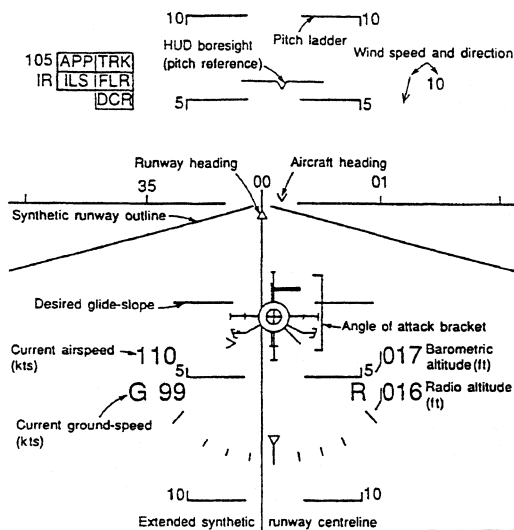
Figuur 18.20 Enkele uitvoeringen van barometrische hoogtemeters.

- a Teller-trommelwijzer model
- b Teller-wijzer model
- c Trommel-wijzer model
- d 3-wijzer model

Tientallen jaren is het 3-wijzer model toegepast. Onderzoek heeft echter aangetoond dat zowel in laboratoriumtests als in de vliegsituatie het aflezen van deze meter meer tijd kostte en met meer fouten gepaard ging dan bij de andere drie in figuur 18.20 getoonde barometrische hoogtemeters (Grether, 1949 en Hill en Chernikoff, 1965). De teller-trommel-wijzer en de teller-wijzer kwamen als beste uit de bus bij de onderzoeken. De vliegers bleken een grote voorkeur te hebben voor de teller-trommel-wijzer uitvoering, die dan ook werd aanbevolen en vrijwel overal wordt toegepast.

Head-up displays

Head-up displays, zoals reeds beschreven in 18.2.4, zijn displays waarbij de informatie (wijzers, schalen, getallen, tekst, pictografische elementen) middels bijvoorbeeld een halfdoorlatende spiegel, vanaf bijvoorbeeld een kleine CRT ingespiegeld wordt in het normale werkgezichtsveld van de gebruiker (figuur 18.21). Deze hoeft zodoende zijn blik niet af te wenden om de informatie te bekijken. Head-up displays worden tot nu toe vooral daar toegepast waar het kortstondig afwenden van de blik grote risico's met zich meebrengt (bijvoorbeeld jachtvliegtuigen met hoge snelheden en geringe vlieghoogte, helicopters die op schepen en booreilanden moeten landen).



Figuur 18.21 Voorbeeld van het beeld van een HUD (Weishut, 1989).

Tijdverlies door de noodzaak van opnieuw accommoderen van de ogen wordt vrijwel voorkomen door het displaybeeld te vormen op een afstand die overeenkomt met de (meest voorkomende) waarnemingsafstand van de gebruikers in vliegtuigen; dus praktisch op oneindig (> 5 meter).

De waarnemer ziet het beeld slechts zolang zijn oog binnen de uitreepupil beweegt; deze 'eye box' moet dus zo groot mogelijk zijn. Waarden boven 10 cm doorsnede zijn evenwel in het algemeen niet makkelijk te realiseren.

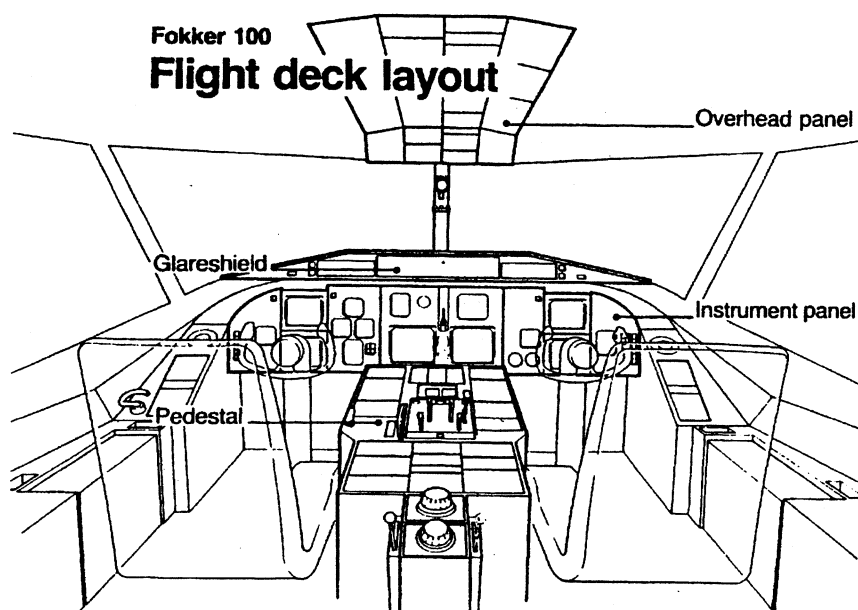
Voor situaties waarbij de grote uitreepupil niet geconstrueerd kan worden en het hoofd vrijelijk bewogen moet kunnen worden, gebruikt men wel helmen met ingebouwde beeldgeneratoren. Het beeld wordt dan via een halfdoorlatende spiegel of prisma voor het oog van de vlieger geprojecteerd. Het beeld beweegt zodoende met het hoofd van de vlieger mee.

Andere problemen betreffen de helderheid, kleur en de verdeling van de aandacht van de vlieger tussen head-up display en de overige informatie in zijn gezichtsveld; mensen kunnen nu eenmaal hun aandacht niet onbeperkt probleemloos verdelen tussen soorten informatiebronnen.

Wat betreft de beeldhelderheid: wil men bijvoorbeeld de displaygegevens met een contrast van minimaal 20% af laten steken tegen witte wolken in helder zonlicht (met een helderheid tot 35.000 cd/m^2), dan is een helderheid nodig van 7.000 cd/m^2 , die in een duistere omgeving de operator volledig zou verblinden. De helderheid van het display moet derhalve automatisch en zeer snel over een zeer groot bereik geregeld

worden (Debotton, 1968).

Bij de Fokker 100 wordt een groot deel van de informatie elektronisch, via beeldschermen gepresenteerd (zie bijvoorbeeld figuur 18.23). Bovendien geldt hier het principe "display by exception" voor niet-primaire systemen. Dit houdt in dat er slechts mededelingen worden gedaan als de situatie anders dan normaal is. De computergestuurde systemen zijn zodanig geprogrammeerd dat ze tijdens kritieke vluchtfasen (start en landing) geen alarmen aan de vliegers melden van secundaire systemen. Hiermee wordt voorkomen dat de vliegers zich in die situatie bezig gaan houden met het oplossen van een relatief klein probleem en hun primaire taak (het vliegtuig veilig in de lucht of op de grond krijgen) veronachtzamen. De boordcomputer neemt waar nodig en mogelijk zelf maatregelen.



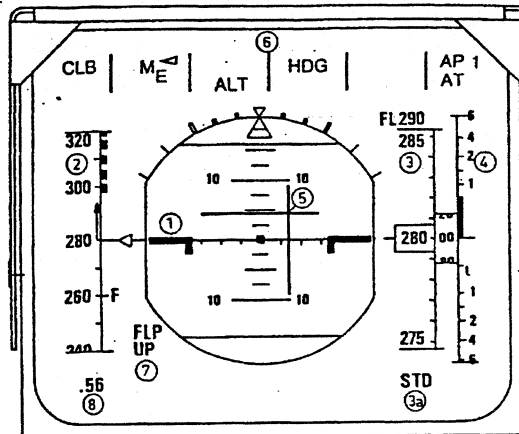
Figuur 18.23 Fokker 100 cockpit-ontwerp, voor de KLM, met daarin 8 beeldbuizen.

Een ander voordeel van het toepassen van computers is dat allerlei afhankelijke storingen die veroorzaakt worden door het falen van één systeem niet aan de vliegers worden doorgegeven. De vliegers krijgen het basisprobleem te verwerken, niet een hele rij problemen waarvan het onduidelijk is wat oorzaak en wat gevolgen zijn. Vliegen begint meer en meer te lijken op het managen van het 'flight system'.

Geïntegreerde displays

In de elektronische cockpit is de belangrijkste informatie te vinden op twee beeldbuizen: het Primary Flight Display en het Navigation Display (figuur 18.24). De gevolgen van een storing in één van de beeldschermen is meestal beperkt, omdat elk scherm alle soorten informatie kan weergeven en dus het andere kan vervangen.

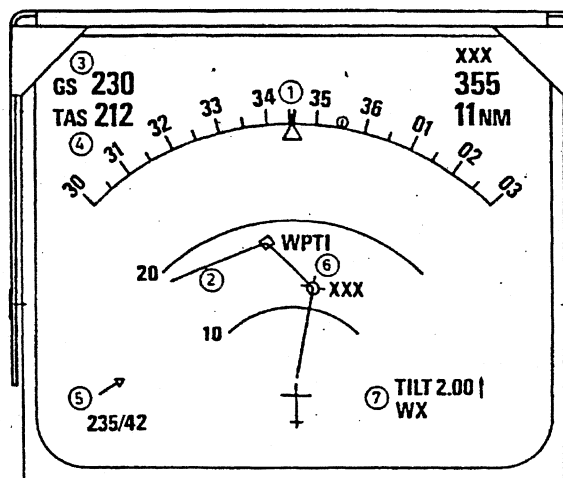
- ① • Attitude
- ② • Airspeed
- ③ • Altitude (Baro)
- ④ • Vertical speed
- ⑤ • Flight director
 - Flight path vector
 - ILS deviation
 - Radio altitude
- ⑥ • Flight mode annunciation
- ⑦ • Flap indication
- ⑧ • Mach number
 - ILS DME



Figuur 18.24 Primary Flight Display van de Fokker 100.

Het Navigation Display (figuur 18.25) geeft een deel van de kompasroos, een stuk radarbeeld en de radiobakens weer. De geplande route van het vliegtuig langs de verschillende radiobakens is te zien. De gegevens over de te volgen route zijn vóór de vlucht door de vliegers ingeprogrammeerd, op basis van informatie van de verkeersleiding.

- ① • Heading
- ② • Flight plan
 - Additional data
- ③ • Ground speed
- ④ • Tas
- ⑤ • Wind
- ⑥ • Next waypoint
- ⑦ • Weather radar



Figuur 18.25 Navigation Display van de Fokker 100.

18.4.2 Toekomstige ontwikkelingen

De steeds verdergaande automatisering, de verhoogde betrouwbaarheid van vliegtuigsystemen en het automatisch registreren en oplossen van storingen zal de boordwerktuigkundige ook uit de grotere vliegtuigen verdrijven. Het verder automatiseren van de besturing wordt begrensd door de minimale activiteit die de vliegers moeten realiseren om waakzaam genoeg te blijven voor het adequaat oplossen van plotselinge ernstige storingen. Het is niet meer zo zeer een kwestie van wat er geautomatiseerd kan worden als wel van wat uit menselijk oogpunt wenselijk is om te automatiseren. De stuurkolommen zoals die nu nog veel worden toegepast zullen meer en meer plaatsmaken voor zogenaamde "side-sticks". Dit zijn een soort, nauwelijks bewegende "joy-sticks" (enigszins vergelijkbaar met die bij computerspelletjes) die door kleine richtingveranderingen of zelfs door drukveranderingen de stuurcomputer bekrachtigen. De computer bedient op zijn beurt

de servomotoren die de stuurvlakken van het vliegtuig verstellen. Dit systeem wordt al vele jaren toegepast in militaire vliegtuigen en is nu ook ingebouwd in de Airbus 320 ('fly by wire': hiermee is in Mulhouse een ongeluk gebeurd door de vergaande automatisering, zie ook Casey). Naar verwachting zal de mogelijkheid om volledig met behulp van instrumenten te landen in slecht zicht condities verder worden uitgebreid ('auto-land-equipment').

18.4.3 Ontwerpregels

Alhoewel er zeker nog geen definitieve algemene inzichten zijn betreffende alle aspecten van de Attitude Displays en de Navigatie Displays, is er toch wel een aantal globale ontwerpregels te geven. Deze zijn (Roscoe, 1968):

- 1 Verwante informatie aanbieden in 'integrated displays' waarvan er tenminste twee aanwezig moeten zijn, namelijk het 'uitzicht naar beneden' voor de navigatie en het 'uitzicht naar voren' voor de besturing. Geef hoogten en snelheden apart weer;
- 2 Streef in het display een optimale vorm- en bewegingsanalogie met de werkelijkheid na;
- 3 Optimaliseer de versterkingsfactor, de afleesnauwkeurigheid en de schaal- en display-afmetingen op grond van een compromis tussen de gewenste vliegnaauwkeurigheid en de werkbelasting van de vlieger;
- 4 Gebruik voor Attitude Displays bij voorkeur 'bewegend vliegtuig' displays; het volg-display is beter dan het compensatie-display (dus niet het vliegtuig of het doel fixeren, maar beide laten bewegen ten opzichte van een vast referentiekader);
- 5 Overweeg head-up displays met snelle automatische helderheidsregeling indien het kortstondig afwenden van de blik fataal kan zijn.

Men realiseer zich dat deze regels stammen uit het midden van de zestiger jaren en dat zolang de computersystemen goed functioneren en het toestel niet in problemen verkeert, de werkbelasting voor de vliegers tegenwoordig doorgaans eerder te laag dan te hoog is (regel 3), behalve in de kritische momenten van opstijgen en landen. Regel 4 blijkt zeer omstreden (zie 18.4.1) en wordt in de praktijk nauwelijks toegepast.

Begrippen

compatibiliteit
codering

Mens-Produkt Interactie-model
intelligent vehicle highway system
predicting display

Trein

mentale belasting
bio-ritme
vigilantie

Auto

skill-based niveau
rule-based niveau
knowledge-based niveau

Hulpmiddelen voor regel en manoeuvretaken

Automatic Vehicle Guidance System
Automatic Brake System (ABS)
Motorway Control & Signalling System (MCSS)

Navigatiehulpmiddelen

Route Guidance System (RGS)
CARIN-systeem
Travelpilot-systeem
Aliscout-systeem

Weergave informatie

head-up display
uittreepupil
eye-box

Secundaire informatie

display by exception-principe

Schip

giroscopen
Automatic Radar Plotting Aid
telegraaf

Vliegtuigdisplays

integrated display
Visual Flight Rules
Instrument Flight Rules

Cockpit-displays

basic T
Primary Flight Display
Navigation Display
Attitude Display
Radio Magnetic Indicator

Weergave relatie vliegtuig-aarde

fly-to
 compensatie-displays
 kunstmatige horizon
 volgdisplay
 flight deck

Toekomstige ontwikkelingen

side-sticks
 fly by wire

Literatuur

Baeger, H., 1982.

Liquid crystal displays with integrated electronics for dashboard instrumentation. Detroit, Society for Automotive Engineers, paper 820005.

Boer, J.P.A. en H. Schuffel, 1985.

De scheepsbrug in de jaren '90. Navigatieprestatie en mentale belasting van wachtdoend officier. TNO, IZF 1985 C-14; Rapport i.o.v. Stichting Cordinatie Maritiem Onderzoek i.s.m. Maritiem Research Instituut NL, Rotterdam.

Boer, J.P.A., L. van Breda en H. Schuffel, 1986.

De scheepsbrug in de jaren '90. Invloed van het scheepvaartverkeer op de navigatieprestatie en mentale belasting van de wachtdoend officier. TNO, IZF 1986, C-5. Rapport i.o.v. Stichting Cordinatie Maritiem Onderzoek, Rotterdam.

Breda, L. van, en J.G.S. van de Kooy, 1985.

Beschrijving van de brug-mock-ups en simulator t.b.v. het project "Brug '90". TNO, IZF 1985 C-15. Rapport i.o.v. Stichting Cordinatie Maritiem Onderzoek i.s.m. Maritiem Research Instituut NL, Rotterdam.

Buurman, R. den, 1991.

The Role of Colour in Designing Computer Displays, in Quéinnec, Y. and F. Daniellou (eds), *Designing for Everyone*, Proc. of the 11th Congr. of the Int. Ergonomics Soc. Taylor & Francis, London, 733-735.

Çakir, A. e.a, 1989.

Head-up display Terminals. John Wiley & Sons, New York.

Edwards, E., 1975.

Stress and the airline pilot. Paper presented to BALPA Technical Symposium, aviation medicine and the airline pilot.

Edwards, E., 1977.

Automation in civil transport aircraft. *Applied Ergonomics*, **8**, 4, 194-198.

Godthelp, J. en W.B. Verwey, 1988.

Veiliger verkeersgedrag dankzij nieuwe informatiesystemen? In: De veranderende rol van de operator in mens- machinesystemen ten gevolge van de ontwikkelingen in de micro-electronica. Genootschap voor Veiligheidswetenschappen, Arnhem.

Goesch, T.C., 1990.

HUD hit the road. *Information Display*, Vol.6, 7-8.

Hawkins, F.H., 1976.

Some aspects of cockpit panel design for airline aircraft. *Shell Aviation News*, 437.

Hawkins, F.H., 1987.

Human factors in flight. Gawer Technical Press, Aldeshot.

- Hucho, W.H., 1981.
The evolution towards a new driver information system; Transactions of the society of automotive Engineers 90, pg. 1312-1320; Detroit, Society of Automotive Engineers.
- Mc Cormick, E.J. & Sanders, M.S., 1993
Human factors in engineering and design. 7th edition, Mc Graw-Hill Book Company, New York.
- Mitchell, K., 1981.
Fly-by-eye, Helmet mounted miniature HUD. Scientific American, A 13-14.
- Norman, J. And ehrlich, S., 1989.
Visual Accommodation and Virtual Image Displays: Target Detection and Recognition. Human Factors, Vol. 28,2.
- Patterson, S. e.a.
Automotive Head-Up display. In Jin Chang, B. and Lemons T.M. (eds) Automotive Display and Illumination, SPIE, Vol. 958
The International Society for Optical Engineering, Washington
- Randle Jr., R.J. & Larsen, W.E. & Williams, D.H., 1980.
Some Human factors issues in the development and evaluation of cockpit alerting and warning systems. NASA Reference Publication 1055.
- Roscoe, S. N., 1968.
Airborne displays for flight and navigation. Human factors, 10 (4), 321-332.
- Schuffel, H., 1986.
Human control of ships in tracking tasks. Dissertatie van onderzoek uitgevoerd op afdeling Technische Menskunde IZF. TNO, IZF.
- Stolk, M., 1988.
De interactie tussen de machiniste en Automatische Treinbeïnvloeding; Afstudeerrapport; Technische Universiteit Delft, faculteit Industrieel Ontwerpen, Delft.
- Visser, H.J., 1984.
Teleraail; Afstudeerrapport; Technische Universiteit Delft, Faculteit Industrieel Ontwerpen, Delft.
- Weeda, C.E., 1989.
Auditieve informatie-presentatie; Afstudeerrapport, Technische Universiteit Delft, faculteit Industrieel Ontwerpen, Delft.
- Weishut, G.M.R., 1991.
Automotive Head-Up Displays, M.Sc.Thesis. Faculty of Industrial Design Engineering, Delft University of Technology, The Netherlands.
- Wiener, E.L., 1980.
Flight-deck automation: promises and problems. Ergonomics, 23, 10, 955-1011.
- Willems, P.J., 1981.
Inleiding in de psychologie van menselijke verrichtingen. Van Loghum Slaterus.
- Wittenberg, H., 1980.
Het verkeersvliegtuig in de komende twintig jaar. TH-Delft, Afdeling L&R, Delft.
- Wood, R.B. and Thomas, M.E.
Head-Up display for Automotive Applications, in Jin Chang, B. and T.M. Lemons (eds) Automotive Display and Illumination, SPIE, Vol. 958
The International Society for Optical Engineering, Washington

19 Het ontwerpen van user interfaces

19.1 Inleiding

In de loop van de tijd is er heel wat veranderd in het gebruik van produkten. Neem bijvoorbeeld het slot van een deur. Bij de oude, vertrouwde mechanische sloten, steek je de sleutel in het slot; de sleutel wordt daarbij geleid door de erin aangebrachte groeven. Je draait de sleutel om: één- of tweemaal, met de klok mee of tegen de klok in en als het op de ene manier niet lukt probeer je het op de andere manier. Mocht blijken dat de sleutel niet past dan neem je een andere. Een kind kan de was doen.

Kijken we naar het gebruik van een modern elektronisch slot, dan zien we iets heel anders. Het slot heeft een sleuf om een magneetkaart doorheen te halen en een toetsenbord om cijfers in te toetsen. Het werkt alleen als de magneetkaart er in een bepaalde richting doorheen gehaald wordt: werkt het in de ene richting niet, dan beweeg je dus de kaart in de andere richting. Je hoort een zachte piep als het heeft gewerkt. Een lampje gaat knipperen als je de juiste code hebt ingetoetst en vervolgens wordt, als alles gelukt is, de deur geopend. Het gebruik wordt hier duidelijk niet alleen bepaald door de mechanische onderdelen van het slot. De informatie die zich op de magneetkaart bevindt en de door de gebruiker ingetoetste code worden 'verwerkt' door het slot, waarna het mechanisme voor het openen van de deur al of niet in werking wordt gezet. Als de code niet correct is of de kaart er verkeerd om doorgehaald is, geeft het slot een foutmelding. Dankzij (ondanks?) de nieuwe technologie is het gebruik er niet simpeler opgeworden.

In dit hoofdstuk zullen we het hebben over het ontwerpen van user interfaces. Het vakgebied 'User interface ontwerpen' (of 'Interactie-ontwerpen') is er op gericht moderne technologie-geörienteerde produkten die elektronische, informatieverwerkende, componenten bevatten zó te ontwerpen dat ze gemakkelijker te gebruiken zijn. Voor een belangrijk deel speelt bij het ontwerpen van dergelijke produkten hetzelfde soort overwegingen een rol als bij andere produkten; een strikt onderscheid tussen produkten die wél en produkten die níet onder deze categorie vallen is niet te maken en wellicht is dat ook niet nodig. In ieder geval is het wel zo dat het ontwerpen van produkten die wél in deze categorie vallen een aantal specifieke aandachtspunten met zich meebrengt. Daarover gaat dit hoofdstuk.

Soorten interfaces en gebruikssituaties

Er zijn verschillende deelgebieden waarbinnen user interface ontwerpers kunnen werken. Bij het ontwerpen van *computer software* (tekstverwerkers, boekhoudprogramma's, etc.) gaat het onder andere om het ontwerpen van scherm informatie (zoals icons, scherm layouts, grafische elementen), directe manipulatie procedures, etc. Bij het creëren van *multi-media titels*, (voor bijvoorbeeld multi-media databases of publieksinformatie systemen) werken user interface-ontwerpers nauw samen met geluidsspecialisten, grafisch vormgevers en tekstschrijvers om zo te komen tot een eenvoudige, boeiende, gemakkelijk te begrijpen interactie. Fabrikanten van produkten in de sfeer van de (*consumenten-*) *electronica* roepen steeds vaker de hulp in van user interface ontwerpers om hun produkten (zoals videorecorders, audiosystemen, kopieerapparaten, faxen en telefoons) beter bruikbaar te maken. Naar verwachting zal het user interface ontwerpen ook een belangrijke rol gaan spelen bij de ontwikkeling van nieuwe *interactieve (tele-) diensten* zoals: interactieve TV, teleshopping en in-huisnetwerken waarmee beveiliging, klimaatregeling en vele andere zaken in en om het huis geregeld kunnen worden.

Toepassingen van user interface ontwerpen worden ook gevonden in *entertainment* systemen - CD-i spelletjes, virtual reality systemen en interactief speelgoed.

Het is duidelijk dat er een grote verscheidenheid aan user interfaces bestaat, met elk zijn eigen specifieke gebruikersgroep en gebruikssituatie. Sommige user interfaces zijn bedoeld voor een brede groep gebruikers, staan op een druk stadsplein en worden door de individuele gebruiker slechts sporadisch gebruikt (denk bijvoorbeeld aan een informatie-zuil voor toeristen); andere zijn ontworpen voor een zeer specifieke groep professionals die er dagelijks en langdurig mee werken (zoals bijvoorbeeld een boekhoudprogramma).

Het zal duidelijk zijn dat in het geval van user interfaces zoals die van de 'toeristenzuil' andere eisen aan gebruiksgemak worden gesteld dan bijvoorbeeld bij het boekhoudprogramma. De vraag rijst dan ook: Welke (gebruikers-gerelateerde) eisen moeten er gesteld worden aan een user interface? Daaraan vooraf gaat echter de vraag: Welke aspecten bepalen de kwaliteit van een user interface?

19.2 De kwaliteit van een user interface

Het user interface van een produkt is dat deel van het produkt waarmee de gebruiker interacteert bij het gebruiken van het produkt. McClelland en Brigham (1990) stellen dat het user interface gezien kan worden als een communicatie-medium tussen gebruiker en produkt (zie ook hoofdstuk 22 en paragraaf 14.5.2):

- het user interface communiceert het 'wat?' -wat kan ik met het produkt?
- en het communiceert het 'hoe?' -hoe moet ik het produkt gebruiken?

Gebaseerd op deze tweedeling maken McClelland en Brigham onderscheid tussen twee begrippen, utility en usability, die beide een rol spelen in de bruikbaarheid van een produkt.

19.2.1 Utility

Utility heeft te maken met de primaire mogelijkheden die het produkt de gebruiker biedt. Produkt-utility heeft dus te maken met de vraag 'wat kan de gebruiker allemaal met het produkt?' en moet afgestemd zijn op de taken die de gebruiker wil of moet uitvoeren. Een belangrijke functie van het user interface is dan ook het aan gebruikers duidelijk maken wat zij allemaal met het produkt zouden kunnen.

Een voorbeeld: de Honeywell Chronotherm III is een kamerthermostaat die door middel van een weekprogramma de temperatuurhuishouding in een woning kan regelen. In het weekprogramma kunnen instellingen gemaakt worden voor werkdagen, voor zaterdag en voor zondag. In een gebruiksonderzoek bleek dat mensen op zoek gingen naar mogelijkheden om afzonderlijke werkdagen in te stellen. Na even zoeken concludeerde vrijwel iedereen dat dat niet kon. Een onterechte conclusie, want bij zorgvuldige bestudering van het apparaat blijkt dat wanneer op de achterkant van het apparaat een schroefje een kwartslag gedraaid wordt, wel instellingen per dag gemaakt kunnen worden. Deze mogelijkheid werd dus in dit geval niet door het user interface overgebracht aan de gebruiker.

19.2.2 Usability

Usability is een veel gebruikt begrip bij de aanduiding van de ergonomische kwaliteit van een user interface. Vertaald naar het Nederlands betekent het zoiets als 'gebruiksgemak', 'geschiktheid voor het beoogde gebruiksdoel', 'bruikbaarheid'; aangezien geen van de afzonderlijke Nederlandse omschrijvingen volledig aangeeft wat er binnen het vakgebied onder 'usability' wordt verstaan zullen we hier vooral de

Engelse term hanteren.

Om de usability van produkten te kunnen verbeteren moet je uiteraard eerst weten wat er bedoeld wordt met usability. Volgens ISO, de internationale standaardisatie organisatie, is er bij het vaststellen van de usability van een produkt een aantal aspecten waarmee rekening gehouden moet worden, te weten (Brooke et al., 1990):

- de gebruikers van het produkt;
- de taken waarvoor het produkt gebruikt gaat worden;
- de condities waaronder het produkt gebruikt zal worden.

Usability volgens ISO

Een absolute maat voor usability bestaat volgens ISO niet; een user interface die voor een bepaalde combinatie van gebruikers, taken en condities goed bruikbaar is, kan voor een andere combinatie slecht bruikbaar zijn. ISO gaat er van uit dat het hanteren van het begrip usability alleen zinvol is, indien dit operationaliseerbaar is, m.a.w. wanneer 'usability' meetbaar te maken is. De algemene definities van usability-maten ('measures') en usability-kenmerken ('attributes') die ISO hanteert zijn als volgt:

"Usability measures: the effectiveness, efficiency and satisfaction with which specified users can achieve specified goals in a particular environment

Usability attributes: the features and characteristics of a product which influence the effectiveness, efficiency and satisfaction with which particular users can achieve specified goals in a particular environment "

Enkele termen in de definitie vragen om uitleg. Wat wordt er bedoeld met effectiviteit, efficiëntie en tevredenheid? Hoe meet je dat?

Effectiviteit ('effectiveness')

Wanneer een gebruiker probeert bepaalde doelen te bereiken middels het gebruik van het produkt, kan dit wel of niet en in meerdere of mindere mate slagen. Effectiviteit heeft te maken met de vraag in hoeverre de gestelde doelen bereikt worden.

Nemen we als voorbeeld de eerder genoemde toeristenzuil, dan heeft effectiviteit er mee te maken of de toerist de gezochte informatie in het systeem kan vinden of niet. Om effectiviteit te meten kan er dus in dit geval gekeken worden of de gebruiker wel of niet de gezochte informatie gevonden heeft.

Niet in alle gevallen is effectiviteit echter zo duidelijk te bepalen als in het voorbeeld hierboven. Om effectiviteit te kunnen meten moet je namelijk weten wat het doel van de gebruiker in een interactie is. In veel gevallen echter stelt de gebruiker zich voorafgaand aan een interactie slechts een vaag doel, dat tijdens (en op basis van) de interactie nader wordt gespecificeerd (mede op basis van de indruk die de gebruiker krijgt over wat er mogelijk is met het produkt).

Nemen we als voorbeeld een tekenprogramma: een gebruiker heeft als begindoel 'het maken van een kleurenillustratie voor een boek'; tevoren heeft de gebruiker slechts een vaag idee van de te maken tekening. Stel nu dat het de gebruiker lukt om een palet met 6 kleuren op te roepen, terwijl hij niet ontdekt dat er ook een mogelijkheid is dat palet uit te breiden (laat staan 'hoe'). De gebruiker zal nu, in de veronderstelling dat er slechts 6 kleuren mogelijk zijn, een illustratie maken waarvan hij denkt dat die geschikt

is voor het boek. Had hij de mogelijkheid tot het uitbreiden van het palet ontdekt, dan had hij zich waarschijnlijk (in de loop van de interactie) een ander doel gesteld en was hij tot een andere illustratie gekomen. Het oorspronkelijke doel, 'het maken van een kleurenillustratie voor een boek' is echter in beide gevallen verwezenlijkt.

Bovenstaand voorbeeld maakt duidelijk dat het hanteren van het begrip effectiviteit eigenlijk alleen zinvol is in situaties waarin tevoren duidelijke doelen gesteld zijn. In het geval van een gebruiksonderzoek vindt zulks vaak plaats door proefpersonen gedetailleerde opdrachten te geven. In arbeidssituaties is een concreet doel vaak inherent aan het te verrichten werk; wanneer dat niet zo is, is het hanteren, en dus ook het meten, van het begrip effectiviteit problematisch.

Efficiëntie ('efficiency')

Het begrip efficiëntie slaat altijd op een kosten-baten verhouding en is gerelateerd aan het begrip effectiviteit. Wanneer een doel niet bereikt is (de effectiviteit is 0; de baten zijn 0), is het niet zinvol om over efficiëntie te spreken. Wanneer een doel wel in zekere mate bereikt is, is efficiëntie de verhouding tussen de effectiviteit en de daarmee gepaard gaande 'kosten'. Het begrip 'kosten' moet in dit verband ruim gehanteerd worden. 'Kosten' kunnen bijvoorbeeld zijn, de hoeveelheid tijd die het kost om het doel te bereiken, of de hoeveelheid (overbodige) interactie-stappen die de gebruiker verricht heeft. Tijd en overbodige stappen of fouten zijn veel gebruikte maten voor de 'kosten' van de interactie. Zijlstra (1993) wijst er echter op dat in dit verband nog een ander kostenbegrip van belang is, te weten de vereiste mentale inspanning om het doel te bereiken (zie voor het meten van mentale inspanning hoofdstuk 12 en ide 130). Het kan immers ook zo zijn, dat met twee programma's hetzelfde resultaat bereikt kan worden in dezelfde tijd, maar dat een van de programma's daarvoor veel meer mentale inspanning vraagt (wat vaak ongewenst is). ISO doet geen uitspraken over hoe je efficiëntie precies zou moeten of kunnen meten (bijvoorbeeld welke 'kosten' je zou moeten meten); het zal van de specifieke toepassing afhangen welke maat voor efficiëntie het belangrijkste zijn.

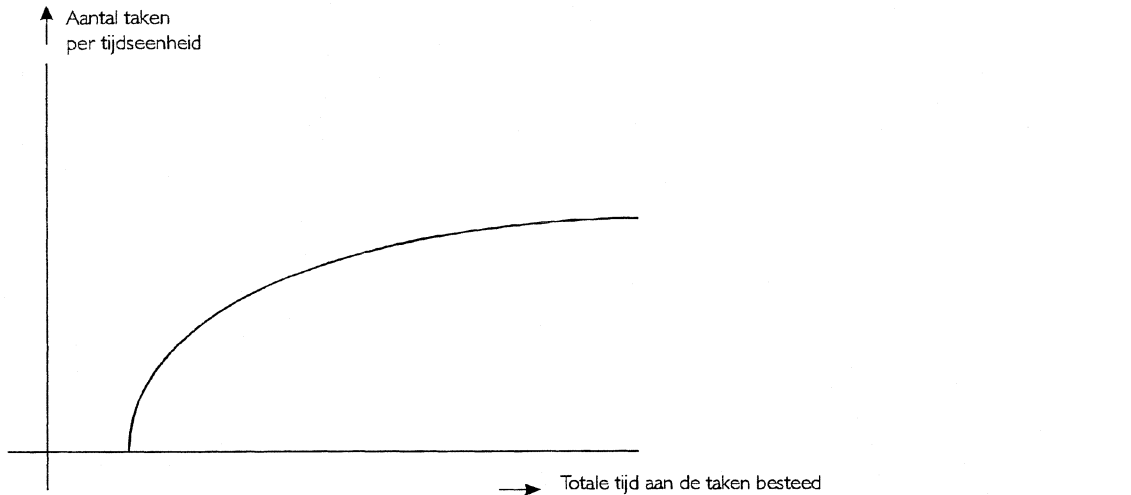
Tevredenheid ('satisfaction')

Ook een begrip als tevredenheid is tot op zekere hoogte meetbaar te maken. Door middel van vragenlijsten kunnen gebruikers bijvoorbeeld aangeven hoe tevreden ze zijn over een bepaald user interface. Een belangrijk probleem daarbij is, dat bij het invullen van dergelijke vragenlijsten de gebruiker de tevredenheid vergelijkt met de tevredenheid over een vergelijkbaar user interface, of over een vergelijkbare, bij de gebruiker bekende, wijze van taakuitvoeren. Om een zinvolle tevredenheidsmeting te kunnen doen moet je dus twee user interfaces aan de gebruiker voorleggen, of op zijn minst te weten komen waar het user interface mee vergeleken wordt. Een manier om daar achter te komen is bijvoorbeeld door gebruikers te vragen naar concrete ervaringen met vergelijkbare producten.

Usability in relatie tot het leren werken met een user interface

Jordan et al.(1991) definiëren een serie aspecten van usability gebaseerd op de uitgangspunten van ISO. Ze betrekken daarbij ook het leren werken met een user interface in hun definities, ervan uitgaand dat de leerbaarheid van een user interface ook een kwaliteitskenmerk is. De begrippen worden gedefinieerd op basis van het begrip efficiency (zie ISO definitie). Jordan et al. onderscheiden de begrippen: *guessability*, *learnability*, *experienced user performance*, *system potential*, en *re-*

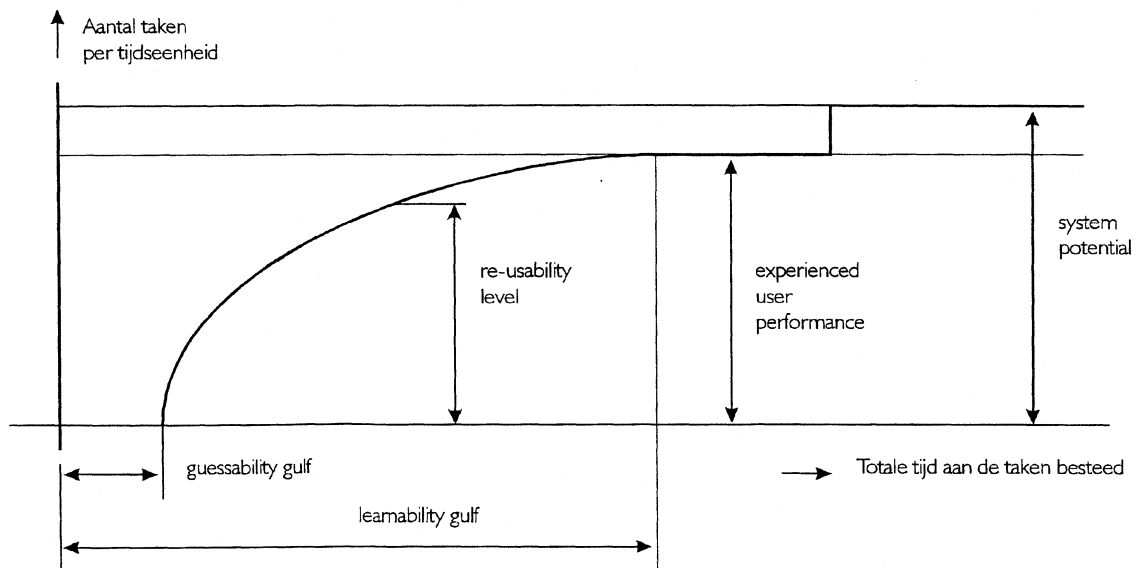
usability. Deze begrippen zijn gebaseerd op een algemene vorm voor een leercurve zoals die van figuur 19.1 (zoals die veel gevonden wordt in onderzoek naar leergedrag). De curve illustreert hoe de prestatie van gebruikers bij het herhaaldelijk uitvoeren van een bepaalde taak verloopt in de tijd. De precieze vorm van de curve is niet belangrijk, waar het om gaat is dat de curve de x-as rechts van nul doorsnijdt en dat het prestatieniveau afvlakt naarmate de gebruiker langer bezig is.



Figuur 19.1 Algemene vorm van een leercurve volgens Jordan et al. (1991). De curve illustreert hoe het prestatieniveau van een gebruiker verandert in de loop van de tijd.

Door middel van een aantal experimenten met tekstverwerkers en een videorecorder hebben Jordan et al. onderzocht hoe reëel de aanname van de leercurve is. In de resultaten van elk van die onderzoeken was de globale vorm van de curve te herkennen.

Hieronder worden de door Jordan et al. geïntroduceerde begrippen uitgelegd. Van



Figuur 19.2 Algemene vorm van een leercurve volgens Jordan et al. (1991). In de curve zijn parameters voor guessability, learnability, re-usability, experienced user performance en system potential weergegeven.

belang voor ontwerpers van user interfaces is niet zozeer het kunnen hanteren van de precieze definities van de geïntroduceerde begrippen, maar wel het zich realiseren welke aspecten een rol spelen in de usability van produkten. In verschillende situaties zal er verschillend belang aan de usability-componenten gehecht moeten worden. In figuur 19.2 wordt het verband van de begrippen met de leercurve geïllustreerd.

Guessability

Guessability is een maat die aangeeft hoeveel tijd en inspanning het vraagt om de eerste keer resultaat te boeken in het gebruik van het user interface bij een bepaalde taak. Hoe minder tijd en inspanning dit kost, hoe hoger de guessability. Guessability kan bepaald worden voor een user interface, maar ook voor het gebruik van afzonderlijke commando's binnen een user interface. Guessability is in het bijzonder van belang in situaties waar een gebruiker, zonder enige voorafgaande ervaring met het user interface, een taak bij het eerste gebruik correct moet uitvoeren, bijvoorbeeld bij het gebruik van een giromaat. Ook bij publieksinformatie-systemen zoals de toeristenzuil is guessability een belangrijk usability-aspect.

Learnability

Learnability is een maat die aangeeft hoeveel tijd en inspanning het vraagt voordat de gebruiker een stabiel prestatie-niveau (Experienced User Performance, zie volgende paragraaf) heeft behaald. M.a.w. hoeveel tijd en inspanning kost het om een geroutineerd gebruiker te worden.

Learnability is belangrijk in situaties waar gebruikers snel gewend moeten raken aan een user interface en er geen uitgebreide trainingen gegeven worden in het gebruik van het produkt. Bij tekstverwerkers is learnability bijvoorbeeld een belangrijk usability-aspect; wanneer de learnability van tekstverwerkers erg goed is, kan iedereen er snel mee uit de voeten. De noodzaak voor cursussen specifiek gericht op het leren werken met een bepaald type tekstverwerker zou dan verminderen of zelfs verdwijnen.

Experienced User Performance

Experienced user performance (EUP) geeft het asymptotische prestatieniveau van de gebruiker aan. Wanneer de gebruiker dit niveau heeft bereikt, kun je zeggen dat hij of zij niet meer bijleert over het gebruik van het produkt. Een hoge EUP is vooral belangrijk in die gevallen, waarin het van belang is dat de gebruiker het produkt maximaal kan benutten. Het gaat daarbij meestal om arbeidssituaties waarin mensen dagelijks en langdurig met een produkt werken en bijvoorbeeld de arbeidsproductiviteit een rol speelt (denk aan het voorbeeld van het boekhoudprogramma).

System potential

System potential staat voor de maximaal met het produkt te bereiken prestatie. Dit niveau is niet per se gelijk aan het niveau van het EUP. Door met het produkt te werken, de handleiding nog eens goed te bestuderen, of met collega's te overleggen kan de gebruiker namelijk nieuwe mogelijkheden ontdekken, waardoor het prestatieniveau (EUP) hoger komt te liggen (in de curve betekent dat dan een sprong, waardoor het stabiele prestatieniveau in een keer hoger komt te liggen). System potential is dus het hoogst mogelijke prestatieniveau (de hoogst mogelijke EUP).

Re-usability

De component re-usability wordt door Jordan et al. niet precies gedefinieerd, maar is

belangrijk genoeg om toch in dit kader genoemd te worden. Re-usability geeft aan wat het prestatieniveau van de gebruiker is als deze het produkt, na het een bepaalde tijd niet gebruikt te hebben, weer gebruikt. Vooral bij produkten voor incidenteel gebruik is re-usability belangrijk.

In het vervolg van dit hoofdstuk zal worden ingegaan op met name de usability aspecten van het user interface (en niet zozeer op utility aspecten). Allereerst zal dit gebeuren vanuit een cognitief-ergonomisch perspectief en daarna vanuit een ontwerpperspectief.

19.3 Cognitief ergonomische aspecten van interactie

In de vorige paragraaf is aangegeven welke parameters van belang zijn voor de usability van een produkt, maar daarmee kunnen we nog geen 'usable' interface ontwerpen. In dit hoofdstuk komen we een stapje verder in die richting. Basismateriaal zal worden aangedragen dat als achtergrondkennis kan dienen bij het ontwerpen van interfaces. Eerst zal een overzicht gegeven worden van mogelijke interactieproblemen. Dit heeft als doel de ontwerper er op te wijzen op wat voor manieren het allemaal fout kan gaan in een interactie, zodat hij/zij daarop kan anticiperen in het ontwerp. Daarna zullen wat kenmerken van het proces van exploratief leren van produkten met knoppen en displays, en van menu-interfaces worden besproken. Exploratief leren is in het geval van user interfaces van consumentenelectronica namelijk de meest voorkomende manier van leren. Tenslotte zal worden aangegeven hoe kennis over menselijke aandacht, geheugen en mentale modellen gebruikt kan worden om tot een beter user interface ontwerp te komen.

19.3.1 Problemen in de interactie

Op basis van twee modellen die te maken hebben met het menselijk handelen met produkten, zal een overzicht worden gegeven van mogelijke problemen in de interactie. De twee modellen waarop dit overzicht is gebaseerd, zijn de modellen van Norman en van Rasmussen (zie hoofdstuk13). Aangezien de modellen elders in het diktaat uitgebreid worden behandeld, zullen ze hier slechts kort worden aangestipt.

Het model van Norman is een model dat een soort basiscyclus van menselijk handelen beschrijft; het gaat er van uit dat mensen:

- zich doelen stellen,
- dan gaan plannen welke subdoelen en handelingen achtereenvolgens nodig zijn om dat doel te kunnen bereiken,
- die handelingen dan uitvoeren,
- het resultaat van hun handelen waarnemen
- en proberen te begrijpen,
- om vervolgens te kunnen bekijken of het gestelde doel of subdoel bereikt is.

Het is dus een cyclus die gaat van het stellen van een doel naar het verrichten van een handeling (een *planning en actie*-deel) en van het waarnemen van een reactie op die handeling tot een evaluatie van het bereikte resultaat (een *feedback*-deel). Voor ieder subdoel zal de cyclus doorlopen moeten worden, totdat alle subdoelen verwezenlijkt zijn, en daarmee het hoofddoel bereikt is.

Het model van Rasmussen is een model dat beschrijft hoe een mens controle houdt over de interactiecyclus zoals Norman die beschrijft, het beschrijft het reguleren van

handelingen; Rasmussen noemt dat *monitoring*. Waarom is dat monitoren van handelingen nodig? Welnu, voor ieder subdoel wordt een interactie-cyclus doorlopen. Op basis van de evaluatie van de feedback na die handeling bekijken gebruikers steeds of het resultaat nog past binnen het hoofddoel, het oorspronkelijke plan. Daarbij moeten gebruikers dan onthouden wat de volgende handeling in hun handelingsplan was, of moeten ze nieuwe handelingen initiëren. Kortom tijdens interacties bepalen gebruikers steeds opnieuw wat het volgende doel of subdoel moet zijn voor de volgende interactie-cyclus. Rasmussen gaat er vanuit dat dit reguleren van handelingen op verschillende niveaus gebeurt. Hij onderscheidt een *knowledge-based* niveau, een *rule-based* niveau en een *skill-based* niveau. Wanneer gebruikers op knowledge based niveau handelen, denken zij bewust na wat de volgende handeling zou moeten zijn; ze maken een aantal afwegingen op basis van wat ze weten en wat ze zien, bedenken een handelingsplan (een aantal te stellen subdoelen), besluiten dan tot een handeling, bekijken het resultaat daarvan en gaan nog eens heel bewust na of dit het resultaat is dat beoogd was.

Een voorbeeld: wanneer je een zeilboot met behulp van het roer naar links wilt sturen, moet je de stok van het roer naar rechts bewegen. Stel dat je weet hoe zo'n roer ongeveer werkt, dan kun je op basis daarvan gaan beredeneren hoe je de roerstok moet bewegen om de boot naar links te bewegen.

Wanneer mensen op rule-based niveau werken, nemen ze iets (een situatie, een toestand) waar, herkennen deze en weten zonder er verder bij na te hoeven denken welke reeks van subdoelen en handelingen (die ze al ooit eerder op knowledge-based niveau bedacht hebben) gebruikt kan worden.

Een voorbeeld: wanneer je de zeilboot uit het voorgaande voorbeeld al vele malen bestuurd hebt, zul je op het moment dat je ziet dat je met de boot naar links moet, niet meer na hoeven te denken hoe je dat moet doen. Je past dan gewoon de geleerde regel: 'als de boot naar links moet, beweeg dan de roerstok naar rechts' toe. Je hoeft nu alleen nog maar op te letten of de boot niet teveel of te weinig naar links gaat.

Het essentiële verschil tussen knowledge-based en rule-based handelen is dus dat bij knowledge-based handelen een reeks van handelingen, een handelingsplan, ontwikkeld wordt, terwijl bij rule-based handelen gekozen wordt uit een aantal eerder ontwikkelde handelingsplannen. In het geval van rule-based handelen is er dus, wanneer eenmaal gekozen is voor een handelingsplan geen sprake meer van bewust stellen van subdoelen, initiëren van handelingen, waarnemen van feedback en interpreteren daarvan. Na het stellen van het te bereiken doel wordt het passende handelingsplan 'uit de kast getrokken' en 'op de automaat' uitgevoerd. Pas na uitvoering van het handelingsplan wordt geëvalueerd of het gestelde doel is bereikt. Het uitvoeren van de handelingen zelf gaat op skill-based niveau (ook wel sensorisch niveau genoemd); tijdens het uitvoeren van motorische handelingen (op skill-based niveau) vindt geen bewuste bijsturing plaats, maar gaat alles 'op de automaat'.

In combinatie met elkaar bieden de twee modellen een goede kapstok om te beschrijven wat voor problemen er op kunnen treden in interacties. Immers in beide delen van de handelingscyclus volgens Norman (zowel planning en actie-deel, als feedback-deel) kunnen problemen optreden en dat kan zowel gebeuren wanneer dat

handelen plaatsvindt op knowledge-based niveau, als wanneer dat plaatsvindt op rule-based niveau of op skill-based niveau. Zapf et al. (1989) komen op deze manier tot het volgende overzicht van mogelijke interactie-problemen, waarvan zij middels een uitgebreid veldonderzoek de bruikbaarheid hebben onderzocht.

Een overzicht van mogelijke interactie-problemen

In figuur 19.3 is het overzicht van interactie-problemen volgens Zapf weergegeven. De problemen zijn hier als het ware langs twee assen uitgezet: langs de horizontale as de handelingscyclus van Norman (enigszins aangepast: planning/action, monitoring, feedback) en langs de verticale as de niveaus van Rasmussen (knowledge-based, rule-based en skill-based). Daarnaast onderscheiden Zapf et al. nog een categorie van problemen, die te maken hebben met de kennis die vereist is om de juiste doelen te kunnen stellen. Zij noemen dat de regulatiegrondslag.

regulatiegrondslag	weetfouten		
regulatie-niveau (vgl. Rasmussen)	fasen in het handelingsproces (vgl. Norman)		
	planning/action	monitoring	feedback
knowl.-based	denkfouten	vergeet-fouten	beoordelings-fouten
rule-based	gewoontefouten	verzuimfouten	herkennings-fouten
skill-based	bewegingsfouten	bewegingsfouten	bewegingsfouten

Figuur 19.3 Taxonomie van interactie-problemen volgens Zapf (1989)

Hieronder (in figuur 19.4) wordt:

- per soort probleem uitgelegd wat er onder verstaan moet worden (de zinnen met de o);
- ieder soort probleem geïllustreerd aan de hand van voorbeelden uit het gebruik van een koffie-automaat (de zinnen met de -);
- bij elk van de problemen aangegeven hoe het user interface zou kunnen bijdragen aan het voorkómen of afhandelen van het probleem (de zinnen met de *).

fouttype	voorbeeld en oplossingsrichting
weetfouten	<ul style="list-style-type: none"> o de gebruiker mist de benodigde kennis om zijn taak uit te kunnen voeren, om een goed handelingsplan op te stellen. - de gebruiker weet niet of er ook 'vijf-gulden'munten in de automaat kunnen * een duidelijke melding op de plaats waar de geldinworp zit kan de gebruiker van de benodigde kennis voorzien
denkfouten	<ul style="list-style-type: none"> o de gebruiker bedenkt een verkeerd plan voor het bereiken van zijn doel - de gebruiker drukt de knop 'extra suiker' in, voordat hij de knop 'koffie' indrukt, i.p.v. tegelijkertijd * er zou een aanduiding moeten komen dat de knoppen tegelijkertijd ingedrukt moeten worden, of er zou een meer intuïtieve bedieningswijze bedacht moeten worden (bijvoorbeeld een aparte knop 'koffie met veel suiker').

- vergeet-fouten
 - de gebruiker vergeet een deel van zijn oorspronkelijke handelingsplan
 - de gebruiker vergeet wat hij ook al weer voor zijn collega mee zou brengen
 - * wanneer de koffie-automaat zou werken met persoonlijke magneetkaartjes i.p.v. met geld, zou op zo'n kaartje de vaste keuze van de eigenaar kunnen staan
- beoordelings-fouten
 - de gebruiker begrijpt de meldingen van het systeem verkeerd of onderkent toestandsveranderingen niet
 - wanneer de gebruiker ten onrechte eerst geld in de automaat heeft gedaan i.p.v. eerst een keuze gemaakt te hebben, gaat bij wijze van foutmelding het ingeworpen bedrag op een display knipperen; de gebruiker vat het knipperen op als een bevestiging dat het geld geaccepteerd is.
 - * het apparaat zou een explicietere foutmelding moeten geven.
- gewoonte-fouten
 - de gebruiker maakt verkeerde plannen als gevolg van vaste gewoontes
 - de gebruiker is een andere automaat gewend, waar altijd eerst geld ingegooid moet worden voordat gekozen wordt; zonder na te denken doet hij dat bij deze (anders werkende) automaat ook
 - * de geldinworp zou pas moeten openen nadat een keuze gemaakt is en de volgorde van handelen zou duidelijk aangegeven moeten worden
- verzuim-fouten
 - de gebruiker vergeet, of komt niet op het idee bekende handelingsplannen te gebruiken
 - (stel dat het apparaat werkt met het magneetkaartje zoals eerder beschreven) de gebruiker vergeet na het krijgen van zijn koffie zijn magneetkaart er weer uit te halen
 - * de automaat zou, zoals bij een giromaat, eerst het kaartje terug kunnen geven voordat de koffie 'geschonken' wordt.
- herkennings-fouten
 - de gebruiker ziet systeemmeldingen over het hoofd
 - de gebruiker ziet een lampje bij de geld-inworpsleuf over het hoofd en heeft daardoor niet in de gaten dat hij in dit geval met gepast geld moet betalen
 - * de aanduiding zou duidelijker moeten, of het apparaat kan een melding geven wanneer niet met gepast geld betaald is.
- bewegings-fouten
 - de gebruiker wil iets aanwijzen, indrukken, aanklikken of op een bepaalde manier bewegen, maar 'schiet door', klikt net mis of maakt een andere verkeerde beweging
 - de gebruiker wil op de knop voor koffie drukken, maar doordat die knop direct naast de chocolademelkknop zit, wordt die per ongeluk ingedrukt
 - * het veranderen van de onderlinge afstand tussen de knoppen, hun plaats, hun grootte en hun vorm zou kunnen helpen dit probleem te voorkomen

Figuur 19.4 Voorbeelden van verschillende fouttypen.

Bij het analyseren van ontwerpvoorstellen aan de hand van bovenstaande problemen kan langs twee wegen naar oplossingen gezocht worden. Er kan gezocht worden naar mogelijkheden om de problemen te voorkómen of naar mogelijkheden om de problemen als ze optreden goed af te handelen, zodat de gebruiker daarna weer verder kan in de interactie.

19.3.2 Exploratief leren

Industrieel ontwerpers hebben veel te maken met het ontwerpen van producten waarvan het gebruik geleerd moet worden zonder handleiding of training. Dit soort leren wordt exploratief leren genoemd. Om bij het ontwerpen van user interfaces rekening te kunnen houden met het feit dat mensen exploratief het gebruik moeten leren, is het nodig iets te weten over wat exploratief leren is.

Draper en Barton (1993) hebben een onderzoek uitgevoerd waarin ze gebruikers exploratief een tekenprogramma lieten leren gebruiken. Doel van hun onderzoek was onder andere om inzicht te verkrijgen in wat exploratief leren nu eigenlijk is. Een belangrijke bevinding van Draper en Barton is dat gebruikers zich bij bedieningshandelingen twee soorten doelen kunnen stellen:

1. zoeken naar een commando dat een bepaald effect bewerkstelligt, of
2. te weten willen komen wat de functie van een bepaald commando is en hoe het gebruikt moet worden.

Bij exploratief leren komen beide doelen in wisselwerking met elkaar voor. De verhouding waarin die doelen voorkomen lijkt sterk af te hangen van o.a. het soort interface dat geleerd moet worden. Draper en Barton stellen daarom dat aan ieder commando of icon de volgende basis-eisen gesteld kunnen worden:

1. gebruikers moeten het benodigde commando kunnen herkennen wanneer ze er naar streven een bepaald effect te bewerkstelligen, m.a.w. ze moeten het kunnen vinden wanneer ze er naar op zoek zijn (vgl. de matchingtest bij pictogrammen (zie hoofdstuk 15), waarbij gebruikers het juiste pictogram moeten herkennen uit een aantal aangeboden pictogrammen)

Stel een gebruiker van een tekenprogramma wil een stuk tekst bij zijn tekening zetten. Hij heeft de keuze uit het activeren van iconen die een kwastje, een cirkeltje of een letter A voorstellen. Als hij alleen het icoontje met de A zou zien zou hij misschien nog niet kunnen afleiden dat dit icoontje betekent dat je tekst kunt gaan invoeren. Omdat hij echter vermoedt dat er wel een tekstfunctie op zal zitten en die waarschijnlijk niet gerepresenteerd zal zijn door het kwastje of het cirkeltje, zal hij wellicht tot de conclusie komen dat hij daarvoor het 'A'-icon moet activeren.

2. gebruikers moeten, wanneer ze een commando, object of icon tegenkomen in het user interface, kunnen afleiden waartoe het dient (welk effect het gebruik van het commando heeft), hetzij op voorhand, hetzij door het te gebruiken en de feedback na het gebruik ervan waar te nemen en te interpreteren (vgl. de begrijpelijkheidstest bij pictogrammen (zie hoofdstuk 15) waar gebruikers bij het zien van een enkel pictogram moeten aangeven wat ze denken dat het betekent);

Wanneer een gebruiker exploratief zijn eerste tekenprogramma leert gebruiken en daarbij het lasso-tekentje tegenkomt zal hij wellicht niet direct begrijpen dat dit dient om informatie te selecteren, die daarna bewerkt kan worden;

3. gebruikers moeten kunnen begrijpen hoe ze het commando kunnen activeren.

Om uit te kunnen proberen wat voor functie het lasso-tekentje heeft moet het duidelijk zijn hoe het gebruikt moet worden: door op het icon te klikken, vervolgens in de buurt van het te selecteren object de muisknop in te drukken en er daarna met de muisknop ingedrukt omheen te bewegen.

Daarnaast deden Draper en Barton nog de volgende observaties m.b.t. exploratief leren:

1. Mensen proberen dingen in een vrij willekeurige volgorde uit. Gebruikers bekijken bijvoorbeeld vaak eerst alle menu's, activeren dan een schijnbaar willekeurig gekozen commando om te zien wat er gebeurt en gaan dan soms iets systematischer een reeks volgende commando's uitproberen.
2. Nadat gebruikers uitgevonden hebben hoe iets werkt, vergeten ze het soms even later weer. Hoewel mensen door exploratie vaak duidelijk commando's leren gebruiken, weten ze als ze later weer bij zo'n commando komen soms niet meer hoe dat werkte.
3. Mensen komen niet vaak 'vast' te zitten. Het komt vaak voor dat mensen niet achter de functie of de werking van een commando komen, maar meestal heeft dit niet tot gevolg dat men vast komt te zitten: als men echt niet achter de functie of werking van een commando komt, geeft men het (tijdelijk) op en gaat men verder met andere commando's.
4. Mensen komen later terug bij commando's die ze nog niet hadden begrepen. Eerder geprobeerde en niet begrepen commando's worden vaak in een later stadium opnieuw geëxploreerd om opnieuw te proberen ze te begrijpen.

In een vrij uitgebreid (al wat ouder) veldonderzoek naar het leren werken met tekstverwerkers komen Mack et al. (1984) tot de volgende reeks bevindingen:

1. Learning is difficult
 - Learners experience frustration and blame themselves
 - Learning takes longer than expected, and learners have trouble applying what they know after training.
2. Learners lack basic knowledge
 - Learners are naïve about how computers work (for example, they do not understand computer jargon).
 - Learners do not know what is relevant to understanding and solving problems.
3. Learners make *ad hoc* interpretations
 - Learners try to construct interpretations for what they do or for what happens to them.
 - Learners' interpretations can prevent them from seeing that they have a problem.
4. Learners generalize from what they know
 - Learners assume that some aspects of text editors will work like typewriting (especially functions that simply move the typing point on a typewriter).
 - Learners assume that text editing operations will work consistently.
5. Learners have trouble following directions
 - Learners do not always read or follow directions.
 - Learners do not always understand or correctly follow directions even when they try.
6. Problems interact
 - Learners have trouble understanding that one problem can create another.
7. Interface features may not be obvious
 - Learners can be confused by prerequisites and side effects of procedures.
 - Learners can be confused by feedback messages and the outcome of procedures.
8. Help facilities do not always help
 - Learners do not always know what to ask for.

- Help information is not always focused on the learner's specific problem.

Zowel de bevindingen van Draper en Barton als van Mack et al. maken duidelijk, dat het proces van leren werken met een programma geen mooi systematisch proces is. Het is een proces dat vooral gestuurd wordt door wat de gebruiker tijdens het leren 'tegenkomt' in de interactie. Over de psychologische processen die een dergelijk leerproces sturen is niet zo heel veel bekend. Dit geldt vooral in die gevallen waarbij gebruikers zich ten doel stellen dat ze van een commando te weten willen komen hoe het werkt en wat de functie er van is (één van de twee eerder genoemde doelen zoals Draper en Barton die signaleren). Anders is het wanneer mensen zichzelf taken stellen (het andere door Draper en Barton gesignaleerde doel). In dergelijke gevallen probeert men een bepaald effect te bewerkstelligen en kiest men daartoe het meest geschikte commando. Voor dit soort exploratief leren is door Polson e.a. (1992) een 'model van exploratief leren' ontwikkeld.

Een uitgangspunt van het model van Polson et al. is een interactiecyclus zoals Norman die beschrijft (zie hoofdstuk 13). Belangrijk van het model van Norman is in dit verband met name het feit dat handelingen gekozen worden op basis van een structuur van doelen en subdoelen. Globaal werkt het model van Polson et al. als volgt: de gebruiker heeft de taak die verricht moet worden in een of andere vorm in zijn hoofd en vormt op basis van die taak een doel met een aantal voorlopige subdoelen. Omdat de gebruiker het produktgebruik nog moet leren ligt het voor de hand dat deze structuur van doelen en subdoelen in dit stadium nog verre van compleet is en meestal fouten bevat. De (sub)doelen worden gevormd op basis van 'hogere' doelen, kennis en ervaring die men heeft met dit of een ander produkt en de informatie die men ziet of hoort (bijvoorbeeld de labels bij knoppen). Gedurende de interactie werkt de gebruiker zich door de doelenstructuur die gaandeweg steeds aangepast en aangevuld wordt. Het laagste niveau subdoel dat daarin voorkomt is dat van het verrichten van een handeling (bijvoorbeeld het subdoel 'indrukken van de knop met het label 'off').

Aan de hand van het voorbeeld van de koffie-automaat volgt nu een bedacht voorbeeld van hoe zo'n proces (volgens Polson et al.) zou kunnen verlopen; een gebruiker komt voor het eerst bij de automaat en wil koffie met suiker. Zijn doel is 'een bekertje koffie met suiker uit de automaat krijgen'. Op basis van ervaring weet hij dat hij er voor moet betalen, op de automaat ziet hij hoeveel. De volgorde waarin hij wil gaan handelen bepaalt hij op basis van zijn ervaring met een andere automaat waar hij normaal koffie uit haalt: eerst geld erin doen, dan een keuze maken voor 'koffie met suiker'. Zijn doelenstructuur wordt dus:

hoofddoel:	bekertje koffie met suiker uit de automaat krijgen
subdoel 1:	geld inwerpen, daarna
subdoel 2:	knop 'koffie met suiker' indrukken

Hij gooit geld in de automaat, het valt er door en er wordt een melding getoond met 'eerst uw keuze maken'; de gebruiker ziet de melding niet, denkt aan een technisch probleempje en probeert het nog een keer; weer lukt het niet. Dan ziet hij de melding en realiseert hij zich tevens dat er ook automaten zijn waar je niet moet beginnen met geld-inwerpen maar met het maken van een keuze (bijvoorbeeld de kaartverkoopautomaat van NS). Die ervaring gebruikt hij om zijn doelenstructuur bij te stellen:

hoofddoel:	bekertje koffie met suiker uit de automaat krijgen
subdoel 1:	knop 'koffie met suiker' indrukken, daarna

subdoel 2: geld inwerpen

Hij wil de handelingen gaan uitvoeren en vindt op het apparaat geen knop 'koffie met suiker', maar wel twee afzonderlijke knoppen 'koffie' en 'suiker'. Zijn doelenstructuur wordt:

hoofddoel: bekertje koffie met suiker uit de automaat krijgen

subdoel 1: knop 'koffie' indrukken, dan

subdoel 2: knop 'suiker' indrukken, vervolgens

subdoel 3: geld inwerpen

Hij voert de reeks uit, proeft aan de koffie en merkt dat er geen suiker in zit. Hij kijkt nog eens op het apparaat en ziet een bijschrift bij de suikerknop dat er op duidt om de hoeveelheid te doseren de suikerknop tijdens het schenken van de koffie ingedrukt gehouden moet worden. Hij gooit zijn koffie weg en 'bestelt' een nieuw kopje m.b.v. zijn nieuwe doelenstructuur:

hoofddoel: bekertje koffie met suiker uit de automaat krijgen

subdoel 1: knop 'koffie' indrukken, vervolgens

subdoel 2: geld inwerpen, daarna

subdoel 3: kijken of de koffie al geschonken wordt en als dat zo is

subdoel 4: de knop 'suiker' ingedrukt houden.

Om goed te kunnen begrijpen wat er gebeurt, zullen we nu aan de hand van het model van Polson et al. uitleggen waarom dit proces zo verloopt. We zullen eerst het proces van doel naar handelen nader bekijken en vervolgens het proces van het bijwerken van de doelenstructuur op basis van feedback.

Van doel naar handeling

Het komen van doel naar juiste handeling geschiedt op basis van associaties. De confrontatie met de koffie-automaat riep bijvoorbeeld onmiddellijk associaties op met een reeds bij de gebruiker bekende koffie-automaat. Een veel gebruikte strategie die mensen hanteren om op basis van een doel naar een handeling te komen, is de zogenaamde 'label-following strategy'. Bij die strategie kiest men een bepaalde handeling (zoals het indrukken van een knop) omdat er een bijschrift (een label) bij staat dat op een of andere manier geassocieerd wordt met het doel dat de gebruiker in zijn hoofd heeft.

Bijvoorbeeld: in de correcte doelenstructuur komt in het hoofddoel het woord 'koffie' voor en de gebruiker ziet een knop met het bijschrift 'koffie'. "Zoveel overeenkomst: die knop zal ik wel moeten indrukken" associeert de gebruiker terecht.

Belangrijk is om je te realiseren op welke manieren het 'komen tot een handeling' fout kan gaan:

- de terminologie van het label kan anders zijn dan die van het doel van de gebruiker:

Stel, de gebruiker wil chocolademelk en bij de knop staat het label cacao, dan zou het best zo kunnen zijn dat iemand niet weet dat dat hetzelfde is en daardoor niet weet welke knop hij moet indrukken; de associatie 'chocolademelk-cacao' ontbreekt dus.

- het kan onduidelijk zijn welk label bij welke knop hoort: het label kan

- bijvoorbeeld tussen twee knoppen in staan
- een knop kan er zo uitzien dat men niet ziet wat nu precies de knop is en wat het label is of dat men niet weet hoe de knop geactiveerd moet worden
- er kunnen nog andere knoppen zijn die geassocieerd kunnen worden met hetzelfde doel
- het label kan ontbreken, etc..

Het is een zinvolle exercitie voor een ontwerper van een user interface om eens op een wijze zoals hierboven geschetst na te gaan welk van de mogelijke problemen zich in het voorgestelde interface zouden kunnen voordoen. Hiervoor is het niet nodig dat het interface al gerealiseerd is, ook slechts op papier gespecificeerde interfaces zijn zo te analyseren. Polson e.a. ontwikkelde hiertoe de Cognitive Walkthrough methode, een vrij bewerkelijke checklist-evaluatiemethode die we hier niet verder zullen behandelen.

Het bijwerken van de doelenstructuur

Zoals eerder gezegd wordt er bij het model van Polson van uitgegaan dat de eerst ontwikkelde doelenstructuur incompleet en wellicht incorrect is. Doelen en subdoelen worden, al doende, gegenereerd voornamelijk op basis van meldingen en andere feedback van het user interface. Ervaring met en kennis over andere interacties, alsmede informatie op het produkt spelen hierbij eveneens een belangrijke rol.

In het voorbeeld zagen we dat het genereren van nieuwe doelen onder andere gebeurde op basis van: feedback van het produkt (de melding 'eerst uw keuze maken'), opschriften op het produkt (de afzonderlijke opschriften 'koffie' en 'suiker', het bijschrift 'de knop ingedrukt houden') en ervaring (herinnering aan de NS-kaartverkoopautomaat).

Wanneer een handeling is uitgevoerd, moet de doelenstructuur op basis van feedback worden bijgewerkt. Feedback speelt hierbij een belangrijke rol, om te bepalen of een doel verwezenlijkt is, of er progressie is geboekt naar een hoger doel of, een handeling het gewenste effect heeft gehad, etc.

In het voorbeeld zagen we dat doelen werden bijgesteld op basis van verschillende soorten feedback, zoals: de melding 'eerst uw keuze maken', het geluid van er door vallende kwartjes, koffie die niet zoet is (op verschillende vormen van feedback komen we later dit hoofdstuk nog terug).

Op basis van het model van Polson et al. kan een aantal ontwerpaanbevelingen worden opgesteld, die gericht zijn op het zodanig ontwerpen van een user interface dat het gebruik ervan exploratief geleerd kan worden. Het zijn geen aanbevelingen die blindelings kunnen worden toegepast om tot een goed ontwerp te komen, maar meer een checklist van punten waar je op moet letten:

- Zorg dat alle mogelijkheden van het produkt duidelijk te zien of gemakkelijk te vinden zijn;
 - Soms zit er op de achterkant van produkten nog een aantal knoppen, of zitten er knoppen achter klepjes en zijn de klepjes niet of nauwelijks als zodanig herkenbaar. Oplossingen als 'knoppen achter klepjes' kunnen zeer nuttig zijn om 'power users' de mogelijkheid te bieden extra functies te gebruiken. Het moet dan (vanuit het oogpunt van leerbaarheid door exploratie) echter wel zo zijn dat de 'niet-power-users' deze knopjes niet nodig hebben.
- Zorg dat van bijschriften en labels duidelijk is waar ze bij horen (dus geen labels

midden tussen twee knoppen)

Op afstandbedieningen is soms zo weinig plaats voor de grote hoeveelheid knopjes dat deze allemaal in een matrix dicht bij elkaar geplaatst zijn, met daartussen de labels; het is dan niet altijd duidelijk welk label bij welke knop hoort;

- Het label of menu-item moet zo direct mogelijk verwijzen naar het doel waarvoor de knop of het menu-item gebruikt kan worden;
Wanneer in een menu-balk het woordje 'diversen' als een van de menu-koppen wordt gebruikt, geeft dit geen enkele aanwijzing t.a.v. de functies die er onder dat kopje vallen;
- Kies labels en bijschriften zodanig dat ze ook aanwijzingen geven over wat de gebruiker allemaal met het produkt kan doen (vgl. use cues, hoofdstuk 22 en 23);
Wanneer op een thermostaat de labels 'dag', 'opstaan', 'vertrekken', 'thuiskomen' en 'slapen', 'tijd' en 'start programma' voorkomen kan een gebruiker daaruit afleiden dat het gaat om een thermostaat die te programmeren is voor meerdere dagen en waarbij meerdere periodes per dag kunnen worden ingesteld;
- De woorden in label of menu moeten zoveel mogelijk overeenkomen met de woorden die de gebruiker zou gebruiken wanneer hij het doel van die knop of menu-item zou benoemen;
Bij sommige computerprogramma's moet je om informatie op het scherm afgebeeld te krijgen het menu-item 'print' kiezen en vervolgens aangeven 'naar beeldscherm'. Een gebruiker zal het afbeelden van iets niet zien als printen op het scherm, de terminologie van het commando sluit hier niet aan bij de terminologie zoals de gebruiker die hanteert.
- Er moeten niet nog andere labels of menu-items zijn die in de ogen van de gebruiker ook naar hetzelfde doel zouden kunnen verwijzen;
Bij sommige tekenprogramma's komen zowel de woorden 'copy' als 'duplicate' als commando's voor; wanneer een gebruiker een tekening wil kopiëren zal hem niet zonder meer duidelijk zijn welk van de twee commando's hij/zij daarvoor zou moeten gebruiken;
- Zorg dat het aan de gebruiker (intuïtief) duidelijk is hoe hij/zij een knop in werking kan zetten of een menu-item kan selecteren;
Zorg dat een drukknop er bijvoorbeeld niet als een draaiknop uit ziet; een ander voorbeeld betreft knoppen zoals die op timers en horloges soms voorkomen en waarbij de functie van de knop verandert wanneer je hem langer dan bijvoorbeeld 2 seconden ingedrukt houdt (dan betekent het bijvoorbeeld 'tijd verwijderen' i.p.v. 'tijd' laten knippen om deze in te kunnen stellen);
- Zorg dat er geen fysieke kenmerken van de knop zijn die bediening ervan moeilijk maken
Op veel afstandbedieningen zijn de knopjes erg klein en zijn ze dicht bij elkaar geplaatst, waardoor het moeilijk is een bepaald knopje in te drukken; ook problemen als gevolg van te grote benodigde krachten vallen onder dit aandachtspunt.
- Zorg er voor dat de gebruiker na ieder actie een bevestiging krijgt die duidelijk maakt dat er vorderingen zijn gemaakt, zodat duidelijk is dat de gebruiker weer een stapje verder is en niet een verkeerde stap heeft gemaakt;
- Als het voor het bereiken van een bepaald doel of subdoel nodig is meerdere handelingen na elkaar te verrichten, zorg dan dat duidelijk is voor de gebruiker

hoeveel stappen er gedaan moeten worden;

Voor het programmeren van een videorecorder is vaak een reeks van stappen nodig (kanaal, dag, begintijd, eindtijd); wanneer op een overzichtsdisplay een 'formuliertje' wordt getoond waarop alle in te stellen parameters staan aangegeven is duidelijk wat er in te stellen is en wat al ingesteld is; aan de hand van dat display kan de gebruiker dan tevens zien dat hij vorderingen maakt t.a.v. het bereiken van zijn doel (het programmeren van de video); wanneer het instellen gebeurt door een aantal keer een vraag aan de gebruiker te stellen, is het de gebruiker niet duidelijk hoeveel stappen er nog komen; een probleem wat ook met dit aandachtspunt te maken heeft, is het probleem van het al of niet met een 'enter' afsluiten van een reeks invoerhandelingen.

Een van de zaken die onmiddellijk duidelijk wordt op basis van het model van Polson et al. is de belangrijke rol die feedback speelt bij exploratief leren. In de volgende paragraaf zal daarom kort een overzicht over verschillende niveaus, vormen en soorten feedback worden gegeven.

Feedback

Hoewel de paragraaf over feedback hier onder de paragraaf over exploratief leren valt, is het niet zo dat feedback alleen belangrijk is bij het leren gebruiken van user interfaces. Ook voor ervaren gebruikers is feedback van groot belang, bijvoorbeeld in verband met fouten die gemaakt worden bij routinematig handelen.

We zullen hier op vier verschillende manieren onderscheid maken in soorten feedback:

- naar het belang van de feedback,
- naar de bron en aard van de feedback,
- naar het tijdstip waarop de feedback gegeven wordt en
- naar de modaliteit die gebruikt wordt.

Redundante vs. noodzakelijke feedback.

Hammond (1987) maakt onderscheid tussen redundante feedback en noodzakelijke feedback. Noodzakelijke feedback is feedback die waargenomen moet zijn om verder te kunnen gaan met de interactie, terwijl dit bij redundante feedback niet het geval is.

Wanneer bij een koffie-automaat na het maken van de keuze 'koffie' het lampje in de 'koffie'-knop gaat branden als bevestiging dat er voor koffie en niet voor chocolademelk is gekozen, is er sprake van redundante feedback: het is immers niet zo dat het niet zien van het lampje leidt tot een stagnatie in de interactie. Wel kan het zo zijn dat door het niet waarnemen van die feedback een fout niet opgemerkt wordt.

Wanneer bij een koffie-automaat, pas een keuze gemaakt kan worden, wanneer bij de verschillende keuzemogelijkheden een lampje gaat branden, is er sprake van noodzakelijke feedback; pas wanneer je gezien hebt dat het lampje brandt kun je verder met de interactie.

Dit onderscheid tussen redundante en noodzakelijke feedback is voor user interface ontwerpers onder andere van belang in verband met de nadruk die de feedback moet krijgen in het ontwerp. Noodzakelijke feedback móet waargenomen worden en moet dus opvallen of aandacht trekken. Redundante feedback moet waarneembaar zijn, maar moet (ook op den duur) niet hinderlijk worden of de aandacht van mensen die die feedback niet nodig hebben afleiden.

Automatische vs. ontworpen feedback.

Het eerder genoemde voorbeeld van het 'er door vallende kwartje' brengt ook een ander onderscheid tussen soorten feedback naar voren (waarover in de literatuur over user interfaces niet veel te vinden is), namelijk het onderscheid tussen 'automatische' feedback en 'ontworpen' feedback (Barfield, 1993). Het geluid van het 'er door vallende kwartje' is 'automatische' feedback, de melding hoeveel geld er al in de automaat zit is 'ontworpen' feedback. Het feit dat er over dit onderscheid in de literatuur weinig te vinden is, wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de meeste literatuur over user interfaces betrekking heeft op computer user interfaces (waar nauwelijks automatische feedback is), terwijl vooral bij produkt-user interfaces automatische feedback veel voorkomt. Nog een voorbeeld:

Wanneer je bij een kopieerapparaat op de groene startknop hebt gedrukt en het apparaat gaat werken, hoor je zowel automatische feedback (het mechanische geluid van het apparaat) als ontworpen feedback (de melding ' bezig met kopiëren').

Aan automatische feedback wordt bij het ontwerpen vaak niet gedacht. Het zich realiseren van de aanwezigheid ervan kan echter besparing van ontwerpwerk betekenen: de aanwezigheid van automatische feedback kan in sommige gevallen ontworpen feedback namelijk overbodig maken.

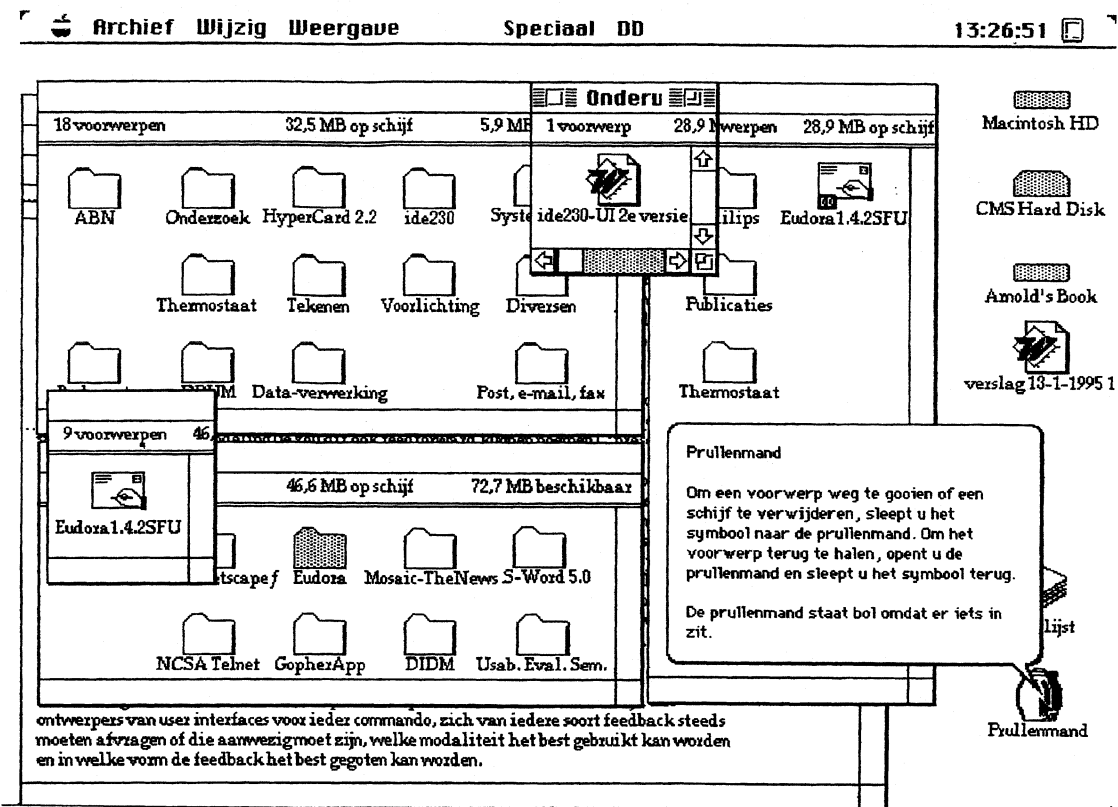
Nog een voorbeeld van automatische en ontworpen feedback: het schakelen van een auto kan bijvoorbeeld uitstekend op het gehoor gebeuren en in veel auto's kan het ook niet anders dan op het gehoor (automatische feedback); in luxere auto's waarin het geluid van de motor minder goed te horen is, is er vaak wel feedback ontworpen en kun je op je toerenteller aflezen of je moet schakelen (ontworpen feedback).

Feedback voorafgaand aan, tijdens en na een handeling.

Feedbackinformatie kan ook ingedeeld worden naar het moment waarop de feedback

Bij 'directe manipulatie interfaces kunnen documenten weggegooid worden door het icon dat het document representeert op het beeldscherm 'aan te klikken' en te verslepen naar een prullebakje. Tijdens het verslepen beweegt een vereenvoudigde afbeelding van het icon mee ('present feedback'). Nadat het document in de prullebak gegooid is, verandert de prullebak van uiterlijk, hij wordt dikker om aan te geven dat hij vol zit ('past feedback'). Op Apple Macintosh computers bestaat de mogelijkheid 'ballon hulp' te krijgen. Wanneer die ingeschakeld is, verschijnt wanneer je met de cursor op bijvoorbeeld de prullebak staat een tekstballon met daarin de tekst "Om een voorwerp te verwijderen versleept u het naar de prullebak.... De prullebak staat bol, omdat er wat in zit" (zie afbeelding 19.5); ballonhulp is een voorbeeld van 'future feedback'. Future feedback bestaat echter niet alleen uit zoiets als instructies of aanwijzingen voor gebruik. Ook balkjes die 'vollopen' om gebruikers een indruk te geven van hoe lang zij nog moeten wachten tot een bepaalde actie afgerond is, vallen onder future feedback.

gegeven wordt. Barfield (1993) onderscheidt 'future feedback' die voorafgaat aan een handeling (je zou dit ook feedforward kunnen noemen), 'present feedback' tijdens een handeling en 'past feedback' na afloop van een handeling.



Figuur 19.5 Voorbeeld van 'ballon hulp' op een Apple Macintosh.

De indeling van feedback naar future, present en past feedback maakt duidelijk dat ontwerpers van user interfaces zich voor ieder commando steeds moeten afvragen of die aanwezig moeten zijn.

Visuele, auditieve en tactiele feedback.

Hoewel bij het ontwerpen van user interfaces feedback in het algemeen hoofdzakelijk visueel van aard is, is het belangrijk je te realiseren dat ook auditieve en tactiele feedback van belang zijn in interacties. In enkele van de voorbeelden hierboven was bijvoorbeeld al sprake van auditieve feedback (het schakelen van de auto, het er door vallen van een kwartje). Dit zijn alle voorbeelden van automatische auditieve feedback. Auditieve feedback in 'ontworpen' vorm wordt nog niet veel toegepast anders dan in de vorm van harde 'bieps'. Toch is er in de literatuur meer en meer aandacht voor auditieve feedback in de vorm van ontworpen geluidjes en in de vorm van feedback d.m.v. spraak.

Ook tactiele feedback is iets waarover weinig meer gepubliceerd wordt dan dat wat betrekking heeft op het indrukken van knoppen. Toch is het in sommige situaties wel van belang dat ontwerpers zich er van bewust zijn, met name in situaties zoals bij touch screens waarbij gebruikers 'knoppen' op het beeldscherm moeten aanraken. Bij dergelijke knoppen ontbreekt de (automatische) auditieve en tactiele feedback van hardware knoppen en is het van belang dat de ontwerper andere feedback als vervanging ontwerpt. Daarnaast kan met name auditieve feedback ook bewust gebruikt worden om het visuele systeem te ontlasten, doordat niet alles visueel gepresenteerd wordt.

Samenvattend is het voor een ontwerper steeds van belang zich over feedback af te vragen:

- of er voldoende automatische feedback is, of dat er ook feedback ontworpen moet worden
- wanneer feedback gegeven moet worden (voorafgaand aan, tijdens of na een actie)
- welke modaliteit(en) het best gebruikt kan (kunnen) worden voor de feedback (visueel, auditief en/of tactiel) en
- of het gaat om redundante of noodzakelijke feedback (om te bepalen hoe opvallend de feedback moet zijn).

19.3.3 Aandacht

Elders in het diktaat (zie hoofdstuk 12) is het begrip aandacht aan de orde gekomen. Kennis en begrip hiervan is van belang bij het ontwerpen van user interfaces. In deze paragraaf zal aandacht worden besteed aan de vraag waarom het begrip aandacht zo van belang is. De consequenties ervan voor het user interface ontwerpen worden besproken.

De capaciteit van mensen om hun aandacht te richten op een bepaalde gebeurtenis of een bepaald stuk informatie te midden van vele gebeurtenissen of brokken informatie, noemen we 'selectieve aandacht' (selective attention). Het wisselen tussen aandacht op het een of op het ander kan deels onder besturing van de vrije wil gebeuren, maar wordt ook deels bepaald door opvallendheidskenmerken van concurrerende informatie. Tijdens het autorijden kan onze aandacht bijvoorbeeld afgeleid worden door lichtreclames langs de kant van de weg, terwijl we eigenlijk op het verkeer zouden moeten letten. Van de ene kant zorgt het feit dat we onze aandacht kunnen richten er voor dat we overweg kunnen met grote hoeveelheden informatie, door er bepaalde stukken uit te isoleren. Van de andere kant kunnen we, doordat we onze aandacht niet overal op kunnen richten, niet alle informatie uit onze omgeving in de gaten houden. De vraag is nu wat dit voor consequenties heeft voor het user interface ontwerp. Wetende dat mensen niet overal tegelijk kunnen zijn met hun aandacht en wetende dat de aandacht van mensen afgeleid kan worden, hoe kunnen we dan een user interface zodanig ontwerpen dat de aandacht van de gebruiker steeds op de voor dat deel van de taak benodigde informatie gericht is of wordt?

Wat zijn de factoren die bepalen waar de aandacht op gericht is? Zoals eerder aangegeven kan de aandacht zowel *vrijwillig* als *buiten de wil om* gestuurd worden. Dit onvrijwillig sturen van de aandacht gebeurt in een soort wisselwerking tussen *externe oorzaken* (op basis van kenmerken van aanwezige informatie) en *interne oorzaken* (zoals verwachtingen van de gebruiker).

Externe oorzaken worden vooral bepaald door informatie-kenmerken zoals bijvoorbeeld intensiteit, kleur en toonhoogte. Interne oorzaken kunnen bijvoorbeeld te maken hebben met aspecten van de informatie zoals nieuwheidswaarde, verandering, verrassendheid, complexiteit, dubbelzinnigheid, etc. Dit zijn alle aspecten die te maken hebben met de verwachtingen van de gebruiker.

Normaal gesproken wordt bij interacties de aandacht gestuurd door verwachtingen (Stolk et al., 1990): een goed interface presenteert relevante informatie op de plek waar

de gebruiker die verwacht. Daar tegenover staat dan weer dat die verwachting ook weer voor een belangrijk deel door het interface wordt gevormd. Het vinden van informatie kan vergemakkelijkt worden door een goede organisatie van het scherm: een goede schermlayout, of in het geval van bedieningspanelen op produkten bijvoorbeeld een overzichtelijke ordening van knoppen en displays. Het feit dat ons aandachtsgebied beperkt is, betekent verder dat je als ontwerper beperkt bent in de hoeveelheid informatie die je tegelijk kunt aanbieden aan gebruikers. Een scherm moet niet te vol staan, een bedieningspaneel moet niet teveel knoppen en displays bevatten (dat is ook de reden dat bij veel afstandbedieningen er in veel gevallen knoppen achter klepjes zitten, of dat een programma is opgedeeld in modes).

In sommige gevallen moet de aandacht van de gebruiker naar de informatie getrokken worden door opvallendheidskenmerken van die informatie (zoals kleur, knippering, geluidseffecten (zie ook hoofdstuk 15)). Een van de grotere user interface problemen voor gebruikers is het niet weten waar men moet kijken om relevante informatie voor de volgende actie te vinden. Aandachttrekkende elementen kunnen daar dan bij helpen.

In het voorbeeld van de koffie-automaat viel het lampje dat aangaf dat er met gepast geld betaald moest worden niet op, een knipperend lampje zou wellicht wel opgevallen zijn.

Een ander voorbeeld vinden we vaak bij kaartverkoopautomaten. Daar wordt de gebruiker steeds naar de volgende stap in de interactie geleid door op de plek waar de gebruiker zijn volgende keuze moet maken een lampje te laten branden, of een knop te laten oplichten.

Samenvattend is het begrip aandacht van belang in verband met:

- het presenteren van informatie op beeldschermen (hoeveelheid en organisatie)
- het bepalen van de lay-out van bedieningsvlakken (hoeveelheid en lay-out van knoppen en displays)
- het sturen van de aandacht van de gebruiker naar bepaalde plekken op het beeldscherm of bedieningsvlak
- de plaatsing van informatie op plaatsen waar de gebruiker die verwacht.

19.3.4 Mentale modellen en metaforen

Wanneer gebruikers een nieuw programma of produkt moeten leren gebruiken maken ze daar bij het interpreteren en voorspellen van het 'gedrag' van het produkt gebruik van reeds aanwezige kennis (zie hoofdstuk13). De bevindingen van Mack et al. (1984) lieten bijvoorbeeld zien dat gebruikers die voor het eerst met een tekstverwerker leerden werken vaak dachten in termen van typemachines. Het gebruik van dergelijke analogieën (zoals tussen tekstverwerkers en typemachines) biedt gebruikers houvast om het nieuwe produktgebruik te leren begrijpen op basis van het gebruik van een reeds bekend produkt. In dit verband wordt gesproken over begrippen als mentale modellen, schemata en scripts (zie hoofdstuk13).

Van het begrip 'mentaal model' bestaat (nog) geen algemeen aanvaarde definitie. Drie elementen komen echter in vrijwel alle definities voor (Stolk et al., 1990):

- mentale modellen zijn representaties van systemen of condities (en bestaan slechts in het hoofd van de gebruiker)
- het mentale model heeft een structuur die gelijkenis vertoont met die van het systeem of de conditie die gerepresenteerd wordt

- de gebruiker kan zich bepaalde veranderingen of bewegingen binnen het model voorstellen en heeft zo ideeën over het effect van veranderingen in het systeem of de conditie.

Vaak zullen gebruikers geen kloppende verklaringen kunnen geven over 'waarom' bepaalde dingen gebeuren of op een bepaalde manier moeten worden gedaan. Zolang ze met de aanwezige kennis echter uit de voeten kunnen en verder kunnen leren is dat niet zo'n probleem. Gedurende de interactie zal de gebruiker zich (hopelijk) een steeds samenhangender beeld van die interactie kunnen vormen.

Het bovenstaande zou de indruk kunnen wekken dat in het menselijk brein werkelijk zoiets samenhangends als een mentaal model bestaat. Waarschijnlijker is het echter dat er veeleer sprake is van een hoeveelheid fragmentarische, slechts enigszins samenhangende kennis over het gebruik van een produkt.

Waarom wordt die term 'mentaal model' dan toch gebruikt? De voornaamste reden daarvoor is waarschijnlijk dat het een goed ontwerphulpmiddel is; dat wil zeggen: de ontwerper moet proberen een samenhangend geheel te maken van de verschillende aspecten van het gebruik van een produkt (bijvoorbeeld middels het gebruik van metaforen), om zo de kans groter te maken dat er samenhang ontstaat in de kennis die de gebruiker heeft over het gebruik van dat produkt. Het oproepen van een mentaal model moet dus een *streven* van de ontwerper zijn, maar het lijkt een illusie om te denken dat een zelfde samenhangend en kloppend mentaal model ook *daadwerkelijk* bij de gebruiker zal of kan ontstaan.

Zoals gezegd, wordt het 'mentale model' van de gebruiker dus voor een belangrijk deel gevormd op basis van de eerste confrontatie van de gebruiker met het systeem. Een van de middelen die de gebruiker kan helpen bij dit proces is het gebruik van metaforen. Metaforen kunnen er voor zorgen dat bij de eerste kennismaking met een produkt, geschikte analogieën worden aangeroepen.

'Metafoor' is van oorsprong een taalkundig begrip. Metaforen worden in literatuur en in de dagelijkse taal gebruikt. Het doel ervan is om iets (een proces, een situatie, etc.) dat nog onbekend en onduidelijk of abstract is, uit te leggen met behulp van termen/woorden die horen bij een ander proces of andere situatie, die wél bekend en duidelijk is. Om een beeld of inzicht te krijgen in het onbekende of abstracte wordt het geassocieerd met het bekende, met concrete dingen die men ervaart of ervaren heeft. Volgens Van Dale is een metafoor een figuurlijke uitdrukking berustend op een vergelijking.

Voorbeeld: Men praat soms over onderhandelen alsof het een oorlog is; men gebruikt oorlogstermen en -woorden om dat te suggereren.

- 'We moeten ons standpunt *verdedigen*'
- 'Er moet een *strategie* opgesteld worden om hun standpunt *aan te vechten*'
- 'Onze positie wordt *ondermijnd*'
- etc.

Metaforen spelen een belangrijke rol in ons dagelijkse leven. Vele dingen worden beschreven, verwoord en uitgelegd met behulp van metaforen. Dit gebeurt bewust, maar veel vaker onbewust. Onze denkwijze en manier van kijken tegen datgene wat er

om ons heen gebeurt en hoe wij die gebeurtenissen begrijpen en verwoorden worden ondersteund en mogelijk gemaakt door (gebruik van) metaforen. Het is zo diep doorgedrongen en uitgebreid toegepast dat het voor ons een tweede natuur is geworden in ons denken en we ons er vaak niet eens meer van bewust zijn dat we metaforen gebruiken en ze soms zelfs moeilijk als metaforen herkennen.

Voor het ontwerpen van user interfaces kan het daarom belangrijk en nuttig zijn om die manier van denken, die tweede natuur, over te nemen en te integreren in het user interface ontwerp.

Om als user interface ontwerper tot bruikbare metaforen te komen moet je potentiële gebruiksproblemen identificeren en daarbij horende metaforen genereren. Het is belangrijk je eerst af te vragen met welke aspecten van het systeem of produkt gebruikers vermoedelijk problemen zouden kunnen hebben, omdat een metafoor niet alle aspecten van een systeem kan modelleren: welke elementen zijn nieuw en/of moeilijk te begrijpen, welke lijken bekend en zullen toch blijken anders te werken dan men verwacht. De voornaamste middelen om hier achter te komen zijn (Erickson 1991):

- observatie van gebruikers bij het omgaan met vergelijkbare functies;
- demonstratie van het gebruik met uitleg er over en vragen of de gebruikers het begrijpen;
- tonen van een prototype of eenvoudige simulatie van het systeem aan gebruikers en observeren hoe ze er mee omgaan.

Als op deze wijze bepaald is, voor welke aspecten metaforen bedacht moeten worden, is de volgende stap het bedenken van metaforen. Deze stap begint met het bekijken of in de voorgaande stap, de omschrijving/verwoording van problemen, reeds metaforen gebruikt worden. Immers zoals in het begin al aangegeven wordt, gebruiken wij vaak onbewust metaforen bij het omschrijven van iets abstracts. Daarbij moet wel de bruikbaarheid van de aangetroffen metaforen nog onderzocht worden.

Voor het genereren van nieuwe metaforen bestaan verschillende technieken. De voornaamste techniek gaat uit van de gesignaleerde gebruiksproblemen. Door deze in verband te brengen met alledaagse situaties, objecten of instellingen die de aangegeven problemen bevatten kunnen nieuwe metaforen gevormd worden.

Voorbeeld: Het te ontwerpen user interface heeft betrekking op een systeem dat voor een éénrichtingsverzending van data tussen twee met elkaar verbonden documenten zorgt. Het ene document is de bron en het andere is de bestemming. Deze situatie kan in verband gebracht worden met situaties die voorkomen in bijvoorbeeld TV uitzending, het uitgeven van kranten, etc.

Aldus ontwikkelde metaforen moeten dan nog onderzocht worden op bruikbaarheid. Dit gebeurt op basis van vijf algemene criteria (Erickson , 1991):

1 Mate van ordening of structuur in de metafoor.

Een metafoor met te veel verschillende associatie mogelijkheden zal de interface gebruiker geen goed houvast geven. Het zal bij hem/haar te veel irrelevante associaties opwekken.

Als we in het bovenstaande voorbeeld als metafoor 'verzending' gebruiken dan kunnen

bij de gebruikers allerlei vormen van verzending in gedachte komen die niet relevant of zinvol zijn. De metafoor is te algemeen, te vaag en geeft weinig aanwijzing naar het bedoelde systeem c.q. functie of werking. Als men aan verzending denkt dan kan dat iets zijn van een pulsgewijs of een continue lopend proces, een proces dat veel tijd in beslag neemt of juist heel snel is, een gedachte over verschillende vervoermiddelen, etc. Kortom, er ontbreekt een duidelijke structuur aan die metafoor. Dit in tegenstelling tot de 'TV-uitzending' metafoor die concreter is. Iedereen weet dat zo'n uitzending maar vanuit één richting kan gebeuren en er zit ook een goede structuur in, zoals: TV-netwerken, -stations, -kanalen, -gids, etc.

2 Toepasbaarheid van de metafoorkenmerken.

Een metafoor moet niet een zodanig karakter hebben dat misleidende associaties kunnen ontstaan of onbedoelde verwachtingen gewekt worden bij de gebruiker. Een TV uitzending suggereert een snelle en directe data transmissie terwijl 'uitgeven van een krant' aangeeft dat het een stuk langer duurt. Als de laatste meer overeenkomt met de werkelijke eigenschap van het systeem dan geeft een 'TV uitzending' metafoor een verkeerde associatie.

3 Representatie.

Een metafoor moet eenvoudig gerepresenteerd kunnen worden op een visuele of auditieve manier en moet woorden bevatten die vooral met die specifieke metafoor geassocieerd worden.

De metafoor 'verzending' is een stuk lastiger om gestalte te geven dan 'TV uitzending' omdat zij zo algemeen is. Bij de metafoor TV-uitzending heeft men volop mogelijkheden om concrete afbeeldingen en klanken of geluiden als representatie te gebruiken, bijv.: zendtoren als bronbestand en TV toestel als bestemmingsbestand, golvend signaal als geluid voor het verzendingsproces zelf, etc. Verder is er ook een rijke verzameling aan (vak)termen die men kan gebruiken, zoals: uitzending, ontvangst, instellen, kanalen, etc.

4 Geschiktheid voor de doelgroep.

Zal de doelgroep een metafoor herkennen/begrijpen? In feite is dit de sleutel tot het al dan niet slagen van een metafoor. Daarom is het hierbij van belang dat de ontwerper de gebruiker in het proces betreft.

Als men als metafoor de processen in een chemische industrie gebruikt waarbij sprake is van verschillende stromingen (als verwijzing naar verzenden) van stoffen (als verwijzing naar bestanden) dan zal de metafoor waarschijnlijk niet door iedereen herkend en begrepen worden omdat deze te gespecialiseerd is.

5 Uitbreidbaarheid

Het kan nuttig zijn er bij het ontwikkelen van een metafoor rekening mee te houden dat een systeem nog uitgebreid kan worden. Soms gebeurt ook het omgekeerde: onverwachte associaties kunnen leiden tot nieuwe functies of mogelijkheden in het systeem.

Zoals men thuis de TV kanalen doorloopt om het gewenste te vinden kan men in het systeem een nieuwe functie creëren waarin men eerst meerdere 'bron-kanalen' doorloopt (meerder documenten bekijkt) voordat men de data transmissie vanaf die bron (dat document) uit laat voeren. In het geval van de 'krant uitgever' metafoor zal deze functietoevoeging niet mogelijk zijn omdat die gewoonte van 'doorlopen' niet of zelden voorkomt in de kranten wereld.

Wanneer eenmaal een metafoor gekozen of ontwikkeld is, is het van belang om deze zo volledig mogelijk en consequent in het interface te integreren. Dit geldt zowel voor de structuur als voor de representatie ervan. Het mengen van meerdere metaforen binnen één systeem kan de begrijpelijkheid doen verminderen.

Stel dat men voor een systeem de functie en werking van een auto als metafoor gebruikt. Als dan als indicatie van het starten en uitvoeren van een opdracht het geluid van een piepende en rinkelende 'elektronische rekenmachine' gebruikt wordt i.p.v. het geluid van een startende en weggrijdende auto dan is er sprake van inconsequent gebruik van metaforen, wat verwarrend kan zijn voor de gebruiker.

Een belangrijk potentieel probleem van het gebruik van metaforen in interfaces heeft (paradoxaal genoeg) direct te maken met de reden waarom ze gebruikt worden. Goede ontwerpers zullen hun metaforen uiteraard zorgvuldig kiezen. Doordat een metafoor expliciet aanwezig is in het interface, zal die zich bij de gebruikers opdringen. Dat is immers de kracht van metaforen, zo wordt voorkómen dat gebruikers analogieën gaan hanteren die later vruchteloos blijken te zijn. Als gevolg van variatie binnen de gebruikersdoelgroep is er echter ook een behoorlijke kans dat de ontworpen metafoor bij een deel van de doelgroep niet goed aansluit. De aanwezigheid van de metafoor remt voor deze gebruikers in dat geval het proces van vinden van voor hen *wel* effectieve analogieën, met als gevolg dat voor hen het leerproces vertraagd in plaats van versneld wordt. In gevallen waarin ontworpen wordt voor een gevarieerde doelgroep verdient het dus aanbeveling terughoudend te zijn met het gebruik van metaforen.

Zoals eerder aangegeven is het gebruik van metaforen één van de hulpmiddelen om de ontwikkeling van mentale modellen bij gebruikers in goede banen te leiden. Norman (1988) geeft nog een algemeen principe waaraan interfaces zouden moeten voldoen en noemt dat 'zichtbaarheid' of 'transparantie'. Hij geeft het voorbeeld van een auto en vergelijkt dat met het user interface van een videorecorder.

Bij auto's zijn de bedieningsmiddelen en de effecten die je er mee bewerkstelligt goed op elkaar afgestemd en ook de beschikbare functies zijn goed afgestemd op de behoefte van de gebruiker. Bedieningsmiddelen hebben vaak maar één functie, er is redelijk goede feedback en het gebruik wordt begrepen. Bij een video-recorder zie je meestal geen duidelijke structuur in het interface. Het lijkt er op alsof het effect dat je bewerkstelligt volledig arbitrair is en niets te maken heeft met het karakter van het bedieningsmiddel. Er is niet veel afstemming tussen de behoeftes van de gebruiker en de beschikbare knoppen en displays, vele bedieningsmiddelen hebben dubbel-(of meer) functies, er is slechte feedback en gebruikers vragen zich dan ook vaak af of het gewenste resultaat nu verkregen is.

Het principe van zichtbaarheid is er op gebaseerd dat het bedieningsmiddel, de knop, of wat dan ook *zelf* laat zien waartoe het dient en welke handelingen er verricht moeten worden, zodat intuïtief gebruik mogelijk wordt. Vooral bij relatief eenvoudige interfaces is het aan te bevelen geen gebruik te maken van metaforen, maar het interface 'transparant' te maken. Zoals uit het voorgaande duidelijk zal zijn, berusten metaforen immers altijd op vergelijking met reeds bekende zaken. Dergelijke vergelijkingen gaan per definitie gedeeltelijk mank. De gebruiker moet er dan tijdens het gebruik achter komen waar de grenzen van de metafoor liggen. Bij het aanleren van complexere user interfaces is dit geen probleem, omdat de vergissingen die daarbij gemaakt worden uiteindelijk leiden tot een beter begrip van het produktgebruik.

Hierdoor kan het produkt uiteindelijk efficiënter gebruikt worden; door die vergissingen leert de gebruiker nieuwe stukken functionaliteit van het programma kennen. Bij eenvoudiger produkten is het echter meestal niet zo dat er allerlei verborgen functionaliteit aanwezig is die het gebruik efficiënter kan maken.

19.4 Ergonomisch ontwerpen van user interfaces

In de voorgaande paragrafen van dit hoofdstuk is aandacht besteed aan achtergrondkennis die ontwerpers van user interfaces zouden moeten bezitten om tot een goed ontwerp te komen. Voor een goed ontwerp is echter ook kennis en ervaring nodig met ontwerp-, prototyping- en evaluatietechnieken. Het proces van ontwerpen van user interfaces is uiteraard niet wezenlijk anders dan dat van andere produkten. Daarop hoeft in dit hoofdstuk dan ook niet te worden ingegaan. Prototyping van user interfaces is iets dat wel een heel specifiek probleem vormt bij het ontwerpen van user interfaces. In andere vakken binnen de faculteit IO wordt daaraan dan ook de nodige aandacht besteed. In dit hoofdstuk wordt vooral ingegaan op technieken voor het betrekken van gebruikers bij het ontwerpproces, om zo ontwerpvoorstellen te evalueren en om ideeën te krijgen voor aanpassingen aan de ontwerpvoorstellen. Eerst zal echter een overzicht worden gegeven van het soort elementen dat een ontwerper moet ontwerpen aan een user interface.

19.4.1 User interface ontwerpelementen.

Een van de belangrijkste aspecten waarover een beslissing moet worden genomen bij het ontwerpen van een produkt met een user interface, is welke mogelijkheden het produkt moet bevatten: waar kan een gebruiker het produkt voor gebruiken, welke functies kan het produkt vervullen, wat is de *functionaliteit* (McClelland en Brigham noemen dit de *product-utility*, zie par. 19.2 'De kwaliteit van een user interface')? In het verleden bestond vooral bij software-ontwikkelaars nogal eens de neiging om 'alles wat kan' ook maar in het te ontwikkelen programma te stoppen. Ook in de wereld van de consumenten-electronica wordt dat vaak gedaan, maar dan om commerciële redenen (de klant raakt zo onder de indruk van wat het apparaat allemaal kan). Veel overbodige functionaliteit in een apparaat vraagt echter een aanzienlijke grotere ontwerpinspanning voor wat betreft het user interface: vaak kunnen dan niet alle commando's meer tegelijk getoond worden (software) en moet er een hiërarchische commando-structuur ontwikkeld worden, of (in het geval van consumentelelectronica) komen er teveel knopjes op de afstandbediening waardoor deze te onoverzichtelijk wordt en er een oplossing bedacht moet worden zoals knopjes achter klepjes. Hiermee komen we al meteen op het tweede soort element dat ontworpen moet worden aan een user interface: de globale *structuur van de bediening*. Functies, commando's, knoppen moeten logisch gegroepeerd worden en niet allemaal tegelijk worden getoond: er ontstaat een zogenaamde 'mode'-structuur.

Bij bijvoorbeeld TV's met menu-bediening is vrijwel altijd sprake van een hiërarchische structuur voor de bediening: op de afstandbediening maak je bijvoorbeeld een keuze uit 'geluid', 'beeld', 'installeren', 'timer' en eenmaal gekozen voor de knop 'beeld' zijn pas de instellingen voor het regelen van helderheid en contrast van het beeld beschikbaar.

Het feit dat niet alles meer tegelijk wordt getoond en toegankelijk is, betekent ook dat het moeilijker wordt voor een gebruiker om via het user interface 'af te kunnen lezen' wat het produkt allemaal kan en waar de daarvoor benodigde commando's of knoppen te vinden zijn. Er moet een extra ontwerpinspanning worden geleverd om de gebruiker

handvatten te geven waarmee deze toch de mogelijkheden van het produkt kan afleiden en waarmee de gebruiker zich kan oriënteren binnen de bedieningsstructuur: er moet een *systeempresentatie* ontworpen worden. Een systeempresentatie dient er dus voor om bij de gebruiker een bruikbaar mentaal model op te roepen t.a.v. wat het produkt kan en hoe dat dan moet. Vaak worden hiervoor metaforen gebruikt (zie de paragraaf hiervoor). Afbeelding 19.5 laat een voorbeeld zien van een deel van de systeempresentatie van een Apple Macintosh computer. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een mengeling van metaforen: bestanden worden voorgesteld als fysieke objecten die te verschuiven zijn over een desktop (bureaublad), er zijn mappen om bestanden te bundelen, vensters waardoor bestanden of verzamelingen bestanden bekeken kunnen worden, er is een prullebak, er is een menu (ook een metafoor!) waaruit gekozen kan worden, etc. Bij produkten/software die dienen om grote hoeveelheden informatie toegankelijk te maken, is er behalve van een bedieningsstructuur ook nog sprake van een *informatie-structuur*.

Bij veel publieksinformatie-systemen bijvoorbeeld zoek je vaak door uit steeds gedetailleerdere categorieën te kiezen tot je uiteindelijk op de gezochte informatie uitkomt (er is dan sprake van een hiërarchische informatiestructuur).

Ook voor het geven van inzicht in een informatie-structuur kan een goede systeempresentatie de gebruiker behulpzaam zijn. Het is van groot belang de mogelijkheden van het produkt en de structuren voor bediening en informatie af te stemmen op de taken waarvoor de gebruiker het produkt wil gebruiken. Zo zou het om wille van efficiëntie in gebruik bijvoorbeeld wenselijk kunnen zijn om de bedieningsstructuur zo te maken dat commando's die veel in combinatie met elkaar worden gebruikt, bij elkaar in een mode geplaatst zijn.

Om te kunnen 'communiceren' met het produkt (commando's geven, reacties daarop waarnemen, etc.) moet een *dialogestijl en dialogetaal* ontwikkeld of gekozen worden. Het gaat daarbij om beslissingen als: hoe geef je commando's, welke handelingen moeten daarvoor worden verricht, in welke volgorde, etc.

Veel voorkomende dialogestijlen zijn bijvoorbeeld menu's, formulierinvullen, commando's intypen, etc. In figuur 19.6 wordt een overzicht gegeven van de vijf meest voorkomende dialogestijlen.

Dialogvorm:	positieve punten:	negatieve punten:	geschikt voor:
Menu-selectie	<ul style="list-style-type: none"> • interactieprocedures zijn eenvoudig • korte leertijd • interactief • kans op spellingsfouten is klein • alle keuzemogelijkheden kunnen zichtbaar gemaakt worden • structureert beslissingen door deelkeuzes aan te bieden 	<ul style="list-style-type: none"> • niet relevante keuzes moeten gelezen en beoordeeld worden • informatiecategorieën zijn lastig te beoordelen • gevaar tot verlies overzicht door vele menu's • irritatie bij niet correct en snel werkende selectie • traag voor ervaren gebruikers 	onervaren gebruikers: mits goed opgezet en duidelijk gepresenteerd
Invulformulier	<ul style="list-style-type: none"> • vereenvoudigde data-invoer • veel sturing 	<ul style="list-style-type: none"> • kennis over invoersystemen en toegestane invul-informatie noodzakelijk 	ervaren gebruikers: in situaties waar steeds dezelfde soort data snel moet worden ingevoerd

Commandotaal	<ul style="list-style-type: none"> • grote flexibiliteit door afwezigheid sturing • stimuleert initiatieven 	<ul style="list-style-type: none"> • vereist training • benaming commando's zijn moeilijk te leren • geen ondersteuning 	gespecialiseerde gebruikers: door de noodzakelijke training
Natuurlijke taal	<ul style="list-style-type: none"> • niet nodig om ingewikkelde taal te leren 	<ul style="list-style-type: none"> • taal is vaak dubbelzinnig • systeem is beperkt • systeem wordt langzamer en moeilijker werkbaar 	redelijk ervaren gebruikers: kennis beperkingen commando's noodzakelijk
Directe manipulatie	<ul style="list-style-type: none"> • makkelijk te leren en te onthouden • kleine kloof systeem-gebruiker • directe terugkoppeling • moedigt proberen aan 	<ul style="list-style-type: none"> • dialogen zijn moeilijk te programmeren • aanwijsmechanismen zijn niet altijd bedrijfszeker • dure grafische display noodzakelijk 	onervaren gebruikers: mits goed gepresenteerd

Figuur 19.6 Dialoogstijlen met voor- en nadelen en gebruikersgroep (Schneiderman, 1992)

Wanneer gekozen is voor een dialoog*stijl* moeten er nog allerlei detailbeslissingen t.a.v. de dialoog*taal* worden genomen.

Wanneer je het commando 'print document 1' wilt geven d.m.v. bijvoorbeeld de dialoogstijl 'menu's, wordt dit in het algemeen opgesplitst in twee delen: het commando 'print' en het selecteren van 'document 1'. Een ontwerper moet dan bijvoorbeeld beslissen in welke volgorde de commando's gegeven moet worden (meestal is dat: eerst document selecteren en dan het printcommando geven). Daarnaast moet de ontwerper ook beslissingen nemen als: hoe selecteer je een menu-item als je een muis tot je beschikking hebt (de muisknop indrukken zodat het menu verschijnt, met ingedrukte muisknop het commando 'print' opzoeken, en dit activeren door de muisknop los te laten als de cursor op het commando staat, óf: de muisknop indrukken en weer loslaten zodat het menu verschijnt, dan 'print' opzoeken, en dan op 'print' klikken om het commando te activeren.

In het voorbeeld hierboven wordt een muis gebruikt voor het geven van commando's. Daarmee komen we op het laatste type element waarover de ontwerper beslissingen moet nemen: de *in- en uitvoermiddelen*. Bij computersoftware wordt vaak gekozen voor een toetsenbord, muis en beeldscherm. Bij hardware producten zoals in de consumenten-electronica is de keuze vaak moeilijker: worden er knoppen gebruikt, een joy-stickje, draaiknoppen, etc.; wat voor displays worden gebruikt, etc. In de reader is hierover meer te vinden.

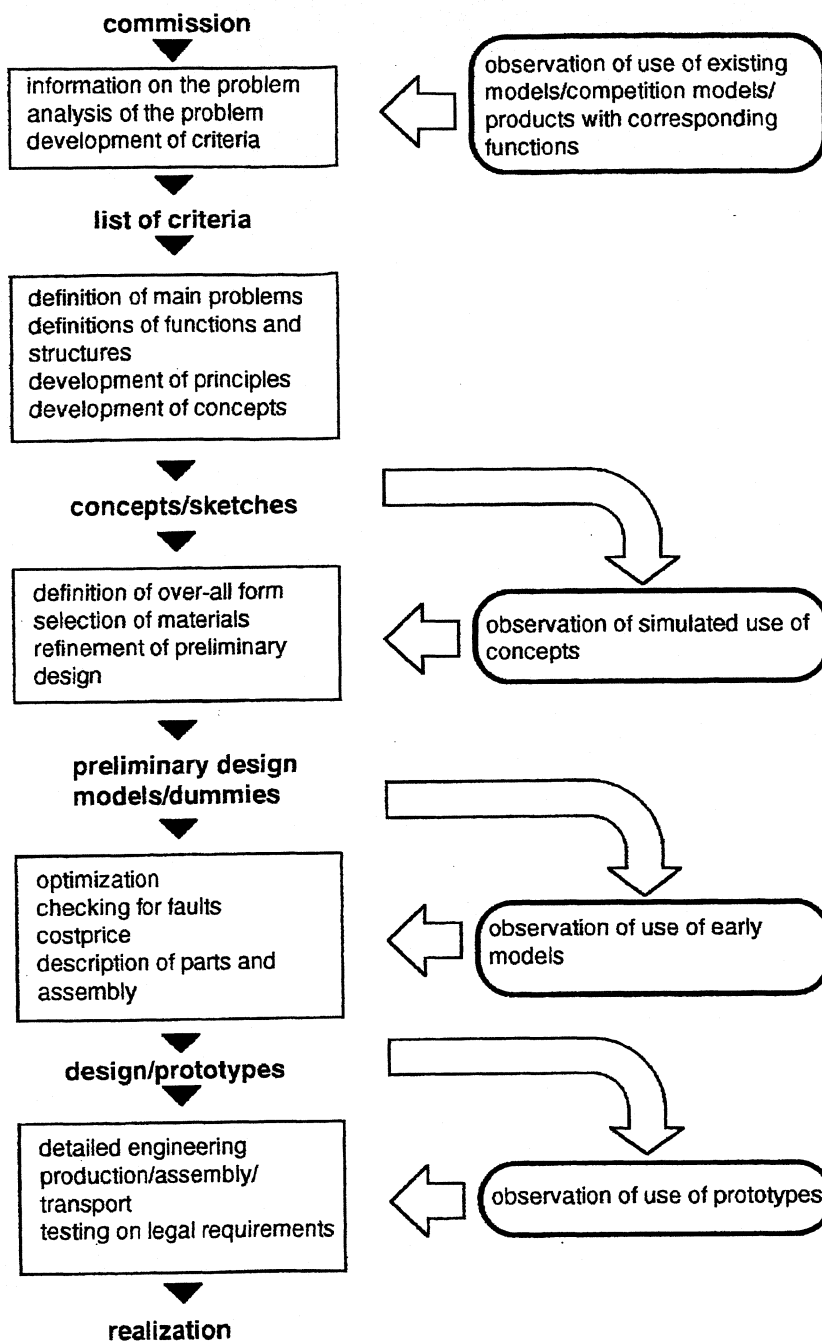
19.4.2 Betrekken van gebruikers bij het user interface ontwerpproces.

Door Marinissen (1993) wordt een model van het ontwerpproces (gebaseerd op het IO-model) beschreven met daarbij aangegeven waar in dat proces inschakeling van gebruikers zinvol zou kunnen zijn (zie figuur 19.7).

In de rest van deze paragraaf zal per fase van het in figuur 19.7 weergegeven schema worden besproken hoe het betrekken van gebruikers bij het ontwerpen zou kunnen geschieden (m.a.w. elk van de vakken met afgeronde hoeken zal aan de orde komen).

De analysefase

In de analyse-fase van het user interface ontwerpen, de fase tussen opdracht en totstand koming van de probleemstelling en het programma van eisen worden diverse aspecten van taak, gebruiker en omgeving bestudeerd. Een belangrijke aanpak die meer en meer gehanteerd wordt om deze aspecten te bestuderen is observatie van toekomstige



Figuur 19.7 (Marinissen, 1993) Relatie tussen de verschillende fasen in het ontwerpproces en het betrekken van gebruikers hierin. Niet aangegeven in het model zijn terugkoppelingen naar het Programma Van Eisen. Dergelijke terugkoppelingen horen uiteraard plaats te vinden in iedere genoemde fase na 'list of criteria'.

gebruikers bij het uitvoeren van hun huidige werk, alsmede interviews met die (toekomstige) gebruikers. In de literatuur wordt deze aanpak betiteld als 'Contextual Inquiry' (Holtzblatt & Jones, 1992). In de reader is een handleiding opgenomen met aanbevelingen voor het uitvoeren van 'Contextual Inquiry'. Het artikel 'Deriving the functional requirements for a concept sketching device: a case study' van Raghu Kolli en Jim Hennessey beschrijft een voorbeeld van een project aan de faculteit IO waarbij

de methode is toegepast bij het ontwikkelen van een gecomputeriseerd schetshulpmiddel voor industrieel ontwerpers. Het geeft een aardige indruk van het soort gegevens dat verzameld wordt d.m.v. dit soort onderzoek.

Observatie van het gebruik van simulaties van user interface concepten

In de fase van het ontwerpproces waarover we het hier gaan hebben, wordt de stap van programma van eisen naar eerste conceptontwerp gemaakt; er worden ideeën gegenereerd en uiteindelijk worden deze ideeën gecombineerd tot een eerste conceptontwerp. Betrekken van gebruikers gebeurt in deze fase vooral met het doel om losse 'stukken ontwerp' op usability te onderzoeken. Het kan bijvoorbeeld zijn dat de ontwerper een metafoor bedacht heeft om de mogelijkheden van het produkt en de structuur van het user interface aan de gebruiker duidelijk te maken; hij zou dan een onderzoekje kunnen verrichten om na te gaan of de ontwikkelde metafoor bij gebruikers de juiste associaties opwekt; daarvoor is het dan niet per se nodig dat er een werkend programma is.

Voorbeeld 1

Een voorbeeld uit een afstudeerproject (Manger Cats, 1994). In dit project moest een user interface ontworpen worden voor een informatiesysteem waarmee consultants in innovatie-centra kunnen zoeken naar het meest geschikte ontwerp bureau voor een bedrijf dat met een bepaald ontwerp probleem zit. Op basis van een Contextual Inquiry-achtige aanpak was de ontwerper tot de conclusie gekomen dat de informatie over de ontwerp bureaus in drie delen gegroepeerd moest worden: op basis van hun produkten, op basis van een soort gecomputeriseerde multi-media brochures van de ontwerp bureaus en op basis van bureau-profielen (een soort formulieren met allerlei kenmerken van de bureaus). Deze opdeling van informatie moest uiteraard d.m.v. de systeempresentatie inzichtelijk gemaakt worden aan de gebruiker. Daarvoor waren twee verschillende concepten ontwikkeld. Bij concept 1 was bovenin het scherm een drietal icons te zien die de verschillende informatie-delen representeerden en die gebruikt konden worden om te wisselen tussen de verschillende delen. Het andere concept (2) had rechtsboven op het scherm een kubus, met op de drie zichtbare zijden de woorden 'produkten', 'profielen' en 'brochures'. De ontwerper wilde te weten komen of de concepten aan de gebruiker duidelijk maakten dat het systeem uit drie delen bestaat, of de kubus gemakkelijk tot de vorming van een bruikbaar mentaal model leidde, of dat bij de drie icons ook zo was en of mensen ook in de gaten hadden dat ze door op de icons of op de zijden van de kubus te klikken konden veranderen van informatie-deel.

Van de twee concepten was een aantal 1:1 op papier getekende schermbeelden gemaakt, die één voor één op tafel werden gelegd, afhankelijk van wat de gebruiker 'aanklikte' met zijn vinger. Boven de tafel was een videocamera opgehangen die het scherm opnam.

De gang van zaken bij het onderzoekje was als volgt: de proefpersoon kreeg uitgelegd waaruit zijn werk bestaat (het koppelen van een ontwerp bureau aan een bedrijf) en dat dit systeem daarbij kan helpen: er kan informatie over ontwerp bureaus opgevraagd worden en er kunnen plaatjes bekeken en geselecteerd worden om de keuze van ontwerp bureau te illustreren aan de klant. Er is gewerkt met drie proefpersonen; tegen de eerste twee is gezegd dat zij met de voorgaande informatie in hun hoofd nu moeten gaan bekijken of zij het systeem begrepen, tegen de derde is gezegd dat hij drie ontwerp bureaus moest zoeken die geschikt zijn voor zijn klant. Vervolgens werd de proefpersoon verteld, dat hij alleen was met de computer, dat het papieren vel dat voor hem lag het computerscherm voorstelde, en dat zijn vinger als muis moest fungeren. Als hij ergens op klikte moest hij dat hardop zeggen. Ook is de proefpersoon gevraagd hardop te denken zodat duidelijker was wat zijn bedoelingen waren wanneer hij iets aanklikte.

Na elke proefpersoon werden de voornaamste problemen in het ontwerp bijgesteld. Bij de volgende proefpersoon werd gekeken of dit verbeteringen op had geleverd. Op deze wijze werd de test een direct hulpmiddel bij het ontwerpen, maar konden er uiteraard geen vergelijkingen gemaakt worden tussen proefpersonen. De testjes gaven de ontwerper echter uitermate nuttige ontwerp informatie.

Voorbeeld 2

In het kader van een onderzoekproject aan de faculteit is een user interface ontwikkeld voor het maken van tabellen, genaamd TableMaker (Vermeeren en Kolli, 1993). Een van de problemen bij het maken van tabellen is het veranderen van de diktes van de lijnen die de tabelvakjes van elkaar scheiden. Bij de meeste user interfaces met tabelmaakmogelijkheden die op dat moment bestonden, werkte dat als volgt: je selecteert het vakje of de kolom, waarvan je de lijnen wilt veranderen, dan verschijnt er een apart dialoogveld op je scherm over je tabel heen, met daarin een vereenvoudigde representatie van een vakje; je kiest vervolgens een lijndikte en geeft op het vereenvoudigde vakje aan welk van de zijden die lijndikte moet krijgen.

In het ontwerp van TableMaker werden lijndiktes gewijzigd door een lijnsegment te selecteren en vervolgens aan te geven welke dikte die moest krijgen. Wanneer een lijn langs een hele kolom geselecteerd moest worden gebeurde dit d.m.v. dubbelklikken.

De ontwerpers waren benieuwd of deze oplossing, die hen intuïtiever leek, dat ook inderdaad was voor gebruikers, en of er mogelijk nog problemen of nadelen waren t.o.v. de andere wijze van lijndikte veranderen.

Er werden m.b.v. het programma HyperCard speciale simulaties gemaakt van allebei de ontwerp oplossingen (dat koste ongeveer twee weken programmeertijd). De simulaties konden alleen gebruikt worden voor het veranderen van lijndiktes van tabellen; ze waren speciaal voor dit onderzoekje gemaakt. Proefpersonen kregen op papier voorbeelden van tabellen en deden een uur lang niets anders dan het veranderen van lijndiktes, steeds totdat de tabel op het beeldscherm er hetzelfde uitzag als de tabel die ze op papier aangereikt kregen. Ze deden dat voor enkele tientallen tabellen. De tabellen waren zo ontwikkeld dat ze leken op het soort tabellen dat de doelgroep normaal maakte.

Proefpersonen werkten met allebei de versies. Softwarematig werd bijgehouden hoe lang proefpersonen deden over het veranderen van de tabellen, zodat nagegaan kon worden welke versie het snelst werkte. Daarnaast werd geobserveerd welke fouten proefpersonen maakten en werd hun mening gevraagd over de beide versies. Het observeren van het gebruik van de twee versies en de uitspraken van proefpersonen over waarom ze een bepaalde ontwerp oplossing beter vonden, gaf de ontwerpers inzicht in de sterke en zwakke punten van beide ontwerp oplossingen. Het maakte duidelijk dat de door de TableMaker-ontwerpers bedachte oplossing beter was, maar dat de bestaande oplossing toch ook enkele voordelen had. Bij het uiteindelijke ontwerp werd daarom gekozen voor een oplossing die vooral gebaseerd was op het nieuwe ontwerp, maar waarin ook elementen uit de oude oplossing werden geïntegreerd.

Een andere techniek voor het betrekken van gebruikers die in deze fase van het ontwerpproces zinvol kan zijn is de zogenaamde 'focus groups' techniek (Jordan, 1993). Een focus group is een groep van potentiële gebruikers die bij elkaar gebracht zijn om in een groepsdiscussie over een bepaald onderwerp met elkaar te praten. Dat kan zijn om te praten over bepaalde kenmerken van een ontwerpvoorstel of delen daarvan, of om bijvoorbeeld de functionaliteit van een produkt te bespreken. Eigenlijk kan deze techniek in vrijwel alle fases van het ontwerpproces gebruikt worden.

Bij deze techniek heeft de gespreksleider een lijst met aandachtspunten om er voor te zorgen dat alle gewenste onderwerpen inderdaad aan bod komen. De taak van de gespreksleider is onder andere om er voor te zorgen dat iedereen in de groep een kans krijgt zijn zegje te doen. Daarbij moet er echter wel op gelet worden dat er zo vrij en ongedwongen mogelijk gepraat wordt en dat er geen suggestieve vragen worden gesteld.

Meestal is het beter dat de ontwerper zelf geen gespreksleider is; het is voor ontwerpers namelijk vaak erg moeilijk om niet te gaan verdedigen waarom ze bepaalde ontwerp oplossingen hebben gekozen. Het is natuurlijk wel uiterst leerzaam voor een

ontwerper om bij de discussie aanwezig te zijn en gewoon te luisteren naar wat er gezegd wordt. Vaak bestaat de bijdrage van de ontwerper slechts uit het zichzelf voorstellen, het luisteren naar de discussie en er zich heel af en toe mee bemoeien, of vragen beantwoorden.

Gebruikers kunnen in een focus group discussie een idee, een prototype of wellicht ervaringen met produkten bediscussiëren. Het is echter wel belangrijk dat de ontwerper zich realiseert dat een focus group discussie geen kant en klare ontwerp oplossingen levert; gebruikers hebben immers geen weet van alle randvoorwaarden waaraan het ontwerp moet voldoen en zullen de ontwerper niet kunnen vertellen wat hij moet doen. Ook zullen er allerlei onpraktische of onuitvoerbare suggesties worden gedaan. Dat neemt echter niet weg dat een focus group discussie de ontwerper wel kan voorzien van nuttige informatie over hoe mensen omgaan met produkten en welke problemen ze daarmee hebben of zouden kunnen hebben.

Observatie van het gebruik van 'early models'.

In deze paragraaf draait het om de fase waarin een eerste conceptontwerp uitgedetailleerd wordt tot een vrij volledig ontwerpvoorstel. Wanneer in deze fase de gebruiker betrokken wordt bij het ontwerp is dat meestal wanneer er een redelijk werkend, enigszins volledig interactieve simulatie/prototype van het ontwerp gemaakt is. Het user interface wordt dan onderzocht op gebruiksproblemen en hun oorzaken. Meestal is met het prototype nog niet de volledige functionaliteit te gebruiken en draait het nog niet op of met de werkelijke hardware;

Voorbeelden:

- een op een beeldscherm gesimuleerde kaartverkoopautomaat, waarvan de bediening volledig interactief gesimuleerd is op een beeldscherm, maar die nog geen kaartjes verkoopt,
- een publieksinformatie-systeem waar de echte informatie nog niet in zit, maar slechts een beperkte hoeveelheid informatie die net genoeg is om proefpersonen een paar opdrachten te laten uitvoeren, etc.

Gebruiksonderzoek kan in deze fase verricht worden door proefpersonen te laten werken met het prototype aan de hand van een aantal opdrachten en de taakverrichtingen te observeren en na te bespreken met de proefpersonen. Een andere techniek die wel wordt toegepast in deze fase is de zogenaamde expert walkthrough, waarbij het ontwerp beoordeeld wordt door een klein aantal 'experts'. De vraag is dan echter wel altijd wat voor eisen je aan de experts moet stellen: moet het een expert op bijvoorbeeld ergonomie-gebied zijn, of een expert op het vakgebied van de gebruiker; een combinatie is natuurlijk ideaal, maar komt zelden voor.

In het algemeen lijken de resultaten van een expert walkthrough en een gebruiksonderzoek met proefpersonen elkaar goed aan te vullen (Vermeeren, 1993). Uit expert walkthroughs komt veelal als resultaat een verzameling mogelijk zwakke elementen van een interface (zoals onduidelijke terminologie, of een niet-intuïtieve procedure-volgorde); het is echter erg moeilijk voor een expert om aan te geven wat belangrijke zwakke punten zullen blijken te zijn en welke zwakke punten slechts 'cosmetisch' zijn. Experts kunnen moeilijk aangeven of potentieel zwakke punten van het interface ook inderdaad tot gebruiksproblemen zullen leiden. Bij

gebruiksonderzoek met proefpersonen worden deze problemen juist geobserveerd, maar is het niet altijd duidelijk waardoor ze veroorzaakt worden (je observeert slechts dat de proefpersoon op een bepaalde plek in de taakuitvoering een fout maakt of niet verder kan). Uit interviews of hardop denken van de proefpersoon tijdens de taakuitvoering moet hierover dan duidelijkheid worden verkregen.

Hieronder wordt een voorbeeld gegeven van een onderzoek dat aan de faculteit heeft plaatsgevonden in opdracht van het bedrijf GCEI voor de gemeente Amsterdam. De hierboven beschreven bevindingen t.a.v. de sterktes en zwaktes van expert walkthroughs in vergelijking tot gebruiksonderzoek, zijn voor een belangrijk deel gebaseerd op onderstaand voorbeeld.

Publieksinformatie-systeem

Het gaat in dit voorbeeld om de ontwikkeling van een publieksinformatie-systeem (genaamd PIGA) voor de gemeente Amsterdam. Het programma moet in wezen het bekende 'gemeentegidsje' vervangen en kan worden gebruikt op terminals in postkantoren, bibliotheken, etc. Op het moment van onderzoek was het pakket nog volop in ontwikkeling. Beschikbaar waren op dat moment een enigszins verouderd en gedeeltelijk werkend prototype, dat ook slechts een deel van de uiteindelijke informatie bevatte. Daarnaast was er een rapport beschikbaar waarin de ontwerputgangspunten voor het systeem beschreven werden, met een drietal getekende voorbeeldschermen.

Het onderzoek bestond uit een combinatie van expert walkthrough en gebruiksonderzoek met proefpersonen. Ten behoeve van de expert walkthrough is op basis van de eerder genoemde informatie en in overleg met de opdrachtgever een papieren simulatie gemaakt: een reeks van op papier getekende beeldschermen, zoals die voor zouden komen bij het uitvoeren van een bepaalde taak. Op basis van deze schermen is het systeem door een drietal ergonomie-deskundigen geëvalueerd. De evaluatie vond plaats aan de hand van een checklist met aandachtspunten gebaseerd op een model van mens-computer interfaces en op lijsten met richtlijnen voor interface-ontwerp die op hun beurt weer gebaseerd waren op (psychologische) theorieën en de praktijk. Uit de expert walkthrough kwam zo een lijst met potentiële interface-zwaktes naar voren die in een gebruiksonderzoek met proefpersonen vervolgens getoetst konden worden. Daartoe is eerst een interactief schermprototype ontwikkeld, speciaal voor het onderzoek (daarmee konden alleen de proefpersoontaken worden uitgevoerd, iedere andere actie leidde in het prototype tot niets. Een vijftal proefpersonen is gevraagd een aantal taken met het systeem uit te voeren en daarbij zoveel mogelijk hardop te denken. Met behulp van video-apparatuur werden het gedrag en de verbale uitingen van de proefpersonen vastgelegd. Softwarematig werd vastgelegd welke toetsen de proefpersonen achtereenvolgens hadden ingedrukt. Met behulp van een stopwatch werd gemeten hoeveel tijd de proefpersonen nodig hadden voor de uitvoering van de verschillende taken.

De observaties en de lijst met toetsindrukkingen lieten zien waar de proefpersonen fouten maakten of vastliepen, de hardop denk-uitingen gaven duidelijkheid over wanneer iets onverwacht of frustrerend was en gaven duidelijkheid over wat de gebruikers met bepaalde onverwachte acties beoogden. De tijdmetingen gaven een indicatie of de totale interactie niet te lang zou duren om bij een publieksterminal in een postkantoor uit te voeren.

Aan de hand van onder andere een lijst van verwachtingen en aandachtspunten, gebaseerd op de expert walkthrough, is de interactie van de proefpersonen met het systeem vervolgens geanalyseerd en zijn aanbevelingen voor verbeteringen van het systeem gedaan. Tevens is een lijst opgesteld met sterke punten en met zwakke punten die nadere uitwerking of nader onderzoek vereisten.

Gebruiksonderzoek met werkende prototypes of eindprodukten.

De fase waarin het ontwerp geoptimaliseerd wordt, wordt vaak afgesloten met het bouwen van een realistisch prototype, dat vervolgens getest wordt. Dat testen kan gebeuren met dezelfde doelen als in vorige fases, maar het is nu ook mogelijk om usability-metingen te doen en op basis daarvan te vergelijken of het ontwerp beter voldoet dan bijvoorbeeld een voorgaand of concurrerend produkt. De maten van usability zoals die eerder genoemd zijn: effectiviteit, efficiëntie, tevredenheid,

guessability etc. kunnen dan meetbaar gemaakt worden. In de paragrafen waarin genoemde begrippen zijn gedefinieerd zijn al enkele suggesties gedaan voor hoe dat zou kunnen. Daarop zal hier niet verder worden ingegaan; hoe de verschillende begrippen in concrete situaties meetbaar gemaakt kunnen worden hangt sterk af van de specifieke situatie. In het algemeen kun je zeggen dat een dergelijke meting kan dienen als toetsing van een ontwerp aan bijvoorbeeld een programma van eisen, maar dat om te weten wat er verbeterd moet worden aan een user interface je in het algemeen onderzoek doet met de doelen zoals die gehanteerd worden in de andere fases van het ontwerpproces (d.w.z. onderzoeken of gebruikers bepaalde user interface elementen begrijpen, of ze er mee om kunnen gaan, wat voor problemen ze er mee hebben en wat daarvan de oorzaken zijn).

19.5 Trends in interfaces en specifieke aandachtsgebieden.

Twee belangrijke nieuwe aandachtsgebieden binnen het vakgebied user interfaces zijn CSCW (Computer Supported Cooperative Work) en Multi-Media. Beide zijn fenomenen die nogal wat invloed hebben op het user interface ontwerpproces. Op CSCW zal in een vervolgvak worden ingegaan. In de reader is een stuk opgenomen over Multi-Media (Ergonomische handleiding voor het ontwerp van multi-media producten door S. Buck).

Begrippen

user interface ontwerpen

de kwaliteit van een user interface

utility

usability

effectiviteit

efficiëntie

tevredenheid

guessability

experienced user performance

system potential

re-usability

leercurve

problemen in de interactie

basiscyclus van het menselijk handelen

reguleren van handelingen

monitoring

knowledge based

rule based

skill based

exploratief leren

label-following strategy

redundante vs. noodzakelijke codering

automatische vs. ontworpen feedback

mentale modellen en metaforen

user interface ontwerpelementen

functionaliteit

structuur van de bediening

systeempresentatie

informatie-structuur

dialogstijl
 dialoogtaal
 expert walkthrough
 trends
 CSCW
 Multi-Media

Literatuur

- Barfield L., 1993.
 The User Interface- Concepts and Design; Wokingham: Addison Wesley.
 Brooke J., Bevan N., Brigham F., Harker S., Youmans D., 1990.
 Usability Statements and Standardisation-Work in Progress in ISO in
 INTERACT '90, D. Diaper et al. (eds.), Amsterdam: Elsevier.
 Draper S. W. & Barton S.B., 1993.
 Learning by Exploration and Affordance Bugs. In: InterCHI'93 Adjunct
 Proceedings, New York: ACM Press.
 Erickson T.D., 1991.
 Working with interface metaphors. In: The Art of Human-Computer Interface
 Design, B. Laurel (ed.), Reading, MA: Addison-Wesley.
 Hammond N., 1987.
 Principles from the psychology of skill acquisition. In: Applying Cognitive
 Psychology to User Interface Design, M.M. Gardiner, B. Christie (eds.),
 Chichester: John Wiley.
 Holzblatt K. & Jones S., 1992.
 Contextual Design: Using Contextual Inquiry for System Development.
 Tutorial notes of CHI'92; New York: ACM Press.
 Jordan, P.W., 1993.
 Methods for user interface performance measurement. In: Contemporary
 Ergonomics, E.J. Lovesey (ed.); London: Taylor & Francis.
 Jordan P.W., Draper S.W., MacFarlane K.K., McNulty S-A., 1991.
 Guessability, Learnability, and Experienced User Performance in People and
 Computers VI, D. Diaper, N. Hammond (eds.), Cambridge: Cambridge
 University Press.
 Mack R.L., Lewis, C., Carroll, J.M., 1984.
 Learning to use word processors: problems and prospects. In: Transactions on
 Office Information Systems. New York: ACM Press.
 Manger Cats, C., 1994.
 User interface voor ongestructureerd zoeken in het branche-informatiesysteem.
 Afstudeerverslag. Delft: TU Delft, Faculteit van het Industrieel Ontwerpen.
 Marinissen A.H., 1993.
 Information on Product Use in the Design Process; In: 'Ergonomics in a
 Changing World', Proceedings of the 29th Annual Conference of the
 Ergonomics Society of Australia, 1-3 December 1993, Pollock C.M., Straker
 L.M. (eds.), Perth, Australia.
 McClelland I.L., Brigham F.R., 1990.
 Marketing ergonomics-how should ergonomics be packaged. In: Ergonomics,
 1990, vol. 33, no. 5, pp. 519-526.
 Norman D., 1988.
 Dictatuur van het design. Utrecht: Bruna.

- Polson P. G., Lewis, C., Rieman J., Wharton C., 1992.
Cognitive Walkthroughs: a method for theory-based evaluation of user interfaces. In: Int. J. Man-Machine Studies 36.
- Schneiderman B., 1992
Designing the user interface: Strategies for effective Human-Computer Interaction. Reading, MA: Addison Wesley
- Stolk H. et al., 1990.
Human-Computer Interaction; Heerlen: Open Universiteit.
- Verhoeven P., 1991.
Onderzoek naar de dialoog tussen gebruikers en publieksautomaten; Utrecht: N.V. Nederlandse Spoorwegen, Adviesgroep Arbeidsveiligheid en Ergonomie, A&E-rapport 1184.
- Vermeeren A.P.O.S., 1993.
Evaluation of Human-Computer Interfaces Early in the Design Process. In: proceedings of Interacting with Computers-Preparing for the Nineties; G.C. van der Veer et al. (eds.); Amsterdam: Stichting Informatica Congressen.
- Vermeeren A.P.O.S. & Kolli R., 1993.
Feasibility and Usefulness of Involving Users Early in the Design Process: a Case Study; In: Contemporary Ergonomics, E.J. Lovesey (ed.); London: Taylor & Francis.
- Zapf D., Brodbeck F.C., Prumper J., 1989.
Handlungsorientierte Fehlertaxonomie in der mensch-computer interaction. Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie, 33, 4, pp. 178-187.
- Zijlstra F.R.H., 1993.
Efficiency in Work Behaviour: A Design Approach for Modern Tools. Proefschrift TU Delft. Delft: Delft University Press.

20 Regelkamers en procescontrole

Inleiding

(Het nu volgende is een bewerkte vertaling van een deel uit 'Woods, (1987)')
Een van de eerste processen die mensen probeerden onder controle te krijgen, was het proces van maken en aanhouden van vuur. Degene die een dergelijk proces moest beheersen, moest stukken hout van bepaalde afmetingen en een bepaalde kwaliteit op het juiste moment en in de juiste hoeveelheid toevoegen aan het vuur om het gaande te houden, zodat het gebruikt kon worden om op te koken of om het als verwarming te gebruiken. Het gaande houden van een dergelijk proces vereist een bepaald vakmanschap; het is afhankelijk van hoe goed de 'operator' procescondities kan waarnemen en de juiste handelingen kan kiezen en uitvoeren indien nodig.

In de loop van de geschiedenis werden processen steeds omvangrijker en complexer. Het werd steeds belangrijker dat het produkt van een proces van constante en aanvaardbare kwaliteit was en geproduceerd kon worden tegen acceptabele kosten. Het was niet langer mogelijk de toestand van processen 'direct' waar te nemen en puur op basis van ervaring te bepalen wat er moest gebeuren. Er werden sensoren en meters geplaatst zodat handelingsbeslissingen op nauwkeurigere en consistentere gegevens gebaseerd konden worden. Er werden standaardprocedures ingevoerd voor het beheersen van het proces. Operators grepen echter nog steeds zelf rechtstreeks in op het proces, met wisselend succes afhankelijk van de complexiteit van het proces en van aanwezige regelvoorzieningen en hun vaardigheden daarmee.

De volgende belangrijke stap in de procescontrole was het invoeren van regulatoren. Regulatoren zorgen er voor dat de operator niet alle handelingen voor het beheersen van een proces meer zelf hoeft te doen. Ze dienen er bijvoorbeeld voor om druk, vloeistofdoorstroming, temperatuur en dergelijke redelijk nauwkeurig op een tevoren ingesteld niveau te houden.

In de loop der tijd werd het aantal instrumenten dat operators tot hun beschikking stond, groter en groter, omdat meer en meer sensoren en regulatoren werden toegevoegd om de steeds complexer wordende processen te kunnen blijven beheersen. Operators konden niet langer overweg met de grote hoeveelheid gegevens op al die onafhankelijke meters. Men ging centrale bedieningspanelen gebruiken waarop met grafische hulpmiddelen de gegevens op een wat meer georganiseerde en beter begrijpelijke manier getoond werden. Met het beschikbaar komen van computers gingen ook deze gebruikt worden om de processen nog beter te kunnen beheersen. Dit werd met name noodzakelijk vanwege het feit dat een proces slechts traag reageert op bedieningshandelingen, maar ook omdat procesvariabelen in veel gevallen elkaar beïnvloeden, veiligheids- en milieueisen gesteld moeten worden aan procescondities, er vaak niet veel tijd is om beslissingen te nemen, etc.

Samenvattend kun je zeggen dat we zijn gegaan van een proces van direct waarnemen en ingrijpen in processen (het vuurtje) naar een situatie zoals die typisch is voor hedendaagse procescontrole: indirecte kennis van een proces door middel van meters die weergeven wat sensoren waarnemen en wat computers op basis van die gegevens berekenen, en computergestuurde ingrepen op het merendeel van de elementen waaruit het proces bestaat.

Wanneer we het in dit hoofdstuk over procescontrole of procesindustrie hebben, bedoelen we daarmee systemen waarin wat gedaan wordt met materiaal en energiestromen die op elkaar inwerken en elkaar transformeren. Voorbeelden van dergelijke processen zijn het produceren van energie in een conventionele of kernenergie-centrale, het walsen van staal, het produceren van wasmiddelen, etc.

Regelkamers

(Het nu volgende is een bewerking van een deel uit 'Arbeidsinspectie, (1992)')
Veel bedrijven in de procesindustrie hebben één of meer centrale regelkamers. De operators controleren van hieruit, in nauw samenspel met geavanceerde procesbesturingssystemen, het proces. De taken die hier door mensen worden uitgevoerd, dienen goed afgestemd te zijn op de taken die door het procesbesturingssysteem worden verricht. Om mens en computer hun werk te laten doen moet een groot aantal informatiestromen op het juiste moment en in de juiste vorm worden binnengeleid in de regelkamers.

Veel informatie wordt gegeven via beeldschermen en/of informatiepanelen. Daarnaast wordt ook vitale informatie verkregen uit bijvoorbeeld communicatie met collega's of de ploegbaas. Belangrijke gegevens komen schriftelijk of telefonisch binnen vanuit het laboratorium. Ook wordt vitale informatie verkregen uit opleiding of ervaring. Op basis van de informatie beslist de operator tot ingrijpen in het proces. Dit ingrijpen gebeurt niet alleen via het besturingssysteem. In vrijwel alle praktijksituaties kan de operator ook zelf buiten de regelkamers handelingen verrichten of in ieder geval daartoe opdracht geven aan bijvoorbeeld veldoperators of onderhoudsdienst.

In de praktijk wordt nog steeds bij het ontwerpen van mens-machine systemen vaak zwaar de nadruk gelegd op het (computer)technische deel van het totaal en veel minder op de 'menselijke factor'. Het is waarschijnlijk dat het ontwerp van sterk geautomatiseerde processen in de toekomst tot ernstige problemen zal leiden wanneer de 'menselijke factor' niet beter in het ontwerp geïntegreerd wordt. Deze problemen betreffen zowel de arbeidsveiligheid van mensen en installaties, alsook het rendement van automatiseringsprojecten. Enkele van de belangrijkste argumenten voor de gesignaleerde ontwikkeling zijn:

- 1 Door verdergaande automatisering zullen operators andere verantwoordelijkheden gaan krijgen. Door de automatisering van besturingsfuncties die dicht bij het proces staan, krijgt de operator meer een coördinerende en superviserende taak. De hogere eisen die gesteld worden aan flexibiliteit en doelmatigheid van de produktie leiden er ondermeer toe dat er steeds minder interne buffervoorraden in het proces worden gebruikt. Procesdelen worden daardoor onderling sterker gekoppeld.
- 2 Gelijkzeitig met deze ontwikkeling ontstaat er een vergroting van de tijdschaal waarop de operator werkt. Zeer trage ontwikkelingen in het proces kunnen dan voor mensen moeilijk waarneembaar zijn als er niet expliciet informatie over wordt verstrekt. Wanneer ontwikkelingen in de bedrijfsvoering zich uitstrekken over een aantal wachtdiensten, dient de informatieoverdracht tussen de verschillende ploegen extra aandacht te krijgen.
- 3 In geval van een storing kan zich in korte tijd een situatie ontwikkelen die een verhoogd veiligheidsrisico inhoudt voor mensen en installatie. De gevolgen kunnen zich uitstrekken over een groot deel van het bedrijf.

Het bovenstaande maakt duidelijk dat er ontworpen moet worden in een geïntegreerd proces waarin operatortaken tezamen met informatiestromen ontworpen worden. De verdeling van taken over mens en machine dient plaats te vinden op basis van de sterke en zwakke kanten van elk. Het creëren van een volwaardige arbeidstaak voor de operator dient daarbij het uitgangspunt te zijn. We zullen daarom nu ingaan op hoe een dergelijk ontwerpproces gestructureerd zou kunnen zijn.

20.1 Het ontwerpproces

Een goed ontwerp van de mens-machine interface tussen operator en proces houdt in dat rekening wordt gehouden met ergonomische richtlijnen bij de presentatie van informatie op beeldschermen en bij de vormgeving van bedieningsmiddelen. Dit heeft echter alleen zin wanneer hiermee informatie aan de operator wordt verstrekt die hij werkelijk nodig heeft en wanneer alleen die ingrepen mogelijk worden gemaakt waarvan het ook nuttig is dat de operator ze verricht.

Bij het ontwerpen van interfaces voor procescontrole kan uiteraard een ontwerpproces worden gehanteerd volgens de aanpak zoals die op de faculteit IO gedoceerd wordt. Om duidelijk te maken wat voor specifieke zaken er kleven aan het ontwerpproces van dergelijke interfaces zullen we nu de fases bespreken zoals die volgens de Arbeidsinspectie achtereenvolgens zouden moeten worden doorlopen om tot een goed ontwerp te komen (alleen die activiteiten die op het uiteindelijke ontwerp van de mens-machine interface van invloed zijn worden aangegeven).

1 Vooronderzoek (initiatiefase)

In de initiatiefase moeten de beleidsdoelstellingen voor het totale automatiseringsproject verwoord zijn. De haalbaarheid van het project, de technische, personele en economische consequenties moeten voldoende zijn uitgewerkt in een kader en planning waarbinnen alle werkzaamheden voor het project moeten worden uitgevoerd. Alle verder te nemen beslissingen moeten hieraan getoetst worden.

2 Definitiestudie

In deze fase moet vastgesteld worden welke de kritische procesdelen zijn, en welke potentieel gevaarlijke situaties zich kunnen ontwikkelen in de verschillende fasen van bedrijfsvoering.

Voor die situaties moet nu worden aangegeven welke bedien- en bewaaktaken de operators krijgen, en welke van deze taken kritisch worden geacht. Daartoe moet enerzijds een analyse van de huidige informatie-aanbieding en regelmogelijkheden van de operators worden uitgevoerd. De inbreng van operators in dit stadium is belangrijk: zowel door interviews als door observaties kan nuttige informatie worden verkregen. Anderzijds moeten de (on)mogelijkheden van het nieuwe geautomatiseerde systeem worden geïnventariseerd: welke processen moeten de operators bewaken c.q. bedienen en welke informatie kan worden aangeboden en is daarenboven relevant voor de operators, bijvoorbeeld omdat het proces op basis van de informatie bijgesteld kan worden. Hieruit ontstaat dan het beeld van de informatiebehoefte van de operators bij de uit te voeren taken.

Indien blijkt dat in sommige situaties de huidige en toekomstige mens-machine interactie vrijwel identiek zijn, mag de nieuwe situatie ook in de realisatie identiek zijn aan de bestaande situatie (bijvoorbeeld dezelfde manier van informatiepresentatie en

bediening); dit heeft voordelen, omdat gebruik gemaakt wordt van reeds bestaande ervaring van de operators. Is daarentegen de mens-machine interactie in de nieuwe situatie zeer verschillend van de bestaande situatie, dan moet gekozen worden voor een geheel andere manier van informatie-presentatie en bediening; juist om te voorkomen dat straks in de nieuwe situatie fouten (met soms ernstige gevolgen) worden gemaakt. Deze fouten ontstaan door de gelijkheid met de bekende (oude) situatie en het feit dat de mens, met name in stressvolle omstandigheden, terugvalt op zijn ervaring/routine.

De definitiestudie wordt afgesloten met een functionele specificatie van de operatortaken, de informatievoorziening en de bedieningsmogelijkheden in de regelkamer. Zover mogelijk kunnen nu ook de gevolgen voor de (eventueel additionele) informatiesystemen worden vastgelegd.

3 Functioneel ontwerp

Nu volgt een gedetailleerder ontwerp van de bedieningsacties van de operator en de noodzakelijke informatiestromen. Er moet worden vastgelegd welke informatie gelijktijdig beschikbaar moet zijn, welke bedieningsacties vrijwel gelijktijdig moeten kunnen worden verricht, hoe nauwkeurig, met welke maximale vertraging (wachtijd) en in welke vorm (momentaan, trend) informatie beschikbaar moet zijn. Deze technische specificaties zullen deels afgeleid moeten worden uit de eisen die de besturing van het proces oplegt. Daarnaast geven menselijke mogelijkheden en beperkingen ook hun grenzen. Zo dient er voor gezorgd te worden dat de taak die ontstaat voor de operator een volwaardige taak is, met bijvoorbeeld voldoende afwisselende werkzaamheden.

Behalve technische specificaties, moet ook worden uitgewerkt welke ontwerpcriteria voor de mens-machine interface zullen worden gehanteerd. Hiermee dient de consistentie door het gehele ontwerp te worden verzekerd. Het gaat hierbij onder meer om het gebruik van algemeen geaccepteerde symbolen en terminologie, zoals deze bijvoorbeeld ook in procedures of op panelen worden gebruikt.

4 Technisch ontwerp

In deze fase worden de informatie- en bedieningsmiddelen ontworpen of gekozen. Aanwijzingen hiervoor zijn te vinden in hoofdstuk 10 en in het diktaat 130.

Soms wordt in deze fase gebruik gemaakt van prototyping. In deze context betekent dat een simulatie van het wiskundig zo volledig mogelijk beschreven proces, zowel voor de hardware als de software. Door simulaties te maken kunnen de eerste ervaringen van de operators worden gebruikt in een beoordeling van de mens-machine interface.

5 Realisatie en testen

In deze fase moet allereerst natuurlijk het technisch ontwerp zo precies mogelijk in het systeem worden uitgevoerd. Wanneer er toch afgeweken moet worden van het ontwerp mag dit niet leiden tot ad-hoc wijzigingen. De vastgelegde ontwerpregels moeten dan opnieuw gehanteerd worden, om te voorkomen dat inconsistente vormen van bijvoorbeeld informatie-presentatie ontstaan.

Bij het testen van de gerealiseerde mens-machine interface is het (evenals overigens in eerdere fases) van groot belang de gebruiker te betrekken. Er mag echter niet verwacht

worden dat de operators de rol van ergonomisch expert gaan vervullen. De ontwerper kan nu de eerste ervaringen inventariseren en gebruiken om het ontwerp bij te stellen.

6 Exploitatie en onderhoud

Gedurende de levensduur van het procesbesturingssysteem zal er in de praktijk nog veel veranderen in het proces en het meet- en besturingssysteem. Deze veranderingen hebben in een aantal gevallen ook gevolgen voor de mens-machine interface. Het ontwerpdocument, dat in het functioneel ontwerp gemaakt is, moet dan worden gebruikt om de consistentie in het ontwerp te behouden.

De hierboven beschreven ontwerpaanpak wordt ook wel de systeemanalyse-aanpak genoemd. In de literatuur op het gebied van het ontwerpen van interfaces voor procescontrole zijn ook andere ontwerpaanpakken te vinden, gebaseerd op een meer intensieve participatie van operators (Ivergård, 1989): de holistische aanpak. De holistische aanpak gaat er van uit dat de ontwerper zo veel mogelijk werkt in samenwerking met de toekomstige operators van het proces. Door samen te werken met gebruikers krijg je beter zicht op hun kennis en expertise op het gebied van hun werkomstandigheden. Dit helpt om een taakanalyse uit te voeren en zicht te krijgen op de mentale modellen op basis waarvan operators hun handelingsbeslissingen nemen. Daarnaast zorgt dit er ook voor dat ze meer gemotiveerd en bereid zijn om op een positieve, constructieve manier samen te werken bij de implementatie van het systeem. Het blijkt toch vaak moeilijk om toekomstige operators te betrekken in het traditionele ontwerpproces (de systeemanalyse-aanpak). Het gebruik van schema's en dergelijke vereist namelijk vaak een te grote mate van abstract denken. De ontwerper dient er daarom voor te zorgen dat de informatie in een vorm gepresenteerd wordt die beter bij de gebruiker aansluit. Volgens de holistische aanpak moet het ontwerpproces zodanig worden veranderd dat er in plaats van met verschillende theoretische ontwerphulpmiddelen (zoals schema's ed.) gewerkt wordt met hulpmiddelen in een meer praktische en realistische vorm. In een zeer vroeg stadium van het ontwerpproces kan al met mock-ups van de bediening worden gewerkt. Dit kunnen simpele simulaties zijn (paper-and-pencil simulations, of simulaties op een PC) waarmee verschillende stukken interactie beschreven en geïllustreerd kunnen worden. Een dergelijke simulatie bestaat uiteraard uit slechts visuele illustraties en kan nooit 'real-time' werken.

In een iets later stadium kan dan van prototypes gebruik gemaakt worden. Een prototype is vaak een gesimplificeerde versie van het uiteindelijke systeem dat ontwikkeld is op een PC. Hiermee kunnen dan meestal afzonderlijke delen van het proces gesimuleerd worden, maar geen volledig proces.

Om tot een goed ontwerp voor de mens-machine interface van procescontrole systemen te komen is het niet genoeg dat gewerkt wordt in een ontwerpproces waarin de operator een belangrijke actieve rol speelt. Het is ook van belang iets te weten over algemene kenmerken en eigenschappen van operators. Daarover gaat het volgende deel.

20.2 De operator

Er zijn vele pogingen gedaan modellen van de mens als informatie-verwerkingsysteem te ontwikkelen (zie bijvoorbeeld hoofdstuk 12). Vele daarvan zijn wiskundig van aard. Dergelijke modellen kunnen meestal echter slechts een zeer beperkt deel van het handelen van de operator beschrijven en de praktische relevantie van dergelijke

modellen voor het ontwerpen van regelkamers is dan ook beperkt. In dit deel van het hoofdstuk zal daarom kort worden ingegaan op een aantal modellen van niet-mathematische aard, die wat algemener zijn dan de meeste mathematische modellen.

Het doel van dit soort modellen is te zorgen voor meer begrip ten aanzien van hoe mensen werken als operators in regelkamers. Op deze wijze kunnen ze op indirecte wijze bijdragen aan een beter ontwerp. De eerste categorie modellen die van belang zijn, zijn modellen die de menselijke informatieverwerkingseigenschappen en de bijbehorende cognitieve processen beschrijven. De belangrijkste modellen hiervoor zijn al elders beschreven. Het algemene MPI-model dat de basis vormde van het eerstejaars ergonomie diktaat (ide 130) en ook gebruikt wordt in dit diktaat is zo'n model. Een ander model dat in dit verband van belang is, is het model van Rasmussen (dit wordt beschreven in het hoofdstuk 13) In dit deel zal kort worden ingegaan op het begrip mentale modellen: modellen die de operators zelf gebruiken om het proces te begrijpen en te kunnen besturen. Wat mentale modellen precies zijn, wordt beschreven in het hoofdstuk van 13). In dit deel zullen we specifiek ingaan op mentale modellen voor procescontrole.

20.2.1 Mentale modellen van het proces

Operators hebben in hun lange termijn geheugen een soort mentaal model van hun omgeving. Dit is een min of meer effectief en bruikbaar model van het proces waarover zij supervisie hebben. Dergelijke mentale modellen worden tijdens interacties continu bijgesteld op basis van het korte termijn geheugen. Mogelijkerwijs gebeurt dit grotendeels onbewust. Het is eveneens waarschijnlijk dat dingen in de interactie opvallen doordat het mentale model niet in overeenstemming is met de toestand van het proces. Als dat gebeurt gaat de operator vaak bewust het proces analyseren om te kijken wat er aan de hand is. Aangezien mensen niet grote hoeveelheden informatie tegelijk kunnen verwerken, moet de operator selecteren welke informatie in dit geval belangrijk is. Hij doet dat op basis van zijn eigen beeld van het proces. Er zijn verschillende manieren waarop het proces opgeslagen zou kunnen worden in het geheugen. Hoe het daadwerkelijk gebeurt is niet bekend. Gebaseerd op de verschillende manieren waarop het proces beschreven kan worden, kunnen we echter veronderstellingen maken over de meest geschikte manieren om het proces in ons lange termijn geheugen te structureren. Als we daar een beeld van hebben, kunnen we proberen de manieren waarop proces informatie gepresenteerd wordt te laten aansluiten op het beeld zoals de operator dat zelf heeft.

Volgens Ivergård zijn er globaal twee manieren te onderscheiden waarop we het proces grafisch kunnen representeren: een representatie van de fysieke elementen van het proces kan worden gemaakt (bijv. een componenten-stroomschema) of een functionele representatie van het proces. Bij een functionele representatie ga je uit van een algemeen systeemdoel. Van daaruit worden verschillende subdoelen onderscheiden, die op hun beurt weer bestaan uit functies. Bij dit soort representaties is altijd het probleem om het juiste detailleringniveau te vinden. Een te verregaande opsplitsing doet het overzicht verloren gaan, een te globale structuur is niet informatief genoeg. Meestal wordt gekozen voor het presenteren van een globaal overzicht, waarbij 'op verzoek ingezoomd' kan worden op onderdelen daarvan.

Er is erg veel variatie in de manier waarop operators mentale modellen vormen. Theoretische-geörienteerde operators, die ervaring hebben in het werken met abstracte

informatie zullen bijvoorbeeld vaak met functionele modellen werken. Dit zijn ook vaak operators die er de voorkeur aan geven vanuit de regelkamer te werken, om zo op basis van de daar aanwezige informatie het proces zo goed mogelijk te begrijpen en te laten verlopen. Er zijn echter ook operators die vinden dat ze vooral buiten de regelkamer zouden moeten werken, en daar bij het doen van het praktische werk hun kennis over het proces vandaan halen. Een dergelijke operator zal waarschijnlijk voornamelijk werken met een fysiek geïntereerd model van het proces. Behalve dat het per operator verschilt met wat voor soort model ze werken, zullen de modellen ook in hun mate van gedetailleerdheid verschillen.

Het is dus zaak er in het ontwerpproces achter te komen van wat voor mentale modellen de individuele operators gebruik maken om op basis daarvan na te gaan hoe de procesinformatie gepresenteerd zou moeten worden. In gevallen waarin veel verschillende operators samen en/of in afwisseling het proces controleren, kan het moeilijk zijn een voor iedereen adequate oplossing te vinden; een mogelijkheid om operators te laten kiezen tussen verschillende wijzen van presenteren zou een oplossing kunnen bieden.

Behalve de mentaal-model problematiek spelen ook andere aspecten een rol bij het ontwerpen van de te presenteren informatie. Dit zijn bijvoorbeeld algemene beperkingen en sterktes van het menselijk informatieverwerkingssysteem. Veel hiervan wordt elders in het diktaat al beschreven (zie bijvoorbeeld hoofdstuk 12 en 13). In dit hoofdstuk wordt op een aantal van deze beperkingen en mogelijkheden echter expliciet ingegaan, omdat deze van specifiek belang zijn voor het werk van operators in regelkamers. Dit zijn de aspecten 'vermoeidheid', 'alertheid', 'underloading' en 'overloading'.

20.2.2 Overloading en underloading

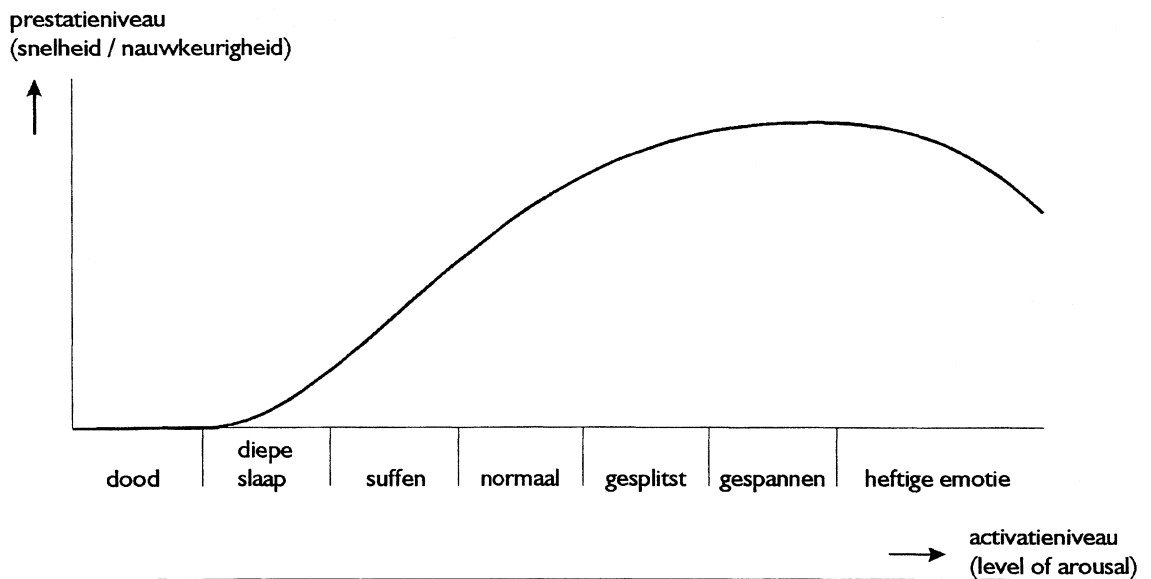
Allereerst zullen we in dit deel ingaan op enkele algemene aspecten van vermoeidheid en alertheid, waarna vooral ingegaan zal worden op het probleem van underloading, wat veel voorkomt bij regelkamertaken. Het verdient aanbeveling hiervoor eerst nog eens de paragrafen over 'Activatie-niveau en prikkelarmoede' in het diktaat ide 130 te lezen.

Vermoeidheid en alertheid

Vermoeidheid is een moeilijk te definiëren begrip. Bovendien zijn er meerdere vormen van vermoeidheid. Het bekendst is natuurlijk de fysieke vermoeidheid in de vorm van vermoeidheid in de spieren, wat in extreme gevallen tot pijn in de spieren kan leiden. De kans hierop is bij regelkamerwerk vrij gering. Het werk wordt meestal uitgevoerd in een zithouding, of afwisselend staand en zittend.

Een andere vorm van vermoeidheid heeft te maken met veranderingen in de mate van alertheid van operators. Dit wordt in het algemeen aangeduid met de term 'vigilantieprobleem'. Deze vorm van vermoeidheid ontstaat als gevolg van veranderingen in het centrale zenuwstelsel. Een van de factoren die van invloed zijn op dit type vermoeidheid is bijvoorbeeld het tijdstip op de dag. De meeste mensen zijn 's ochtends minder alert dan 's middags. Het tijdstip van hoogste en laagste alertheid, alsmede de verschillen tussen hoogste en laagste alertheid zijn echter zeer persoonsafhankelijk. Een andere belangrijke factor die van invloed is op de alertheid, is het karakter van de taak.

Figuur 20.1 illustreert hoe de prestaties van mensen sterk kunnen variëren met hun mate van alertheid. Er bestaat zoiets als een optimale mate van alertheid, waar de prestatie maximaal is. Als de mate van alertheid erg laag is, is het prestatieniveau ook laag. Als de mate van alertheid erg hoog is, kan het prestatieniveau echter ook laag worden. Taken met weinig variatie kunnen er toe leiden dat de mate van alertheid laag wordt, waardoor de prestaties van de operators ook weer afnemen. De alertheid van operators kan op peil worden gehouden met andere aspecten dan taakaspecten. Bij monotoon werk met weinig 'taakprikkelingen' kan de alertheid bijvoorbeeld met secundaire stimuli zoals muziek op peil worden gehouden. Van de andere kant kan een secundaire stimulus er ook toe leiden dat als de alertheid bij een taak al hoog was, deze te hoog wordt, wat dan weer ten koste van de prestaties kan gaan.



Figuur 17.8: Verband tussen activatieniveau ('level of arousal') en prestaties

Het werk in regelkamers bevat vaak weinig variatie gedurende lange tijd, waardoor een laag alertheidsniveau kan ontstaan. Bovendien wordt dit werk vaak in ploegendienst gedaan, waardoor er ook ploegen zijn waarvan de operators in de vroege ochtenduren moeten werken, wanneer de alertheid laag is en dus de kans op slechte prestaties groter.

Underloading

In de meeste gevallen bestaat een belangrijk deel van het werk in regelkamers uit wat in het Engels heet: 'monitoring'taken. Monitoring is het in de gaten houden of een proces goed blijft verlopen. Dit is een schoolvoorbeeld van het soort taken dat tot verminderde alertheid leidt. De taak vereist dat het alertheidsniveau vrij hoog gehouden wordt, terwijl er van de andere kant weinig werk te doen is en er ook weinig gebeurt en de alertheid dus in werkelijkheid juist laag wordt. Dit soort taken wordt vaak vigilantietaken genoemd. Het is typerend voor vigilantie-taken dat de prestaties al na een korte tijd werken flink omlaag gaan. Bij vigilantie-taken is het aantal signalen (zoals wijzerverplaatsingen, alarmsignalen) erg klein. Bij regelkamerwerk komt het veel voor dat signalen in de gaten gehouden moeten worden die maar zelden en altijd onverwacht voorkomen. Het belang van die signalen kan echter erg groot zijn. Het is bijvoorbeeld gevaarlijk als een operator kleine wijzerbewegingen in de gaten moet

houden. Als dergelijke wijzerbewegingen belangrijk zijn, dienen ze vergezeld te gaan van alarms, zodat daarmee de vigilantieproblemen vermeden kunnen worden.

In regelkamers is de werkbelasting gewoonlijk erg laag, te laag om het vereiste niveau van alertheid te bereiken. Soms, echter, zijn er pieken in de belasting. Die kunnen soms zo hoog zijn dat ze boven het acceptabele niveau komen en het prestatieniveau van de operator er onder gaat lijden. Meestal komen dergelijke pieken voor bij verstoringen in het systeem. Maar ook bij bijvoorbeeld werkzaamheden als het opstarten van een proces.

Voor operators is het moeilijk om met dergelijke plotselinge pieken om te gaan. Het is extra moeilijk omdat daarvoor het alertheidsniveau erg laag was. Hierdoor is men minder klaar om te gaan handelen in de pieksituatie. Een extra probleem daarbij is dat het vaak gaat om hoger opgeleide mensen die veelal simpel werk moeten doen en op onverwachte momenten ineens 'alles uit de kast moeten halen'. Ergonomisch slecht ontworpen informatiepanelen, meters en bedieningsmiddelen, alsmede allerlei vormen van extra belasting als gevolg van de werkomgeving (spiegeling in schermen, omgevingslawaaï) maken het extra moeilijk om adequaat te reageren in pieksituaties. Dit zijn dus belangrijke aandachtspunten bij het ontwerpen van regelkamers. Daarnaast is het natuurlijk in eerste instantie zaak de hoogte van de pieken in de belasting te reduceren en er voor te zorgen dat operators de mogelijkheid krijgen de juiste prioriteiten te stellen in hun uit te voeren taken. De mens-machine interface zou duidelijk moeten aangeven welke taken het eerst zouden moeten worden uitgevoerd in dergelijke situaties.

Werk met een lage belasting wordt door mensen al snel als monotoon ervaren. Maar monotonie kan ook door andere zaken ontstaan. Als de variatie in taken laag is, maar de belasting als gevolg van die taken hoog is, kan het werk nog steeds monotoon gevonden worden. Dit komt nog al eens voor. Daarom wordt in regelkamers aan operators vaak extra taken toebedeeld, zoals het aflezen en vastleggen van meteraflezingen, rapportages maken, etc. Dit soort taken is echter ook nog vrij monotoon en heeft daarom weinig effect op het gevoel van monotonie. Het extra werk moet voldoende gevarieerd zijn voor de operator. Het is belangrijk dat het wel relevante taken zijn en dat ze toch onafhankelijk van de hoofdtaken gedaan kunnen worden. Door dergelijke taken uit te voeren zal de operator piekbelastingen beter aan kunnen. In de praktijk betekent dat, dat het taken zijn waarbij de operator aan het systeem en het proces zelf werkt. Dat kan dus bijvoorbeeld zijn het plannen van een volgende keer dat een proces moet gaan draaien of het optimaliseren van het proces. Onderhouds- en servicewerkzaamheden aan het proces of aan de installatie zijn voor dit doel ook zinvolle taken.

20.3 Inrichting van de regelkamer

In dit deel van het hoofdstuk zullen we aanbevelingen geven voor het inrichten van regelkamers. Het inrichten van regelkamers is iets dat plaatsvindt in de fase van het technisch ontwerp (fase 4 van het ontwerpproces zoals eerder dit hoofdstuk besproken). Allereerst zullen we ingaan op principes voor het positioneren van apparatuur en meubilair in de regelkamer. Daarna wordt het ontwerpen van informatie-aanbieders, bedieningselementen en andere werkvlakken besproken.

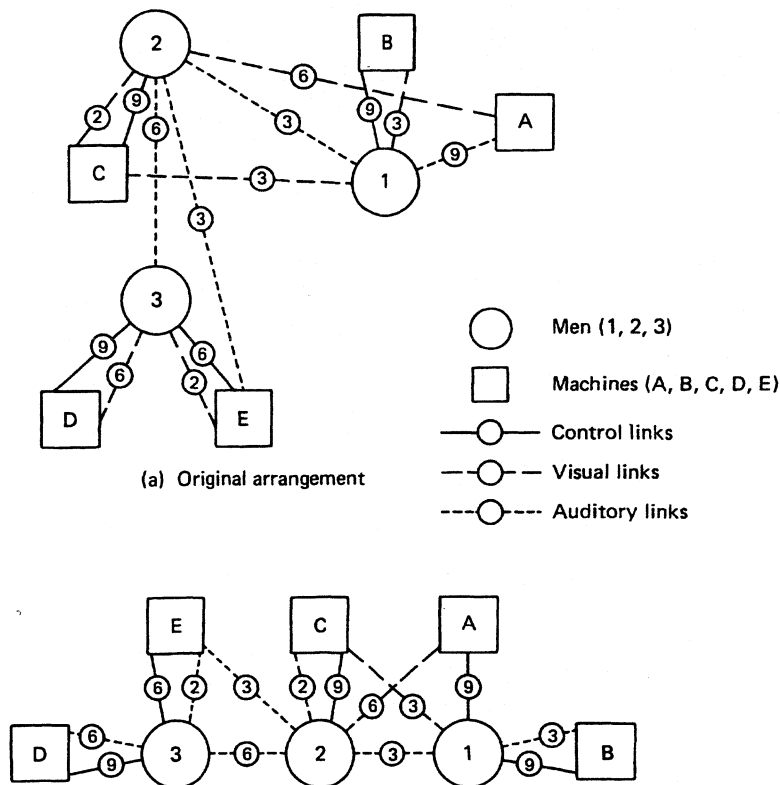
Alvorens te beginnen met het ontwerpen van de regelkamerinrichting is het zaak eerst de volgende analyse uit te voeren, zodat een aantal aannames die ten grondslag zullen

liggen aan het ontwerp expliciet gemaakt zijn. De analyse bestaat uit de volgende stappen:

- 1 Analyseer welke taken binnen de regelkamer uitgevoerd moeten gaan worden;
- 2 Groepeer taken per operator en ga na in welke relatie de verschillende werkplekken tot elkaar staan;
- 3 Ontwerp voor iedere werkplek de informatie- en bedieningspunten, alsmede de andere werkvlakken. Op basis van:
 - eisen t.a.v. de informatie-voorziening
 - eisen t.a.v. bedieningsmiddelen
 - eisen t.a.v. werkvlakken (zoals 'schrijf'vlakken)
 - eisen t.a.v. lichamelijke ondersteuning (stoelen e.d.)
- 4 Analyseer welke secundaire functies de operator zal krijgen en welke eisen er gesteld worden aan communicatie met anderen binnen de regelkamer of met mensen in andere regelkamers.

20.3.1 Relatie tussen verschillende werkplekken

In vrijwel iedere regelkamer komt het wel eens voor dat verschillende operators tegelijk werkzaam zijn, ook al is dat voor de betreffende regelkamer een uitzondering. Zelfs wanneer een operator alleen werkt, zal hij meerdere werkplekken binnen een regelkamer hebben. Het is belangrijk dat de verschillende werkplekken ten opzichte van elkaar juist gepositioneerd zijn. Een middel om te onderzoeken wat voor eisen aan positionering van werkplekken t.o.v. elkaar gesteld moeten worden is het doen van frequentie- en sequentie-analyses. Bij dergelijke analyses worden alle contacten tussen operators onderling en tussen operators en apparatuur in kaart gebracht. Operators moeten bijvoorbeeld meters af kunnen lezen, maar moeten ook met andere operators kunnen praten. Ook is het belangrijk bij dergelijke analyses verplaatsingen van operators of van werkmateriaal in kaart te brengen. Het uitgangspunt bij het ontwerpen moet uiteraard zijn dat contacten gemakkelijk 'onderhouden' kunnen worden. Een collega waarmee een operator frequent contact heeft of een meter die veel geraadpleegd moet worden moet dichtbij zitten, iemand waarmee de operator minder contact heeft mag wat verder weg zitten. Maar behalve frequentie speelt natuurlijk ook het belang van bepaalde contacten een rol. Contacten die van belang zijn, bijvoorbeeld in verband met het voorkomen van ernstige fouten dienen eveneens op een geschikte plaats ten opzichte van de operator gepositioneerd te worden. Of de plaats inderdaad geschikt is, hangt voor een belangrijk deel af van het soort contact zelf. Als het contact bijvoorbeeld bestaat uit het kijken naar wat een andere operator doet, omdat de informatie daaruit van belang is voor het eigen werk, kan de ene operator bijvoorbeeld schuin achter of iets hoger dan de andere gezet worden. Als het meer een kwestie is van met elkaar praten en het over en weer uitwisselen van informatie, dan kunnen de operators beter tegenover of bijna tegenover elkaar zitten. In figuur 20. 2 is een voorbeeld gegeven van een 'link analyse'. Bovenaan de oude situatie, onderaan de herontworpen situatie. Bij een link-analyse moet geprobeerd worden het aantal elkaar kruisende lijnen te minimaliseren. Daarnaast moeten de belangrijkste/meest gebruikte links zo kort mogelijk zijn. Door een diagram door te spreken met ervaren operators kan duidelijk worden welke links het belangrijkste zijn. Welke links het meest gebruikt worden, kan bepaald worden door middel van een simulatie van het systeem, of door observatie en gesprekken met ervaren operators.



Figuur 20.2 linkanalyse (fig. 5.1 uit Ivergård)

20.3.2 Het ontwerpen van de individuele werkplekken

Bij de beschrijving van het ontwerpen van werkplekken in het nuvolgende deel gaan we uit van goede verlichtingsomstandigheden (zie daarvoor hoofdstuk 16). In dit deel zullen we het hebben over het positioneren en ontwerpen van informatie- en bedieningsmiddelen, alsmede van werkvlakken. Het gaat er om dit alles zodanig te ontwerpen dat er gemakkelijk in gewerkt kan worden, zonder al te snel moe te worden, en zodanig dat er snel en nauwkeurig gewerkt kan worden.

Positioneren van informatie- en bedieningsmiddelen.

Er zijn talrijke manieren waarop instrumentenpanelen ontworpen kunnen worden. Voor bepaalde toepassingen is een paneel waarop het proces schematisch is weergegeven, het beste. Voor andere toepassingen kan dat erg ongeschikt zijn. Andere manieren waarop de instrumenten op het paneel gerangschikt kunnen worden, kunnen gevonden worden op basis van de ook al eerder genoemde frequentie-, sequentie- en linkanalyse en op basis van het relatieve belang van de instrumenten. Anders gezegd kan dat leiden tot ordeningen naar

- 1 gebruiksfrequentie (bijvoorbeeld: veel gebruikte instrumenten zoveel mogelijk dichtbij de bliklijn);
- 2 gebruiksvolgorde (bijvoorbeeld: als instrumenten A, B en C altijd in die volgorde worden gebruikt, kunnen ze het beste in dezelfde volgorde van links naar rechts naast elkaar gerangschikt worden);
- 3 belang (bijvoorbeeld: als een bepaald instrument erg belangrijk is, kan overwogen worden het centraal te plaatsen, ook al wordt het weinig gebruikt);

- 4 gelijkheid van functie (bijvoorbeeld: alle instrumenten die betrekking hebben op een bepaald deel van het proces bij elkaar).

Welke manier van ordening ook aangehouden wordt, de volgende vier aandachtspunten gelden altijd:

1 Zichtbaarheid

De operator moet alle instrumenten kunnen waarnemen vanaf zijn normale werkplek zonder daarvoor abnormale bewegingen te hoeven maken met zijn hoofd of lichaam. De volgende aanbevelingen moeten daarbij worden opgevolgd:

- waarschuwingssignalen en primaire informatie, moet waargenomen kunnen worden zonder dat de operator daarvoor hoofd of ogen hoeft af te wenden van hun normale stand.
- voor het aflezen van secundaire informatie mag het nodig zijn dat de kijkrichting veranderd moet worden door de ogen te bewegen. Het moet echter niet nodig zijn, daarbij ook nog het hoofd te bewegen.
- andere (niet vaak gebruikte) informatie hoeft zich niet te bevinden binnen het normale gezichtsveld.

2 Onderscheidbaarheid

De operator moet instrumenten of groepen instrumenten snel kunnen vinden zonder fouten te maken. Er zijn verschillende manieren waarop dit verwezenlijkt kan worden:

- door lege ruimtes tussen instrumenten of groepen van instrumenten
- kleurverschillen tussen hoofdpanelen en subpanelen
- lijnen van verschillende kleuren om instrumenten
- een subpaneel op een andere plaats dan het hoofdpaneel
- een subpaneel verzonken in het hoofdpaneel.

3 Afleesbaarheid

Wanneer gebruik gemaakt wordt van alfanumerieke informatie, zijn daarbij de volgende regels van toepassing:

- plaatsing van tekst moet consistent zijn, boven dan wel onder het instrument
- alle panelen, groepen van instrumenten en individuele instrumenten moeten voorzien zijn van teksten; de afmetingen van teksten moet toenemen met stappen van 25% van kleine naar grote teksten (bijv. individuele instrumenten het kleinst, dan groepen, enz.)
- teksten moeten horizontaal staan
- teksten die niet gerelateerd zijn aan functionele aspecten van bediening (zoals het naamplaatje van de fabrikant) moeten zodanig gepositioneerd zijn, dat ze niet verward kunnen worden met functionele teksten
- teksten moeten niet geplaatst worden op gekromde vlakken.

4 Stereotype gedrag

Zowel controls als displays moeten overeenkomstig de verwachtingen van de operator gepositioneerd zijn, en moeten ook het soort informatie geven dat de operator verwacht. In het diktaat van ide130 wordt hier uitgebreid op ingegaan.

Het ontwerpen van informatie- en bedieningspanelen.

Dat deel van de panelen dat voornamelijk een informatieve functie heeft, bevat

verschillende groepen van displays:

- 1 Overzichtsdisplays:
 - a dynamische
 - b statische
- 2 Specifieke displays:
 - a dynamische
 - b statische

Overzichtsdisplays geven de operator een globale blik op hoe het proces in elkaar zit of wat de huidige status van het proces is. Er zijn zowel statische overzichtsdisplays (zoals stroomdiagrammen op afbeeldingen aan de muur) als dynamische overzichtsdisplays (displays die ook meters en dergelijke bevatten). Een dynamisch display kan ook symbolen bevatten die kunnen veranderen (zoals lampjes die aan of uit gaan afhankelijk van of bijvoorbeeld een bepaalde pomp aan of uit staat). *Specifieke displays* (vaak beeldschermen) geven de detailinformatie weer die nodig is om specifieke instellingen te kunnen maken met een control. Specifieke informatie is vaak dynamisch, maar kan ook statisch van aard zijn (zoals informatie in tabellen of grafieken). Op het ontwerpen van controls en displays zelf is in ide 130 al uitgebreid ingegaan.

In steeds meer regelkamers worden tegenwoordig ook beeldschermen gebruikt. Een goede strategie bij het ontwerpen van de informatie is dan, om er van uit te gaan dat ieder beeldscherm voor een ander doel wordt gebruikt:

- een scherm voor overzichtsinformatie;
- een scherm voor detailinformatie;
- een scherm voor alarmmeldingen.

Daarnaast is het goed om afzonderlijke beeldschermen te hebben voor planningswerkzaamheden, werkzaamheden ter optimalisering van het proces en als reserve.

Aangezien op beeldschermen slechts een zeer beperkte hoeveelheid informatie tegelijk kan worden afgebeeld, moeten op beeldschermen vaak verschillende beelden na elkaar bekeken worden. Aangezien overzichtsinformatie op beeldschermen niet veel details kan bevatten, is het soms noodzakelijk om (eventueel daarnaast) speciale grote dynamische panelen te gebruiken om genoeg informatie parallel te kunnen weergeven. In de laatste paragraaf van dit hoofdstuk wordt uitgebreider stilgestaan bij de vraag hoe computers en beeldschermen bij kunnen dragen aan een betere procescontrole.

Het gebruik van beeldschermen (CRT's)

In deze paragraaf zal kort een aantal aanbevelingen worden gegeven met betrekking tot het gebruik van CRT's. De basiseisen die gesteld moeten worden aan ontwerpen voor CRT's zijn dat de informatie zichtbaar en goed afleesbaar is. Deze problematiek wordt behandeld in hoofdstuk 15. Daarnaast is er de problematiek van het coderen van informatie en de opbouw van het beeldscherm. Hoewel deze aspecten ook op andere plekken in dit diktaat worden besproken komen ze hier toch even kort aan bod, omdat er een aantal aspecten aan zit dat typisch is voor regelkamerwerk.

1 Codering

Het gebruik van codering kan de prestaties van operators aanmerkelijk verbeteren, in het bijzonder bij simpele informatieverwerkingstaken. In het algemeen is codering van

weinig of geen nut voor het kwantificeren van informatie of voor het schatten van afmetingen. Aanbevolen wordt om een code uit niet meer dan 7 verschillende onderdelen te laten bestaan (bijv. 7 letters of cijfers). Hoe minder componenten hoe beter.

Kleurcodering. Kleurcodering kan het best gebruikt worden voor lokalisatie en globale vergelijking van informatie.

Alfanumerieke codering. Alfanumerieke codering kan het best gebruikt worden voor het kwantitatief aflezen van informatie (wanneer snelle, globale herkenning geboden is, is het echter vaak beter om kleurcodering te gebruiken).

2 Opbouw van het beeldscherm

De belangrijkste factor bij het bepalen van en het ontwerpen van het te presenteren beeld is de functie die vervuld moet worden. Enkele globale richtlijnen:

Digitale weergave is het best voor kwantitatieve informatie. Met name wanneer die gebruikt moet worden voor het maken van instellingen en checks.

Wijzers op ronde schalen zijn het best voor het tonen van veranderingen.

Verticale rechte en ronde schalen met bewegende wijzers zijn goed voor checks.

Op CRT's kan in het algemeen beter gebruik gemaakt worden van diagrammen dan van grafieken. In het bijzonder histogrammen zijn erg gemakkelijk af te lezen. Grafieken zijn echter beter voor het opsporen van trends. Om meerdere variabelen met elkaar te kunnen vergelijken kunnen ook meerdere grafieken tegelijk gebruikt worden of kunnen meerdere (maximaal 3) curven in een grafiek geplaatst worden.

Plaatsing en afmetingen van werkvlakken.

Werkvlakken en controls moeten gemakkelijk bereikbaar zijn. Dat heeft consequenties voor zowel de hoogte, de diepte als de breedte van de belangrijkste werkvlakken. Bij de meeste soorten werk in regelkamers is veel extra ruimte nodig voor het uitvoeren van extra taken naast de echte regeltaken. Zo zijn er, bijvoorbeeld, schrijfvlakken nodig, vlakken waarop boeken en handleidingen gezet kunnen worden, er moet plaats zijn voor koffiekopjes en zelfs voor asbakken. Op hoogtes en afmetingen van werkvlakken en vlakken ter ondersteuning van de gebruiker (stoelen ed.) wordt in andere hoofdstukken al voldoende ingegaan. Hier zullen we slechts ingaan op de vraag in welke gevallen uitgegaan kan worden van zittend werken en in welke gevallen staand werk mogelijk moet zijn.

Zittend werken wordt aanbevolen in de volgende gevallen:

- 1 om vermoeidheid te voorkomen. In een zittende positie is het gemakkelijker om langdurig te werken, gebruikmakend van de armen of benen;
- 2 wanneer het voorkomt dat de operator beide benen tegelijk moet gebruiken, grote krachten moet uitoefenen met zijn benen, snel pedalen moet kunnen bedienen of meerdere pedalen met één of allebei de voeten moet kunnen indrukken
- 3 wanneer de operator beschermd moet worden tegen een sterk trillende omgeving en de armen en benen vrij moeten blijven om controls te bedienen;
- 4 wanneer de werkplek van de operator in zijn geheel beweegt. In dat geval is extra ondersteuning van het lichaam nodig (in vergelijking tot een gewone stoel).

Mogelijkheid tot het staand uitvoeren van het werk wordt aanbevolen:

- 1 wanneer nogal wat mobiliteit vereist is; door een stap te zetten kan een operator bij aanzienlijk meer controls;

- 2 wanneer de operator grotere bewegingen moet kunnen uitvoeren;
- 3 wanneer bewegingen vereist zijn die grote krachten over grote afstanden vereisen.

In al deze gevallen is het aan te bevelen dat de operator ook de mogelijkheid heeft om te zitten. Een dergelijke werkplek wordt ontworpen voor staand werk en een hoge stoel of sta-steun dient dan aanwezig te zijn.

20.4 Problemen in procescontrole

In dit hoofdstuk wordt een aantal problemen besproken die veel voorkomen in regelkamers voor procescontrole. Alle zijn afkomstig van cases uit de praktijk (Woods, O'Brien and Hanes, 1987). Het is niet ongevoerd dat bij een evaluatie van een werkplek honderden ergonomische gebreken naar boven komen. Het gaat daarbij meestal om een brede range van mens-machine interactie issues: apparatuuronderdelen die incompatibel zijn met de antropometrische, sensorische, perceptieve en cognitieve mogelijkheden van het personeel dat het moet gebruiken binnen de regelkamer. Ten behoeve van de discussie zijn de problemen gegroepeerd in termen van het specifieke ermee gerelateerde operatorgedrag. De problemen zijn de volgende:

- het aflezen van informatie;
- het reiken naar controls;
- problemen m.b.t. het mentaal kunnen verwerken van informatie;
- het activeren van controls;
- het interpreteren van codes;
- het localiseren van de afzonderlijke displays en controls;
- het reageren op alarmmeldingen.

Hoewel natuurlijk niet al deze problemen in alle regelkamers voorkomen, zijn ze wel typerend voor het soort problemen in de meeste regelkamers voor procescontrole.

20.4.1 Het aflezen van informatie.

Het vermogen van het menselijk oog, om visuele elementen waar te nemen is afhankelijk van de grootte van het element (gemeten in visuele hoek), de kijkhoek en de verlichting in de omgeving van het element (zie bijv. hoofdstukken 15 en 16). Voor elk van de genoemde variabelen zijn ergonomische eisen beschikbaar waaraan deze zouden moeten voldoen. In veel van de door Woods et al. (1987) onderzochte cases werd echter niet tegemoet gekomen aan deze eisen.

Vaak was de leesafstand te groot. Daarnaast was in sommige gevallen sprake van verticale langwerpige meters van 20 cm die een vaste schaal met bewegende wijzer hadden en die voorzien waren van een transparante, enigszins bolle plastic cover. Deze meters waren zo gepositioneerd dat ze boven de horizontale bliklijn van de operator zaten. Een van de problemen daarbij was dat spiegeling optrad in de plastic covers. In één geval was het daarnaast ook nog zo dat de normaalstand van de wijzers boven in de meter zat (dat deel wat het moeilijkst afleesbaar was voor de operator). In sommige secundaire panelen met meters was het zelfs zo erg dat operators op een stoel moesten gaan staan om hoog geplaatste meters goed af te kunnen lezen.

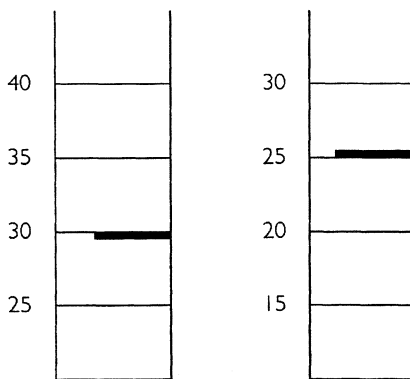
20.4.2 Het reiken naar controls.

Op een goed ontworpen bedieningsconsole horen de controls zo geplaatst te zijn dat ze goed bereikbaar zijn voor de kleinste operator die de apparatuur zal gebruiken (meestal zou uitgegaan moeten worden van het vijfde percentiel operator). Dat

betekent dat de controls binnen een comfortabele reikwijdte moeten zijn geplaatst. In één van de cases die Woods et al. (1987) onderzocht hebben waren de meters zo ver weg geplaatst dat de operator daarvoor in een oncomfortabele houding voorover moest buigen en daarbij soms per ongeluk controls op andere bedieningsvlakken raakte. In een andere case konden sommige operators moeilijk bij hoog geplaatste meters.

20.4.3 Problemen m.b.t. het mentaal kunnen verwerken van informatie.

Bij het ontwerpen van gegevenspresentatiesystemen moet veel aandacht besteed worden aan hoe gegevens gepresenteerd moeten worden. Gegevens moeten bij voorkeur gepresenteerd worden in dezelfde vorm als waarin de operator ze wil gebruiken. De ruwe meetgegevens van de sensoren moeten zoveel mogelijk getransformeerd worden tot een voor de operator geschikte vorm. Daartoe kunnen meetwaarden bijvoorbeeld gecombineerd worden tot procesinformatie op hoger niveau, i.p.v. ze allemaal afzonderlijk te laten zien (in paragraaf 20.6.2 wordt een concrete oplossing voor dit probleem besproken). In één van de cases van Woods et al. (1987), klaagden operators over het aflezen van twee drukmeters: een voor de druk in een watertoevoerleiding en een voor de stoomdruk. De meters waren naast elkaar geplaatst en hun waarden moesten steeds vergeleken worden. Een van de problemen daarbij was dat ze verschillende schaalverdelingen hadden. Dergelijke onhandigheden leidden tot vertraagde reacties van operators en tot vergissingen in het transformeren van gegevens door de operator. Daarnaast kunnen dergelijke zaken tot nog een ander soort vergissingen leiden. In veel gevallen gebruiken operators namelijk wijzerposities als gegevens om mee te werken en niet de precies af te lezen cijfers. In een geval als weergegeven in figuur 20.3 kan dit bijvoorbeeld leiden tot de conclusie dat de druk in vat A lager is dan die in vat B, terwijl bij het aflezen van de meterstanden blijkt dat dat niet zo is.



Figuur 20.3 Naast elkaar geplaatste meters met verschillende schalen.

20.4.4 Het activeren van controls.

Individuele controls moeten zodanig ontworpen worden dat de richtingen waarin de controls bewogen moeten worden om een bepaald gewenst effect te verkrijgen duidelijk is voor de operator en niet in strijd is met de verwachtingen die de operator heeft gevormd op basis van eerdere ervaringen. Daarnaast is het van belang ten aanzien van dit soort aspecten consistent te zijn binnen het gehele regelsysteem waarmee de operator te maken krijgt. Knoppen om iets 'uit' te zetten moeten alle binnen het systeem op dezelfde wijze te activeren zijn.

20.4.5 Het interpreteren van coderingen.

Op panelen wordt zeer veel gebruik gemaakt van kleurcoderingen om informatie over te dragen aan operators. Dergelijke coderingen kunnen een grote bijdrage leveren aan het vereenvoudigen van bepaalde taken. De tijd die nodig is om bepaalde controls te localiseren kan behoorlijk gereduceerd worden door bijvoorbeeld kleurcoderingen te gebruiken. De effectiviteit van dergelijke coderingen is uiteraard wel sterk afhankelijk van of de operator de kleur/functie combinatie kent en of die combinatie consistent gebruikt wordt. In één van de cases die Woods et al. (1987) onderzochten, was duidelijk geen rekening gehouden met deze consistentie-eis. Het vlakje achter de knop 'reactor trip' op het turbine-paneel in de regelkamer was rood. In dit geval is dat een juiste keuze, rood wordt geassocieerd met gevaar en noodsituaties, en daar is de knop voor bedoeld. Het vlakje achter de knop op het reactor-paneel in diezelfde regelkamer was echter zwart, terwijl die knop exact dezelfde werking en functie had.

20.4.6 Het localiseren van de afzonderlijke controls en displays.

Het localiseren van individuele componenten op panelen werd in veel van de cases van Woods et al. door operators genoemd als een groot probleem. Dat is niet raar, als je nagaat hoeveel controls en displays er op sommige panelen zitten en hoeveel sommige controls en displays op elkaar lijken. Zelfs zeer ervaren operators zeggen dat zij regelmatig naar verkeerde controls grijpen en dat vaak pas bemerken als ze het control al geactiveerd hebben. Door op panelen functionele relaties tussen elementen aan te geven en er voor te zorgen dat ook zonder zorgvuldig lezen van labels afgeleid kan worden waarvoor een control of display dient, kan dit probleem grotendeels opgelost worden.

20.4.7 Het reageren op alarmmeldingen.

In de door Woods et al. beschreven cases werd ook vaak melding gemaakt van grote problemen met alarmeringsystemen. Het belangrijkste probleem hierbij is het probleem van de 'lawine van alarmmeldingen' die bijvoorbeeld optreedt bij wisseling van processen. Dit probleem wordt veroorzaakt doordat in veel regelkamers het principe van enkelvoudige alarmen gehanteerd wordt. Veelal komt dit voort uit het feit dat veel hardware die gebruikt wordt voor alarmsystemen, geen of te weinig computercapaciteit beschikbaar heeft om variabelen met elkaar te combineren. Als gevolg hiervan worden de werkers in de regelkamer bij proceswisselingen soms overstelpt met alarmen vanwege procesparameters die kritische waardes aannemen. Sommige regelkamers hebben wel 2000 alarmen, waarvan er bij het begin van een proceswisseling vaak zo'n 200 a 300 actief kunnen zijn. Dergelijke problemen kunnen alleen opgelost worden door gecomputeriseerde alarmsystemen te installeren.

Veel van de hierboven genoemde (in de praktijk geconstateerde) problemen zijn veroorzaakt door gebrek aan aandacht voor ergonomische aspecten tijdens het ontwerpen van de regelkamers. Ook zijn veel van de problemen veroorzaakt doordat het niet mogelijk bleek om met de beschikbare techniek oplossingen te vinden die genoeg aansloten bij de manier waarop operators denken, waarnemen en werken. Door bestaande ergonomische kennis toe te passen werden vele van de genoemde problemen binnen de beschikbare technische mogelijkheden opgelost. Voor het vinden van echt goede oplossingen is het echter noodzakelijk computers in te schakelen om de grote hoeveelheid door sensoren gemeten procesgegevens te transformeren tot informatie die beter aansluit bij de wijze waarop operators denken over het proces.

20.5 Computers in regelkamers

(Het nu volgende is een bewerkte vertaling van een deel 'Buurman (1991)')

20.5.1 Problemen bij de intrede van computers in regelkamers.

De huidige trend in het ontwerpen van regelkamers laat zich kenmerken door een aantal aspecten:

- compactere regelkamers
- met daarin minder mensen,
- geïntegreerde besturingssystemen met displays waarop alle procesgegevens en bedieningsmiddelen gepresenteerd worden.

Deze trend in combinatie met moderne dataverwerkingstechnieken maakt het mogelijk op flexibele wijze procesgegevens te presenteren op een wijze die beter aansluit bij de mentale modellen en visuele en cognitieve mogelijkheden van de operators.

In de praktijk zijn er echter nog veel problemen; niet zo zeer tijdens het normaalverloop van een proces als wel tijdens proceswisselingen en verstoringen van het proces. Dit heeft er toe geleid dat in veel renovatiesituaties besloten werd de traditionele bedienings- en informatiepanelen niet te verwijderen, terwijl dat oorspronkelijk wel de bedoeling was. Zelfs na een lange tijd van gewenning en training durfden operators vaak nog niet volledig te vertrouwen op computerinformatie gedurende het opstarten of stoppen van processen.

De problemen worden veroorzaakt door het feit dat computerdisplays beperkt zijn in resolutie, afmetingen en geheugen. Gefragmenteerde, snel veranderende na elkaar gepresenteerde informatie vervangt het complete, vrij rustige, op trends georiënteerde en gedetailleerde overzicht dat conventionele niet-digitale panelen bieden. Operators krijgen het gevoel als door een sleutelgat naar een deel van de gegevens te kijken, en daarbij hoger-niveau informatie die direct gerelateerd is aan hun 'regeldoelen' uit het oog te verliezen. Informatie is niet meer 'altijd tot hun beschikking', maar is slechts 'op afroep' na het zorgvuldig doorlopen van een tijdrovende mens-computer interactie beschikbaar (in plaats van door gewoon naar het betreffende paneel te lopen). In het bijzonder in het geval van verstoringen van het proces of van proceswisselingen zal dit problemen opleveren. Juist in deze gevallen is snel een juist inzicht in het verloop van het proces noodzakelijk. De hiërarchisch opgedeelde, gefragmenteerde en snel veranderende 'blikken' op het proces zullen bij de operators niet gemakkelijk leiden tot de vorming van geschikte mentale modellen.

20.5.2 Mogelijkheden ter verbetering.

Het ontwerpproces

In veel gevallen zijn de problemen veroorzaakt door het niet of te laat inzetten van ergonomische expertise in het ontwerpproces. In de eerdere paragrafen over het ontwerpproces is aangegeven op welke wijze ergonomische kennis en expertise tijdig ingebracht kan worden in het ontwerpproces (onder andere door het vroegtijdig daarin betrekken van operators).

De presentatie van informatie

Met behulp van computers wordt het steeds beter mogelijk om procesgegevens uit verschillende bronnen met elkaar te combineren en te integreren; informatie uit verleden, heden en zelfs de verwachte toekomst kunnen gecombineerd worden in

grafieken, symbolen, afbeeldingen en in gesproken woord. Omdat operators bezig zijn onverwachte problemen op te lossen, zullen zij op knowledge-based niveau (zie hoofdstuk 13) functioneren. Computers kunnen juist bij het werken op dat niveau krachtige ondersteuning bieden door displays te sturen die duidelijke relaties tussen procescomponenten en hun status aangeven.

Het gebruik van veranderende, in principe symmetrische, geometrische vormen bij de gegevensweergave op displays vormt hiervan een goed voorbeeld. Op dergelijke displays worden meestal regelmatige veelhoeken gebruikt voor het weergeven van de normaalloop van een proces en vervormde veelhoeken in andere gevallen. De hoekpunten van de veelhoeken geven, op gebalanceerde wijze, de waardes weer van een aantal essentiële parameters van het proces zoals die aan elkaar gerelateerd zijn door de dynamische eigenschappen van het proces. De richting en mate van vervorming van de veelhoek geeft 'hoog-niveau' informatie over het soort en de ernst van de procesverstoringen, op een manier die aansluit op het niveau waarop de operator naar het proces kijkt en over het proces en de besturing ervan nadenkt. Daarnaast maakt een dergelijke wijze van presenteren goed gebruik van het feit dat mensen gemakkelijk kleine verstoringen in regelmatige patronen kunnen detecteren.

Een andere erg wenselijke en niet moeilijk te verwezenlijken verbetering is het weergeven van hulpinformatie om overzicht te houden over de structuur van schermbeelden en beter te kunnen 'springen' tussen schermbeelden (om zo sneller gewenste schermbeelden te kunnen vinden en gebruiken). Ook hulpmiddelen die gebaseerd zijn op modellen van de werking van het proces kunnen toegepast worden, om zo de weergegeven procesgegevens gemakkelijker te kunnen verifiëren en om de operator bij een gewenste ingreep te ondersteunen in het nemen van beslissingen door deze snel te simuleren en het voorspelde effect ervan te laten zien.

Ook het eerder genoemde probleem van de 'lawine van alarmen' kan aangepakt worden met behulp van computers, door er voor te zorgen dat er alarmen gegeven worden die de betekenis van procesverstoringen weergeven in relatie tot de operatordoelen. Met behulp van daartoe geschikte algoritmes kan aan de alarmen verschillende prioriteit worden gegeven en kunnen ze geordend worden.

Het meest vérgaand zijn display-systemen die, in het geval van kleine veranderingen in procestoestand, automatisch op bepaalde schermen meer gedetailleerde relevante informatie presenteren zonder dat het nodig is dat de operator daar actief naar gaat zoeken. Dit kan operators ook helpen bij de afweging die ze steeds moeten maken tussen het meteen uitvoeren van een actie of het nog eerst even zoeken naar meer gegevens om zekerder te weten wat er moet gebeuren. Het vermindert het risico dat operators blijven zoeken naar meer informatie om bevestiging te vinden van wat ze denken dat er mis is, in plaats van meerdere mogelijkheden naast elkaar te zetten en die te gaan testen.

Begrippen

regulatoren

het ontwerpproces

 systeemanalyse-aanpak

 holistische aanpak

de operator

- mentale modellen
- functionele modellen
- fysiek geïoriënteerd model
- alertheid
- monitoring
- vigilantietaken
- inrichting van de regelkamer
- frequentie- en sequentie-analyses
- overzichtsdisplays
- specifieke displays
- CRT's
- alfanumerieke codering
- digitale weergave

Literatuur

- Arbeidsinspectie, 1992.
Ergonomische richtlijnen voor informatie-overdracht bij procesbesturing.
Concept Publikatieblad 36. Den Haag: Ministerie van Sociale Zaken en
Werkgelegenheid.
- Buurman, R. den, 1991.
Ergonomic design of monitoring displays for control rooms. In: Popovic, V.,
Walker, M (eds.); Ergonomics and human environments Proceedings of the 27th
conference of the Ergonomics Society of Australia 1-4 December 1991, p.75-80,
Coolum, Australia.
- Ivergård, T., 1989.
Handbook of Control Room Design and Ergonomics. London: Taylor & Francis.
- Woods D.D., O'Brien J.F., L.F. Hanes, 1987.
Human Factors Challenges in Process Control: The Case of Nuclear Power
Plants. In 'Handbook of Human Factors', G. Salvendy (ed.). New York: John
Wiley.

21 Gebruiksonderzoek: wat het is, en waarom dit onderzoek relevant is voor ontwerpers

Samenvatting

Gebruiksonderzoek is een verzamelnaam voor uiteenlopende vormen van onderzoek naar het gebruik van artefacten door mensen.

Het onderzochte *gebruik* omvat of kan omvatten wat mensen fysiek doen en laten met een artefact, wat ze in dit verband waarnemen en hoe ze interpreteren wat gezien wordt, wat wordt gehoord en fysiek gevoeld. Hierbij is gebruik een ruim begrip dat (ook) het uitpakken en instellen van een produkt kan betreffen, of het reinigen en opbergen, eventueel het demonteren en afdanken, vergelijk ide 130, p. 67. Het *artefact* kan een functionerend produkt zijn of een kant en klaar softwarepakket (hierna ook produkt te noemen), een prototype, een schuimmodel, maar ook één of meer tekeningen van een nieuw ontwerp of een simulatie op een beeldscherm, vergelijk de indeling van Marinissen op basis van het ontwerpproces (Marinissen, 1993), zie hoofdstuk 19 figuur 19.7.

Toegepast in een ontwerpproces is het doel van gebruiksonderzoek zicht te krijgen op mogelijk toekomstig gebruik van een nieuw ontwerp. Vaak gaat het er daarbij om waarschijnlijk of mogelijk optredende gebruiksproblemen op het spoor te komen. Daarnaast kan ook als probleemloos ervaren gebruik voor ontwerpers belangrijke aanwijzingen bevatten.

Observatie van het gebruik in de praktijk van een bestaand produkt dat helemaal of voor een deel moet worden herontworpen, levert gegevens op over hoe dit produkt wordt gebruikt, waar, en welke gebruiksmoeilijkheden zich hierbij voordoen, overigens zonder dat deze moeilijkheden door gebruikers zelf als problemen hoeven te worden ervaren. Dergelijke gegevens kunnen belangrijke aanwijzingen bevatten over (on)hebbelijkheden van gebruikers waarmee rekening is te houden in het nieuwe ontwerp. Evenzo kunnen uit de wijze waarop toekomstige gebruikers aan de hand van getekende menu's zeggen nieuwe software te begrijpen, waarschijnlijke gebruiksproblemen worden herleid in de praktijk als er niet in het ontwerp zou worden ingegrepen en het werkend ontwerp er uiteindelijk net zo uit zou zien. Dankzij door gebruiksonderzoek verkregen inzicht in hoe mensen zaken begrijpen is er natuurlijk aanleiding dit ontwerp juist wel te aan te passen.

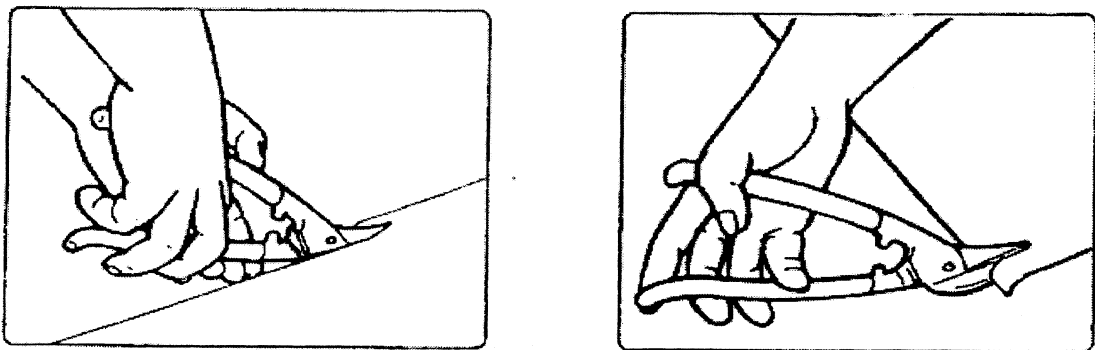
Hoe belangrijk is het nu eigenlijk in een ontwerp te anticiperen op toekomstig gebruik? Want hoe kleinschalig een onderzoek ook is, het kost altijd geld en tijd, beide schaarse zaken in een ontwerpproces.

21.1 Relevantie gebruiksonderzoek voor ontwerpers

Produkten worden ontworpen om te functioneren. Daarvoor worden eisen opgenomen in het Programma van Eisen (PvE). Nu is dit functioneren van produkten in het algemeen niet los te zien van de wijze waarop een produkt daadwerkelijk wordt gebruikt. Daarom valt de vraag of een (her)ontworpen produkt voldoet aan vooraf gestelde functionele criteria in een PvE, niet te scheiden van de wijze waarop het ontwerp uiteindelijk in de praktijk wordt gebruikt - hoe, waar, door wie. In feite is een ontwerp van een gebruiksprodukt niet denkbaar zonder dat daarin door de ontwerper één of meer gebruikswijzen zijn verwerkt, hoe impliciet of veronderstellenderwijs ook. Ander gebruik in de praktijk dan de ontwerper voor ogen stond (zie bijv. ide 130, p. 349 en p. 394) kan nog steeds min of meer passen bij het doel waarvoor de

ontwerper het produkt als middel ontwierp. Maar soms blijkt het doen en laten van gebruikers nogal bizar, denk aan de fles waarmee de bekende spijker op de kop wordt geslagen. Een en ander kan er toe leiden:

- dat een produkt ondermaats functioneert, d.w.z. niet een verwachte doelmatigheid levert of dat er zelfs van een ontworpen functionaliteit helemaal niets terecht komt;
- dat het gebruikers moeite en/of ergernis kost een produkt te laten functioneren (veel gebruikshandelingen nodig bijvoorbeeld om het produkt in te stellen, omslachtig bijvoorbeeld om het produkt schoon te maken, en veel mentale of fysieke inspanning vereist in het gebruik);
- dat de omgeving/het milieu onnodig belast wordt zoals met lawaai en (extra) vervuiling;
- dat er ongelukken gebeuren, en soms;
- dat het gebruik efficiënter of zelfs veiliger verloopt, wat bijna zeker betekent dat ontwerpers hier kansen hebben gemist, vergelijk figuur 21.1.



Figuur 21.1 Links hoe ontwerpers dachten dat de door hen ontworpen plaatschaar zou worden gehanteerd. Op die wijze van manipuleren is hun ontwerp gebaseerd. Rechts hoe gebruikers het in grote meerderheid doen blijkens gebruiksobservaties. Het echte gebruik (rechts) blijkt echter wel efficiënter (minder vermoeiend en beter zicht op het werk), Öster, 1994.

Verdere gevolgen zullen in de regel negatief zijn. Gekochte produkten raken in onbruik. Op de markt aangeboden produkten krijgen een slechte roep met daardoor tegenvallende verkoopresultaten. Zelfs kunnen producenten en ook de betrokken industrieel ontwerpers worden geconfronteerd met schadeclaims op basis van produktaansprakelijkheidswetgeving. Denk in dit verband aan kosten en moeite als recalls nodig zijn.

Dergelijke voorvallen zijn zowel voor de consument/gebruiker als de producent ongewenst, en ook voor de tussen deze partijen opererende ontwerpers. Hun probleem in dit verband is dat er nauwelijks inzichten bestaan in de mens-produkt interactie op basis waarvan voorspellingen kunnen worden gedaan over toekomstig gebruik van een bepaald ontwerp. Voor wat betreft alledaagse produkten is over deze interactie weinig te vinden in gangbare leerboeken. Als regel ligt in deze leerboeken het accent op taakelementen als hoge en/of langdurige fysieke belasting, tijdsdruk, efficiency, vaardigheden (bijvoorbeeld dankzij training), en het voorkomen van fouten met het oog op de eventuele grote consequenties bij een ongeluk, zie bijv. Sanders & McCormick (1993). Het gaat daarbij allereerst om de 'human performance', bijvoorbeeld in termen van volhouden, reactietijden, waarnemingsdrempels en waakzaamheid, gegeven een bepaalde 'product performance'. Deze accenten weerspiegelen de herkomst van 'de' ergonomie waarvan de wieg immers zowel in de

fabriek heeft gestaan als op het slagveld, zie ide 130, p. 19 e.v.

Bij het gebruik van consumentengoederen in alledaagse omgevingen ligt de nadruk in veel gevallen op andere zaken. De gevergdde fysieke inspanning is meestal laag, althans voor mensen zonder lichamelijke storingen. Daarbij is het gebruik van produkten veelal incidenteel/kortdurend (met duidelijke uitzonderingen natuurlijk, denk aan beeldschermen, fietszadels), terwijl liefst weinig voorkennis en handigheid nodig is. Vaak bestaat er aanzienlijke vrijheid waar en vooral hoe een produkt te gebruiken, wat bijvoorbeeld het optreden van ongelukken weinig 'grijpbaar' maakt. Zodoende is het voor de ontwerper vaak een wezenlijk probleem wat de 'product performance' van een gekozen ontwerp zal zijn onder niet gekende, althans niet vastliggende gebruikswijzen, die op z'n best zijn uit te lokken door materiële en functionele kenmerken in het ontwerp. Daarvoor hebben industrieel ontwerpers een middel nodig waarmee zij in een concreet geval, liefst zo vroeg mogelijk in het ontwerpproces, kunnen anticiperen op waarschijnlijk of mogelijk toekomstig gebruik. Gebruiksonderzoek in enigerlei vorm op enigerlei moment is dat middel.

21.2 Verdere opbouw van de hoofdstukken 22, 23 en 24

In hoofdstuk 22 wordt een beschrijving gegeven van het functioneren van produkten onder invloed van het gebruik in de praktijk. Het is belangrijk van een en ander een helder beeld te hebben, omdat het ideaal is in een ontwerpproces op het daadwerkelijke gebruik te anticiperen door het functioneren te simuleren aan de hand van (primitieve) ontwerpmodellen. En hoe zal je waarmaken dat je de praktijk simuleert, zolang deze een vermoeden is?

Hoofdstuk 23 bestaat vervolgens uit een overzicht van bevindingen in gebruiksonderzoek, geordend naar de in het vorige hoofdstuk ingevoerde begrippen. In hoofdstuk 24 tenslotte worden enkele onderzoekstheoretische en -technische zaken behandeld die je moet weten om vruchtbaar gebruiksonderzoek te kunnen doen.

Begrippen

Gebruik

Gebruiksonderzoek en Ontwerpen

Literatuur

Öster, J., Kadefors, R., Wikström, L., Dahlman, S., Kilbom, Å. and Sperling, L. 1994.

An ergonomic study on plate shears, applying physical, physiological and psychophysical methods, *Industrial Ergonomics*, 14, 349-364.

Ide 130, 1994.

Inleiding tot de Produkt- en Systeemergonomie (J.M. Dirken. et al.). Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft.

Marinissen, A.H. 1993.

Information on product use in the design process. In: *Proceedings of the 29th Annual Conference of the Ergonomics Society of Australia*, 78-85.

Sanders, M.S. and McCormick, E.J., 1993.

Human Factors in Engineering and Design. McGraw-Hill Book Company.

22 Producten: functioneren en gebruik

Samenvatting

Eerst volgt een beschrijving van het functioneren van producten als technisch/fysische artefacten. Daarvoor zijn immers eisen opgenomen in het PvE (zie vorige hoofdstuk). Vervolgens komt de rol van gebruikers aan de orde bij het tot stand komen van de functievervulling van producten. Hierbij wordt ook bediscussieerd hoe individuele kenmerken van gebruikers doorwerken in de mens-product interactie.

22.1 Functievervulling van producten

Zoals al opgemerkt in het vorige hoofdstuk, worden producten ontworpen om te functioneren. Toegespitst op fysiologische kenmerken van gebruikers (zintuiglijk, mentaal, fysiek) is dit functioneren te onderscheiden in:

- bescherming, instandhouding van menselijke kenmerken, zoals bij het dragen van een helm, handschoenen, een zonnebril of een paraplu;
- ondersteuning, versterking van menselijke activiteiten zoals een wandelstok, een stoel, een hamer, een verrekijker of een computer, waarmee een mens 'tot meer voor minder' in staat is;
- overname, vervanging van (een deel) van menselijke activiteiten, zoals een wasmachine, een auto, een computer, waarmee een bepaalde verrichting van mensen niet meer nodig is, d.w.z.. 'veel meer voor niets of weinig';
- uitbreiding van menselijke mogelijkheden, zoals vriezen in een koelkast, licht geven door een gloeilamp of met een geigerteller radioactiviteit meten, waarmee een mens met een product iets kan wat zonder dat product uitgesloten is.

In welk type functioneren een product voorziet, blijkt vaak in te delen bij meer dan één van de vier genoemde categorieën. Dit illustreert de betrekkelijkheid van dergelijke indelingen waar altijd wel een semantische mouw aan is te passen. Bedenk maar eens waar producten voor de *homo ludens* zijn onder te brengen. Zie verder in dit verband ide 130, p. 380 e.v.

Voor alle duidelijkheid: bij de vakgroep Produkt- en systeemergonomie gaat het primair om het functioneren van producten in technisch/fysische zin, en niet om financiële kosten gemoeid met het bezit en gebruik van producten, en evenmin om psychologische elementen als status ontleend aan een product of opgeroepen esthetische gevoelens.

In figuur 22.1 is een globale beschrijving gegeven van het functioneren van een product in termen van de uit de systeembenadering stammende benamingen input (toevoer) en output (uitvoer), zoals deze zijn ingeburgerd in het spraakgebruik van alledag.

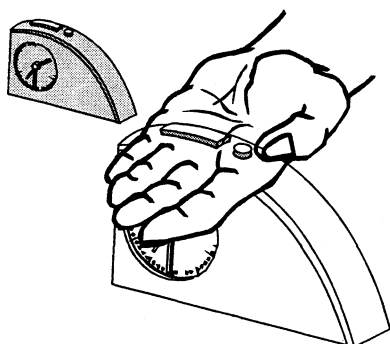
Wat de technisch/fysische output van een product omvat is sterk produktafhankelijk, zie de producten aan het begin van deze § genoemd als voorbeelden ter bescherming, ondersteuning etc.. Gaandeweg dit dictaat komen nieuwe voorbeelden aan de orde. Voor alle duidelijkheid: primaire output (doeltreffendheid) die tekort schiet, is nog steeds primaire output. Vaak bestaat gebrekkige doeltreffendheid ook, of vooral, uit ongewenste, bijkomende output (ook wel 'sideput' te noemen) of extra input: brood snijden met een bot mes kost meer moeite en/of duurt langer (beide extra input), geeft vaak meer kruimels ('sideput'), resulteert niet zelden in een mislukte boterham (matige output), terwijl je als het tegenzit je zelfs aan een bot mes kunt verwonden (alweer 'sideput').

Functionele aspecten in het gebruik van produkten	Voorbeelden van functionele aspecten	Ontwerpen in ergonomisch opzicht gericht op:
doeltreffendheid: de <i>primaire</i> output, onder gebruiksomstandigheden tot stand komend	+ fysieke bescherming gebruiker + ondersteuning/versterking van menselijke activiteiten + overname/vervanging van menselijke activiteiten + uitbreiding van menselijke mogelijkheden	maximalisatie
<i>bijkomende</i> output, ('sideput*') waarvan levering van doelmatigheid vergezeld gaat of kan gaan	- trillen - lawaai - discomfort - milieu-effecten - (kans op) ongelukken	meestal** minimalisatie
voor het functioneren vereiste input	- menselijke inspanning (tijd, moeite) - energie, materie uit de omgeving	minimalisatie***
* 'sideput': niet-doelmatige, doeltreffendheid verminderende neven-effecten		
** 'sideput' dient soms als waarschuwing en/of voor terugkoppeling		
*** soms beter te omschrijven als optimalisatie, denk aan te geringe belasting wat kan leiden tot doorschieten zoals bij een schuifknop		

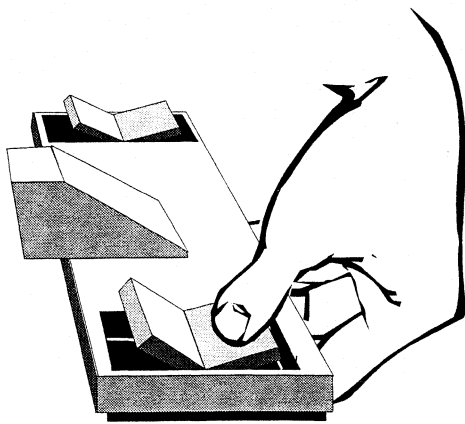
Figuur 22.1 Het technisch/fysisch functioneren van produkten in woorden

Echte voorbeelden, uit de praktijk van het gebruiksonderzoek, zijn te zien in figuur 22.2 en 22.3. Functievervulling kan dus heel goed sub-optimaal zijn, en ook negatief zoals bij een ongeluk, zie figuur 22.4.

Voor de beschrijving van het functioneren van produkten in samenhang met het doenen laten van gebruikers is de uit de systeembenadering stammende terminologie -input/output- in figuur 22.1 nog uit te breiden. In het Mens-Produkt Interactie-model (zie ide 130) is dit gebeurd met de term 'throughput' als verzamelnaam voor wat er zich enerzijds (vermoedelijk) afspeelt binnen produkten en anderzijds in gebruikers.

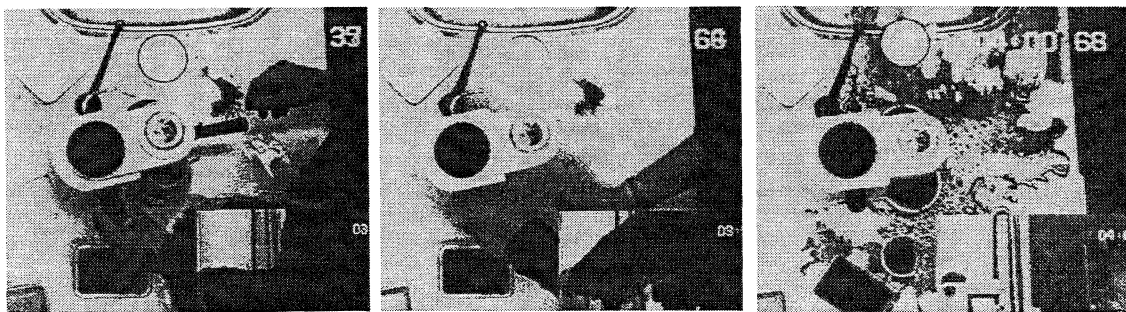


Figuur 22.2 In een kleinschalig gebruiksonderzoek (n=8, Voûte, Kanis en Marinissen, 1993) demonstreerden proefpersonen in een nagebouwde slaapkamer in ons laboratorium hoe ze bij het wakker worden een nieuw ontworpen wekkerradio uitzetten. Twee proefpersonen sloegen er met de vlakke hand op, de ene met de palm, de andere met de rug van de hand. Zodoende werd tegelijkertijd de aan/uit knop van de radio bediend. De gewenste output is bereikt: een tot zwijgen gebrachte wekker. Maar er is storende 'sideput': de radio doet net niet wat je wilt. En zodoende is extra inspanning (input) nodig voor de gewenste instelling van de radio.



Figuur 22.3 In een kleinschalig gebruiksonderzoek (Loopik, Kanis en Marinissen, 1994) gebruikten zes proefpersonen thuis achtereenvolgens drie nieuwe stofzuigers, telkens een week lang. Aan het einde van elke week werden video-opnamen gemaakt van het gebruik *in situ*, en werden gebruikservaringen doorgenomen. Daarbij bleek dat vijf van de zes proefpersonen de borstel in de verschillende mondstukken met de hand omzetten, zie de figuur voor een geobserveerde manier van doen. Twee van deze proefpersonen proberen het wel met de voet maar bij geen van de mondstukken lukt het hun. De andere drie proefpersonen zijn gewend het altijd met de hand te doen. Hoewel de verschillen niet dramatisch zijn, zal omzetten met de hand meer moeite kosten dan met de voet (extra input). Bovendien is het minder hygiënisch ('sideput').

Produkt-'throughput', zoals krachtdoorleiding en schakelingen, vormt voor een ontwerper een integraal onderdeel van een ontwerpopdracht, al worden in een ontwerp vaak ook componenten toegepast als een black-box (alweer een 'systeemwoord'). Voor de gebruiker is produkt-'throughput' alleen relevant voorzover door enigerlei zintuig waarneembaar. Hoe zullen mensen immers een boodschap hebben aan iets waarvan ze geen weet hebben. Dit wil natuurlijk niet zeggen dat inzicht in de werking van een produkt niet een belangrijk houvast kan zijn bij het gebruik, denk aan software. Waar het om gaat is dat in zo'n geval deze werking of een of andere geschikte voorstelling daarvan expliciet wordt gemaakt, liefst als 'kennis in de wereld', zie Norman, 1988. Zo'n explicitering is geboden waar blijkt dat gebruikers zich een bepaalde produkt-'throughput' gaan inbeelden die hen in het gebruik de verkeerde kant op stuurt.



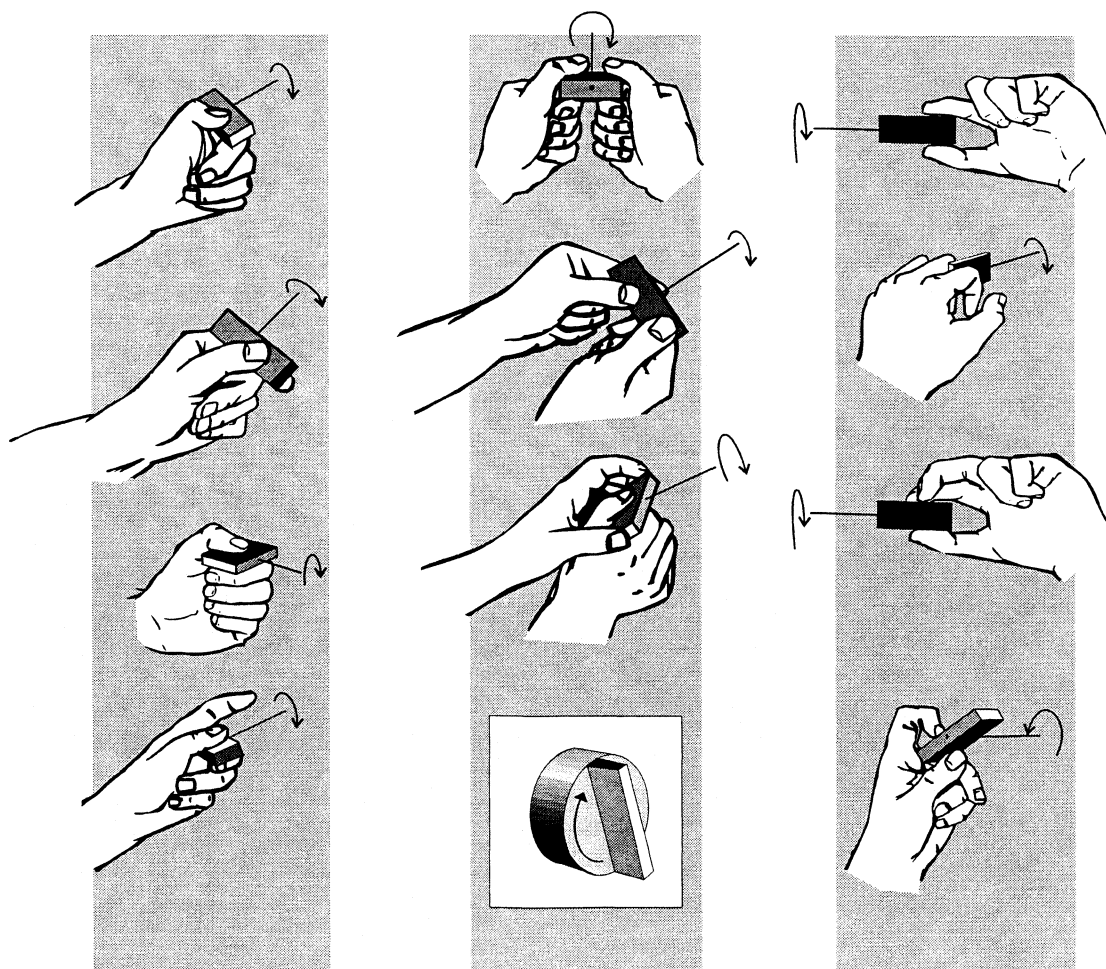
Figuur 22.4 In een kleinschalig gebruiksonderzoek met een espresso-apparaat (n = 10, keuzevak IO89, 1994) vond er een kleine ontploffing plaats, waarbij de schade beperkt bleef tot een gebroken kopje en rondgespatte koffieprut. Wat er gebeurde was dat een proefpersoon eerst melk schuimde in de ene uiterste stand van de ronde instelknop, vervolgens espresso zette in de andere uiterste stand, en daarna de knop terugzette in de neutrale middenstand (tijd 3:49:35) en direct daarop de houder los draaide (tijd 3:50:66). Niets uitzonderlijks of ongewoons dus. Er is bij het betreffende apparaat geen (volgorde van) instelling(en) gevonden waarbij het uitgesloten is dat er plotseling stoom ontsnapt, iets wat zich, voorzover op dit moment bekend, bij meer van dit soort apparaten schijnt voor te doen.

Menselijke 'throughput' in het Mens-Produkt Interactie-model is de verzamelnaam voor fysiologische processen in gebruikers die waarnemen en denken. Onder de symmetrie in woorden bij de beschrijving in het Mens-Produkt Interactie-model van een produktkant en een gebruikerskant ligt zodoende allerlei te maken onderscheid, zoals dat tussen tandwielen en zenuwcellen. In het vervolg van dit hoofdstuk wordt menselijke 'throughput' onder andere beschreven naar perceptuele en cognitieve activiteiten.

22.2 Gebruiksfunctionaliteit

Mensen gebruiken producten met de bedoeling deze te laten functioneren in de zin zoals aangegeven bij de plusjes (+ +) in figuur 22.1: ter bescherming, ondersteuning/versterking etc. Een zekere manier om er achter te komen welke mogelijkheden een produkt of produktonderdeel biedt om te worden gebruikt is het daadwerkelijk gebruik in de praktijk te bekijken.

Neem je aldus een bepaalde gebruikwijze waar, dan valt daaruit te konkluderen dat dat produkt(onderdeel) kennelijk de potentie heeft om zo gebruikt te worden. Deze gedachtengang levert een hulpbegrip, 'gebruiksfunctionaliteit' - dit is de mogelijkheid



Figuur 22.5 In veldonderzoek waargenomen bedieningswijzen van een draaiknop met rug (alleen de rug is afgebeeld). Het aantal geobserveerde gebruikswijzen is bij deze knopsoort laag. De linksboven afgebeelde bedieningswijze komt, in kleine variaties, het vaakst voor (Schoorlemmer en Kanis, 1992; Kanis 1993).

die een produkt(onderdeel) biedt voor (een) bepaalde gebruikswijze(n). Anders gezegd: gebruiksfunctionaliteit, af te leiden uit waargenomen gebruik, ligt - terugvertalend - blijkbaar op een of andere manier besloten in dat produkt(onderdeel), zie figuur 22.5 voor een voorbeeld. Zo bezien activeert daadwerkelijk gebruik dus een bepaalde gebruiksfunctionaliteit. De vraag of een produkt(onderdeel) de potentie om op een bepaalde wijze te worden gebruikt altijd al had, of dat daarover geen verifieerbare uitspraken zijn te doen zolang een gebruikswijze niet is waargenomen, heeft te maken met kwesties van filosofische aard en wordt hier verder niet behandeld.

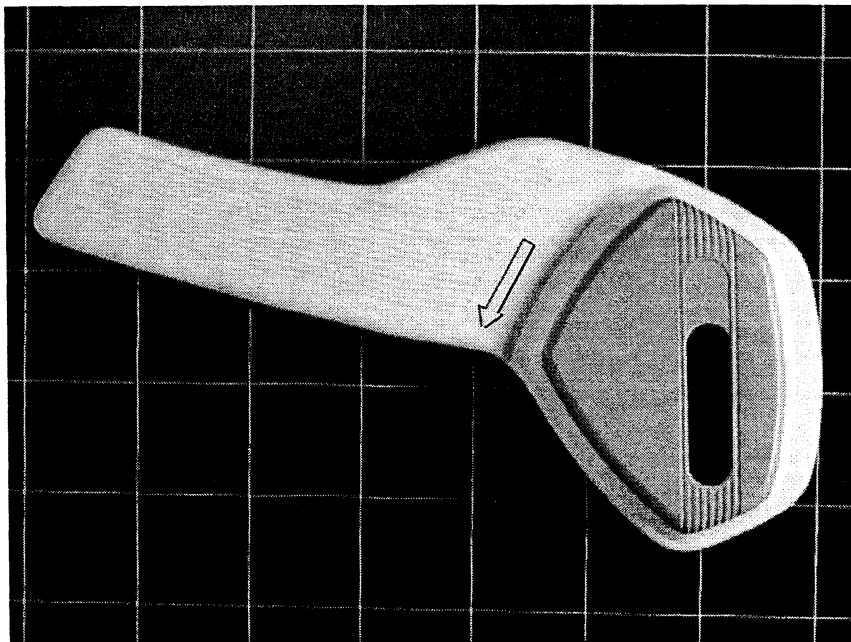
22.2.1 Gebruiksfunctionaliteit in ontwerpen

Gebruiksfunctionaliteit is, als het goed is, een basaal uitgangspunt voor de ontwerper. Idealiter zouden aan een ontwerp direct zaken duidelijk moeten zijn als waarvoor een produkt dient, hoe het daartoe is te gebruiken, in welke toestand het verkeert na een bepaald gebruik en in welke omgevingen je het produkt beter niet kunt laten functioneren.

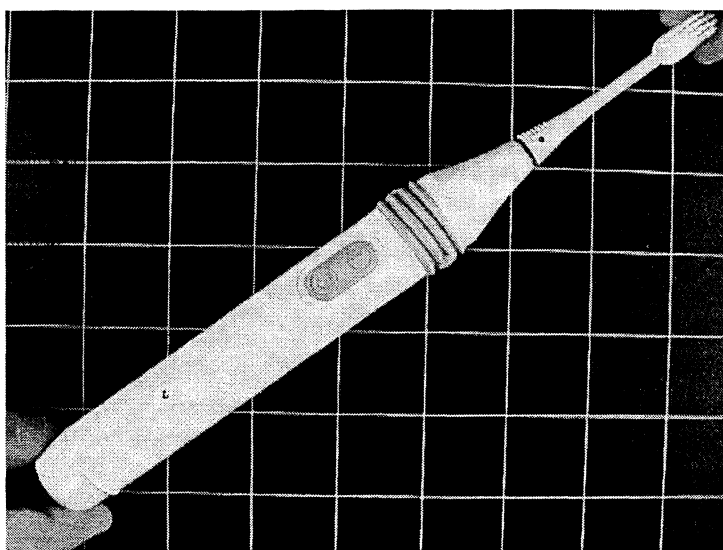
Voorbeelden van in een ontwerp gegeven aanwijzingen voor een bepaald soort gebruik, dan wel mogelijke anticipatie van ontwerpers op een verwacht gebruik zijn de pijl in figuur 22.6, de puntjes en de schakelaar in figuur 22.7, de '...' en het ☞ - teken in figuur 22.8 en de plaats van de display in figuur 22.9. Een geschreven, bij een produkt geleverde gebruiksaanwijzing telt natuurlijk juist niet in termen van een ontworpen gebruiksfunctionaliteit.

De gegeven voorbeelden illustreren enkele van de middelen die ontwerpers tot hun beschikking hebben om gebruiksfunctionaliteit in uit te drukken zoals vorm, afmetingen, kleur, grafiek, symbolen en tekst.

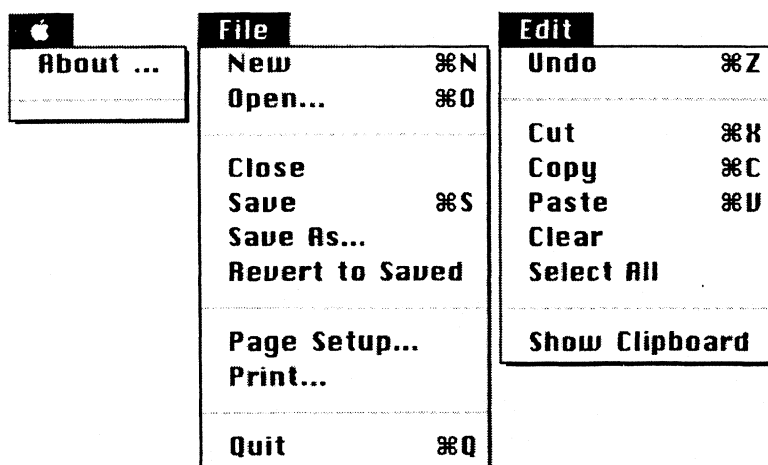
In feite is de praktijk altijd de ultieme test of een ontworpen gebruiksfunctionaliteit ook wordt gerealiseerd. Behalve in het geval je zelf de ontwerper bent weet je vaak niet welke gebruiksfunctionaliteiten in een ontwerp zijn beoogd, om de eenvoudige reden



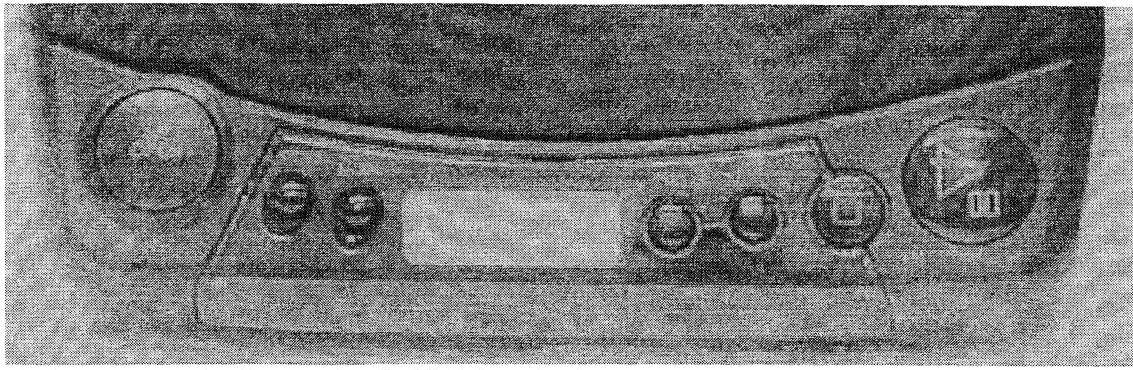
Figuur 22.6 Hulpmiddel voor het openen van doppen en deksels. De pijl geeft de richting aan waarin kracht moet worden uitgeoefend als het hulpmiddel op de juiste wijze is aangebracht. Blijkens de vertoonde gebruikshandelingen in een kleinschalig gebruiksonderzoek (n=8, keuzevak IO89, 1993) werkte dit goed.



Figuur 22.7 Elektrische tandenborstel, met een knikmechanisme om de borstel te laten terugknikken als een bepaalde druk op de tanden wordt overschreden, dit om beschadiging van het glazuur te voorkomen. Op de afbeelding wordt de borstel erop geschoven zoals bedoeld door de ontwerper: alle 'blauwe' kenmerken aan dezelfde kant, te weten het puntje op het handvat (linksonder), de schakelaar en het puntje op het borstelstuk (rechtsboven). Daarna moet de borstel naar je toe worden geknikt om tijdens het gebruik terug te kunnen knikken bij te hard borstelen. Het eigenaardige van dit ontwerp is dat de borstel een halve slag gedraaid ook past, maar dat je dan juist niet moet bijknikken om het systeem te laten werken. In een kleinschalig gebruiksonderzoek (n = 12, keuzevak IO89, 1993), waarin de gebruiksaanwijzing niet mocht worden geraadpleegd, bleek dat de borstel er in de regel op werd geschoven zoals bedoeld in het ontwerp, maar dat geen der proefpersonen op het idee kwam de borstel naar zich toe te knikken. Je moet dat kennelijk gewoon weten, bijvoorbeeld uit de gebruiksaanwijzing.



Figuur 22.8 De '...' in de Macintosh-menu's betekent dat er na selectie van het betreffende item uit het menu een zogeheten dialogue-box verschijnt waarin gegevens ingevuld of ingesteld kunnen worden. Alleen nadat dit is gebeurd wordt het commando uit het menu uitgevoerd. Het ⌘-teken wil zeggen dat het betreffend menu-item in plaats van met de muis en de cursor ook geselecteerd kan worden door twee toetsen tegelijk in te drukken, bijvoorbeeld in het geval van 'New' de ⌘-toets en de toets van de letter N. Deze laatste procedure is moeilijker te leren dan het 'klikken met de muis', maar is wel sneller uit te voeren als je de toetscombinatie eenmaal kent. Het ⌘-teken is dus bedoeld als aanwijzing dat er een efficiëntere werkwijze bestaat voor dat commando. Ervaren gebruikers hebben hier baat bij.



Figuur 22.9 Draagbare cd-speler, waarbij de display zichtbaar blijft als de knoppen aan de linkerkant worden bediend met de linkerhand, en de knoppen rechts met de rechterhand. Leuk bedacht maar in een kleinschalig gebruiksonderzoek (n=9, keuzevak IO89, 1992) bleek dat de meeste proefpersonen dit niet doen maar of linkshandig of rechtshandig te werk gaan. Deze proefpersonen maken niet meer en ook geen andere fouten dan proefpersonen die wel twee handen gebruiken. Het is overigens de vraag of de display in het midden is ontworpen om een bepaald gedrag uit te lokken. Er valt even goed vol te houden dat het ontwerp anticipeert op vermoed gedrag. Wat de overwegingen van de ontwerper(s) is niet bekend - misschien esthetische?

dat betrokken ontwerpers doorgaans niet in de buurt zijn om het hun even te vragen, als al bekend is wie de ontwerpers zijn geweest. Een uitzondering is het koffiemelkkuipje, zie figuur 22.10. Dit voorbeeld laat zien dat de betrokken ontwerpers tot op zekere hoogte een werkelijkheid hebben bedacht. De daarin voorkomende, deels fictieve problemen zouden met het nieuwe ontwerp de wereld uit zijn. Dit voorbeeld illustreert dat hetgeen ontwerpers aan gebruiksfunctionaliteit bedenken niet gerealiseerd hoeft te worden.

22.2.2 Gebruiksfunctionaliteit in de praktijk

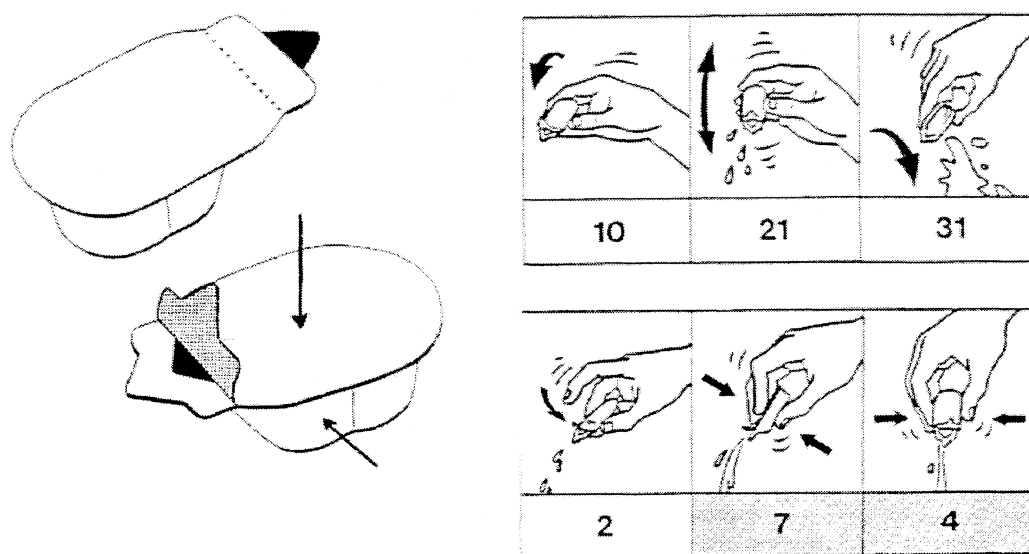
Zoals gezegd is wat gebruikers in de praktijk doen uiteindelijk doorslaggevend. Hun doen en laten vormt de realiteit voor het al dan niet bestaan van gebruiksfunctionaliteiten. De uit geobserveerde gedragingen herleide gebruiksfunctionaliteiten hebben aldus een post-hoc karakter, vergelijk wat hierover aan het begin van § 22.2 is gezegd. In hoeverre een gebruiksfunctionaliteit ook is beoogd in het ontwerp kan erg voor de hand liggen. Maar daarover absolute zekerheid verkrijgen, van de kant van betrokken ontwerpers, is dus doorgaans een illusie. Wel zijn in een gebruiksaanwijzing soms indicaties te vinden, zoals plaatjes, die eventueel verraden wat ontwerpers voor ogen heeft gestaan.

Dat een ontwerper weinig greep heeft op gebruikers bleek al uit de bijschriften bij de figuren 22.7, 22.9 en 22.10. Andere voorbeelden daarvan uit gebruiksonderzoeken zijn gegeven in de figuur 22.11 en 22.12 (taalkundige problemen). Allerlei (klein) gebruikersleed is ook te vermoeden bij figuur 22.13 (het dubieuze 'READ ONLY' 'WRITE DATA'), figuur 22.14 (het onbenul van Microsoft) en figuur 22.15 (annuleren onder Windows).

Kortom, voorzover ontwerpers met deze middelen een gebruiksfunctionaliteit tot uitdrukking brengen hoeven gebruikers zich daar nog niet naar te gedragen, want misschien merken ze een beoogde functionaliteit niet op of interpreteren ze deze anders dan door de ontwerper bedoeld. Wat ook kan is dat gebruikers een functionaliteit aan een produkt(onderdeel) ontlenen waar een ontwerper helemaal niet op had gerekend, zie het voorbeeld van de staalschaar in figuur 21.1 uit het inleidende hoofdstuk.

22.2.3 Gebruiksfunctionaliteit in de theorie

Op het begrip gebruiksfunctionaliteit komen we later terug. Voor de volledigheid wordt hier alleen nog opgemerkt dat dit begrip echt geen vondst is zonder weerga. Gebruiksfunctionaliteit vertoont duidelijke overeenkomsten met het in de ecologische psychologie gangbare begrip *affordance*, dat teruggrijpt op de Gestalt-theorie uit de periode van de psychologie zo'n 70 jaar geleden waarin toentertijd het begrip *valentie* opgeld deed. Zie hiervoor verder hoofdstuk 25. Omdat een en ander te maken heeft met de al eerder bedoelde filosofische kwesties en het hier niet de plaats is voor allerlei theoretische beschouwingen over mogelijke verschillen wordt de term gebruiksfunctionaliteit aangehouden.



Figuur 22.10 Koffiemelkkuipje met als nieuw ontworpen functionaliteiten afgestemd doseren en hersluitbaarheid wanneer de aluminiumfolie niet verder wordt losgetrokken dan de stippellijn, zie de figuur links. Ter hoogte van de lijmnad zit de folie extra vast op het kuipje. Blijkens de plaatjes rechts was het de bedoeling van de daarover geraadpleegde ontwerpers dat er om te doseren in het kuipje geknepen werd. Met wat fantasie zou je de zachtheid van het materiaal van het kuipje als uitnodigend kunnen opvatten erin te knijpen. Op basis van literatuuronderzoek en gegeneraliseerde eigen ervaringen gingen de ontwerpers er van uit dat er veel wordt gemorst met koffiemelkkuipjes, en dat gebruikers vaak teveel melk in hun koffie doen omdat er niet afgestemd valt te doseren. Gebruiksobservaties komen in het ontwerpverhaal van het nieuwe kuipje niet voor. Uitproberen van modellen is alleen door de ontwerpers zelf gebeurd. Blijkens een uitvoerig gebruiksonderzoek (n = 34, Kanis en Wendel, 1990; Kanis 1995) komt er van de bedoelingen van de ontwerpers weinig terecht. Verreweg de meeste proefpersonen trekken het folie ondanks de stevige lijmlaag helemaal open en kieperen het kuipje in één keer leeg, zoals ze gewend zijn.

21

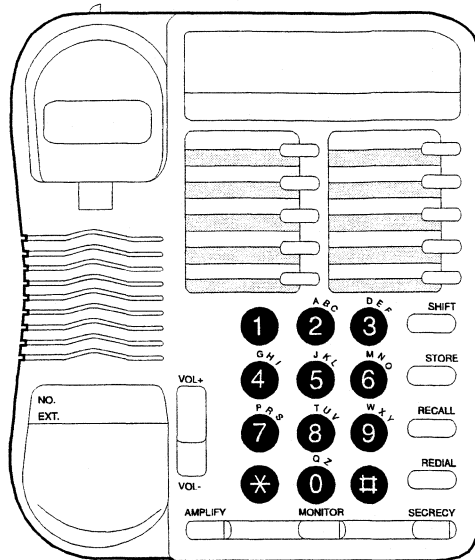
betekent door 21 proefpersonen minstens één keer vertoond, en door geen der drie betrokken ontwerpers.

4

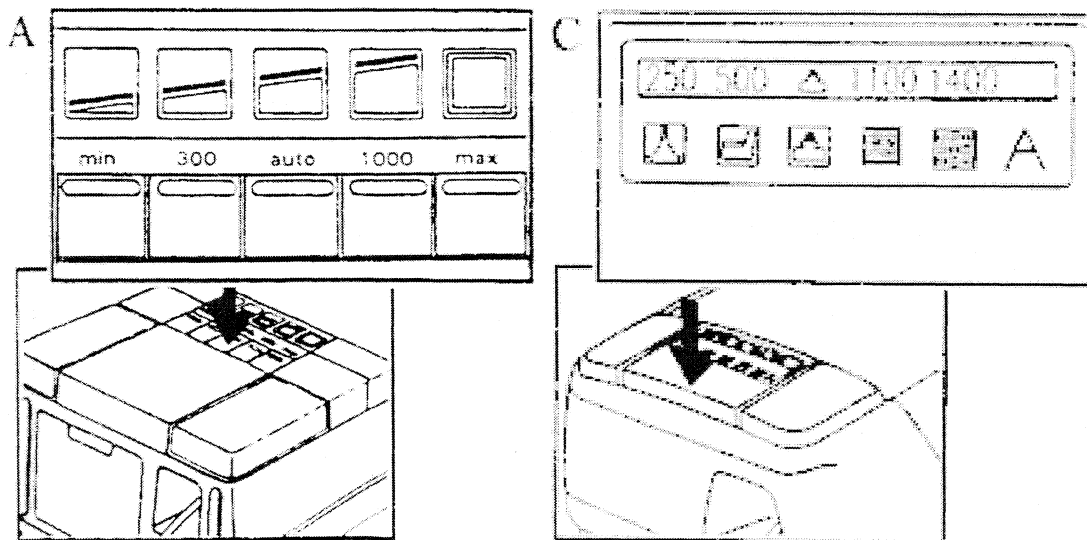
betekent door vier proefpersonen minstens één keer vertoond, en door minstens één ontwerper.

Elke proefpersoon heeft vier exemplaren van het nieuwe kuipje gebruikt. Dat de aantallen doseerwijzen optellen tot 75 betekent dat gemiddeld ruim twee doseerwijzen per proefpersoon zijn waargenomen.

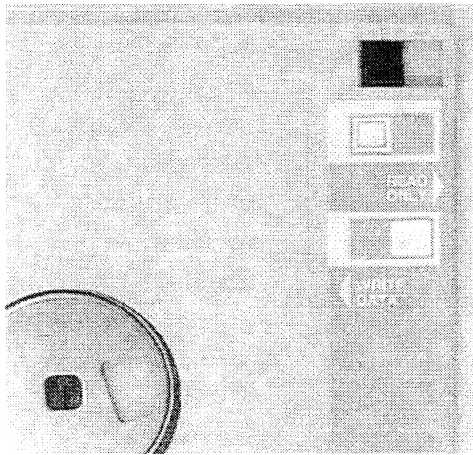
Laat wel duidelijk zijn dat een gebruiksfunctie niet los is te zien van culturele invloeden, hoe wijdverbreid 'voor de hand liggende manieren van doen' ook lijken ingeburgerd. Een illustratie hiervan geven Chinezen, die, hier op bezoek en onbekend met onze wc's, hurken op de rand van de pot.



Figuur 22.11 In een nog niet gepubliceerd onderzoek van Gelderblom naar het gebruik van nieuwe telefoons geven sommige proefpersonen te kennen dat zij de knop 'TUV' indrukken om geen andere reden dan dat zij meedoen aan een onderzoek aan de TU-Delft. Andere proefpersonen durven niet op 'store' te drukken omdat ze bang zijn daarmee een storing te veroorzaken.



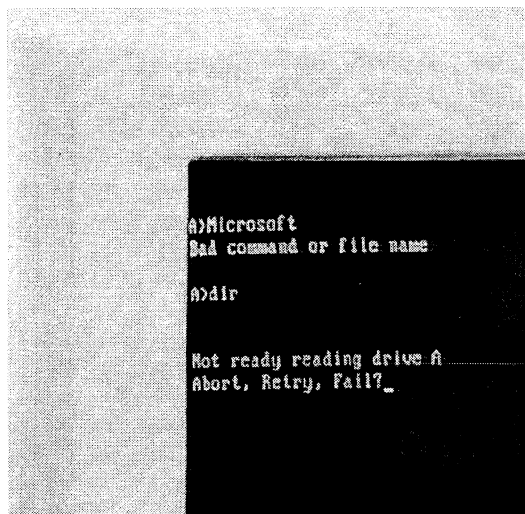
Figuur 22.12 De term 'auto' op de elektronische zuigkrachtregeling van een stofzuiger betekent dat de zuigkracht automatisch wordt aangepast aan het type vloerbedekking. Maar in het gebruiksonderzoek (zie onderschrift bij figuur 22.3) interpreteert een der proefpersonen de term 'auto' op plaatje 'A' als de stand waarin een auto moet worden uitgezogen. Op de conferentie waar dit gebruiksonderzoek werd gepresenteerd meldde een aanwezige een soortgelijke bevinding, namelijk dat een gebruiker bij de stand '250' (zie plaatje C) de gordijnen sloot omdat zij dacht dat dat moest.



Figuur 22.13 'READ ONLY'/'WRITE DATA' pictogrammen op etiket dat vastgeplakt zit op het huis van een schijfje. Hoe zijn de pictogrammen gerelateerd aan de stand van het schuifje?

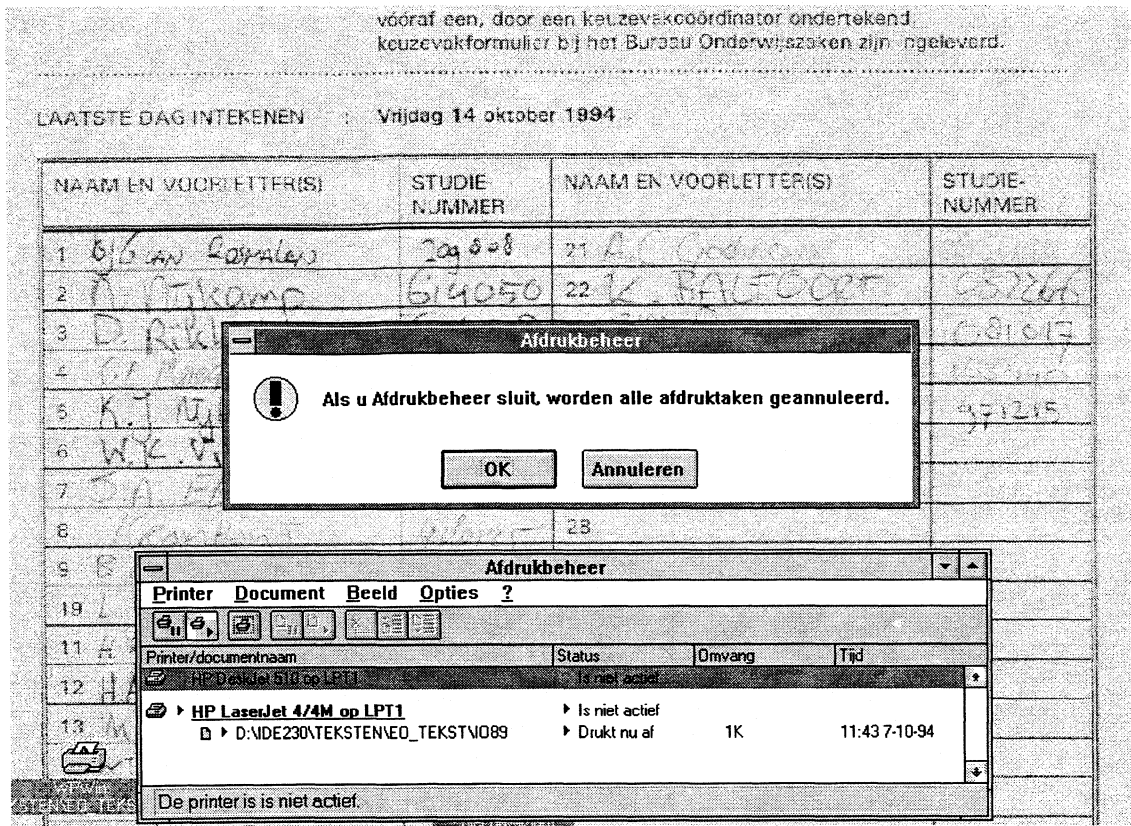
22.3 Gebruiksactiviteiten

Zoals gesteld aan het begin van de vorige paragraaf wordt gebruiksfunctie geactiveerd door het daadwerkelijk gebruik, oftewel door gebruiksacties. Dit zijn de acties direct gericht op het (doen) functioneren van een produkt, dus ook op zaken als instellen, schoonmaken en opbergen, maar niet op allerlei bijkomende bezigheden waar het produkt niet bij betrokken is.



Figuur 22.14 Het succes van de bedenkers van MS-DOS niet verklaard uit ontwerp-vernuft. Vallen deze waarschijnlijk meest frequent gehate meldingen ter wereld nog wel een gebruiksaanwijzing te noemen? Uit de mededelingen is af te leiden dat de voorafgaande opdracht niet werd gepruimd. Herhaling van die opdrachten levert dezelfde melding op, altijd maar weer. Omdat elke verklarende aanwijzing in dit soort mededelingen van zogeheten intelligente produkten ontbreekt, zijn al die cursussen gekomen.

Gebruiksacties betreffen in de eerste plaats gebruikshandelingen. Maar gebruikshandelingen zijn natuurlijk niet de enige activiteit van gebruikers: in de regel is waarneming en (enige) cognitieve activiteit daaraan vooraf gegaan. Beide laatste categorieën kunnen verreweg het belangwekkendst zijn, denk aan het waarnemen en interpreteren van informatie op een beeldscherm versus de fysieke handeling van het indrukken van een toets. Bezien we een en ander meer in detail.



Figuur 22.15 Wat of wie wordt er geannuleerd als je op 'OK' klikt? En op 'Annuleren'?

22.3.1 Gebruikshandelingen

In dit en het volgende hoofdstuk worden diverse bij IO uitgevoerde gebruiksonderzoeken aangehaald. In deze onderzoeken heeft de beschrijving van gebruikshandelingen antwoord gegeven op de volgende vragen:

Wat wordt gedaan, in termen van het activeren of aanspreken van gebruiksfunctionaliteit(en) van een produkt of produktonderdeel, bijvoorbeeld (op)pakken, vasthouden, openen (van een verpakking), bediening in het bijzonder van knoppen. In veel gevallen is sprake van externe krachtuitoefening, als namelijk massa van een produkt wordt verplaatst dan wel massa-verplaatsing wordt tegengegaan (bij een tiptoets is de krachtuitoefening (bijna) nul).

Onderscheid in krachtuitoefening betreft:

- translaties en het tegengaan daarvan zoals duwen/drukken, trekken, heen en weer bewegen, vast-/tegenhouden;
- rotaties en het tegengaan daarvan waarbij wordt geknepen, gedraaid en/of vast-/tegengehouden.
- combinaties van translaties en rotaties.

Vereiste bedienkrachten zijn gemeten in N of Nm. In enkele gevallen is het aantal herhalingen of de duur van één of meer gebruikshandelingen vastgelegd.

Hoe gebruikers te werk gaan is geïnventariseerd in termen van:

- waar een produkt of welk onderdeel van een produkt wordt aangeraakt/vastgehouden;
- welke contactvlakken van de hand worden gebruikt;

- wijze van manipulatie zoals welke greep;
- lichaamshouding, positie bovenste extremiteiten zoals pols, ellebogen t.o.v. materiële omgeving inclusief het produkt;
- positie (hoogte, afstand) en oriëntatie van produkt (-onderdeel) t.o.v. gebruiker (bijvoorbeeld diens blikveld), inclusief werklijnen.

Voor het grootste deel zijn gebruikshandelingen beschreven in klassen/types, op nominaal nivo, zoals bij het doseren met het koffiemelkkuipje in figuur 22.10: schudden, kieperen, tippen met de vinger, en knijpen onder-boven/van opzij. Kwantificering is hier denkbaar voor posities/afstanden en richtingen/hoeken, inclusief veranderingen daarvan in de tijd (snelheden, versnellingen).

Let op het relatieve karakter van de categorieën 'wat' en 'hoe'. Het antwoord op de vraag 'wat' een gebruiker doet zou kunnen zijn 'aanzetten', dat vervolgens verbijzonderd kan worden in 'transleren' of 'roteren': een voorbeeld van 'hoe', gegeven 'wat'. De wijze van bewegen/krachtuitoefening kan weer verder worden gespecificeerd, bijvoorbeeld naar toegepaste greep, stand polsgewricht etc. Zo voegt elke detaillering 'hoe' toe.

In het voorgaande is stilzwijgend uitgegaan van handelingen waarmee met een produkt(onderdeel) contact wordt gemaakt. Dit laatste is niet noodzakelijk: wie met de hand het zonlicht afschermt om een giromaas te kunnen lezen pleegt zonder contact te maken wel degelijk een gebruikshandeling, namelijk gericht op het functioneren van het produkt. Je kunt nog verder gaan. Bij knoppen die met de ogen moeten worden bediend zijn oogbewegingen te zien als de gebruiks-'handelingen', zoals dat mentale activiteiten zouden zijn als daarmee rechtstreeks 'de' psychokinetische knop kon worden bediend.

22.3.2 Waarneming en cognitie als gebruiksactiviteiten

Behalve in de net genoemde (denkbeeldige) gevallen wordt een gebruiksfunctionaliteit nooit rechtstreeks geactiveerd door sensorische en mentale activiteiten van gebruikers. Ook al zou ik onderdelen van WP, waaronder ik dit intik, bij nader inzien totaal verkeerd begrijpen, kan het toch dat ik steeds goed wegkom dankzij een of andere truc (die werkt om voor mij onduidelijke reden natuurlijk). Iedereen weet dat het omgekeerde evenzeer geldt: een perfect inzicht staat niet garant voor een vlekkeloos gebruik.

Waar het om gaat is dat gebruikshandelingen, die het 'm doen, altijd direct in het verlengde zullen liggen van perceptie en cognitie. Er is geen reden beide laatste activiteiten niet als onderdeel van het gebruik te zien. Zodoende betreffen percepties en cognities al dan niet gevolgd door gebruikshandelingen allemaal gebruiksactiviteiten waarvan alleen de gebruikshandelingen direct ingrijpen in het technisch/fysisch functioneren van produkten. Overigens zijn er ook produkten waarbij helemaal geen gebruikshandelingen te pas komen, denk aan bewegwijzering. Naast waarneming en redeneren kun je hier eventuele hoofdbewegingen tot gebruiksactiviteiten rekenen. Overigens kan waarneming ook een beperkte rol spelen. In het geval van de wekkerradio (figuur 22.2) blijkt door sommige proefpersonen op het horen van het alarmsignaal de wekker blindelings te worden uitgeslagen. Het mag duidelijk zijn dat gebruikshandelingen zoals hiervoor beschreven veel makkelijker waarneembaar zijn dan wat mensen waarnemen en hoe ze redeneren. Als je door oogbewegingen te registreren vastlegt waar mensen naar kijken, wil dat nog niet zeggen dat ze het ook 'zien'. Je kunt er mensen naar vragen. Voor wat er zich in het hoofd allemaal afspeelt aan overwegingen is vragen stellen voorlopig de enige

manier. Daarop berust de hardop-denken aanpak, dit wil zeggen dat proefpersonen onder woorden brengen wat hun overwegingen zijn bij de manier waarop ze te werk gaan (engelse term: 'think aloud'), zie hoofdstuk 24 voor meer over deze manier van onderzoek.

22.4 Functievervulling van producten in gebruik

De functievervulling van een produkt wordt behalve door *gebruiksactiviteiten* bepaald door nog twee te onderscheiden factoren (Dürr 1971; Edwards, 1981; vergelijk ook het Mens-Produkt Interactie-model in ide 130): *produktkenmerken* en *omgevingskenmerken*.

22.4.1 Produktkenmerken

Dit betreft de kenmerken van een produkt of een produktonderdeel, dat wil zeggen materiële en structurele specificaties, los van het functioneren van een produkt in termen van beschermen, ondersteunen etc. (zie figuur 22.1). In een definitief ontwerp zijn de produktkenmerken tot in detail vastgelegd, zowel wat aan de buitenkant waarneembaar is aan een produkt als de interne structuur en de organisatie van werkende onderdelen voorzover die er zijn.

Het is al eerder gezegd: voor de gebruiker doen alleen produktkenmerken er toe die van buitenaf waarneembaar zijn; incidenteel kan dit iets inwendigs betreffen, namelijk als daar iets hapert, of loszit en rammelt. Voor de ontwerper ligt dit anders: die moet zich in principe ook buigen over elk inwendig produktkenmerk, naar het uitkomt als black box voor een onderdeel.

Uit van buiten af waargenomen produktkenmerken 'destilleren' mensen blijkbaar gebruiksfunctionaliteiten, de ene gebruiker deze, een andere gebruiker die gebruiksfunctionaliteit (dat niet alleen produktkenmerken gebruiksfunctionaliteiten opleveren komt verderop ter sprake). Er is weinig bekend over hoe dit 'destilleren' in z'n werk gaat, over welke waargenomen produktkenmerken een rol spelen bij welke kennis en gebruikservaringen van mensen. Zoveel is zeker dat we, als het over het gebruik gaat, de grote verzameling produktkenmerken kunnen inperken tot wat uiterlijk waarneembaar is. Het gaat dan om zaken als afmetingen, vorm, kleur, grafiek (tekst, symbolen), samengesteldheid/ordening, doorzichtigheid, vervormbaarheid, gewicht(sverdeling), textuur, stabiliteit (cf. Gibson, 1977, p. 75).

22.4.2 Omgevingskenmerken

Deze kenmerken beschrijven de fysische/fysieke omgeving, voor zover deze rechtstreeks van invloed is of kan zijn op de totstandkoming van de technisch/fysische functievervulling. Voorbeelden van omgevingskenmerken zijn temperatuur (bij een thermostaat), lichtsterkte (bij een lichtgevoelige sensor), en kenmerken van bewerkt/te bewerken materiaal zoals van een vloerbedekking bij gebruik van een stofzuiger, van hout dat wordt gezaagd, en van kaas die wordt geschaafd. Wat tot omgevingskenmerk wordt gerekend hangt af van wat in de beschrijving als produkt wordt gezien. Blijft het produkt beperkt tot een onderdeel, bijvoorbeeld een knop, dan hoort de rest van het produkt tot de omgeving. Aldus worden als omgeving die kenmerken van de fysische omgeving genomen die direct van invloed (kunnen) zijn op het functioneren van een produkt.

Let er op dat de verzameling van omgevingskenmerken niet alle externe invloeden op het functioneren van een produkt omvat. Zaken als een werkhoogte, de aanwezigheid van omstanders en andere, simultaan gebruikte producten kunnen ook van invloed zijn, zij het niet rechtstreeks. Dit komt in de volgende paragraaf ter sprake.

Tenslotte hoeft vooral bij consumentengoederen de omgeving niet vast te liggen. Dat wil zeggen dat gebruikers al doende (kunnen) bepalen waar ze een produkt gebruiken.

22.4.3 **Produktkenmerken-gebruiksactiviteiten-omgevingskenmerken**

De (verzamelingen van) produktkenmerken, gebruiksactiviteiten en omgevingskenmerken worden opgevat als op een of andere manier direct waarneembaar, bijvoorbeeld door fysische metingen, door video-registratie of anderszins. Liggen deze grootheden vast, voor een bepaalde plaats en tijd, dan geldt dat ook voor de functievervulling. Anders gezegd: gegeven bepaalde produktkenmerken zijn gebruiksactiviteiten en omgevingskenmerken conditionerend voor de door een produkt geleverde functievervulling. In tot dusver ter sprake gebrachte gebruiksonderzoeken is deze functievervulling o.a. geïnventariseerd in termen van gelukt/mislukt (openen verpakkingen, aanroepen programma's), kliederen en kleine (bijna-)ongelukken. Hoe individuele gebruikers een uiteindelijk gerealiseerde technisch/fysisch functievervulling op zich waarderen is een ander verhaal dat voor het doen van gebruiksonderzoek in eerste instantie niet essentieel is, althans voorzover dit geen rol speelt in het doen en laten van gebruikers.

22.4.4 **Met gebruiksactiviteiten gemoeide inspanning**

Het gebruik van een produkt is vaak geen eenvoudige, instantane gebeurtenis. Meestal grijpt dit gebruik plaats over een zekere tijd. Op elk moment kan, althans in theorie, een gebruiker diens acties bijstellen afhankelijk van de tot dat moment verkregen functievervulling (output, sideput - zie figuur 22.1), en de daarvoor geleverde inspanning. Onder inspanning/moeite wordt de met gebruikshandelingen gemoeide krachtsinspanning verstaan, in gebruiksactiviteiten gestoken tijd, verrichte aantal pogingen etc.. Gebruikers hebben immers bedoelingen, zijn ergens op uit en stemmen hun doen en laten daarop af. Inspanning van gebruikers kan ook of vooral aan de orde zijn voordat een produkt in eigenlijke zin functioneert, of na afloop, denk aan de moeite om een software programma aan de praat te krijgen, en om een keukenmachine in elkaar te zetten of deze schoon te maken en op te bergen.

22.5 **Samenhangen, produkt - gebruiker - omgeving**

22.5.1 **Gebruiksactiviteiten en gebruikerskenmerken**

Hoe een produkt functioneert en welke inspanning daarvoor geleverd wordt kunnen meer of minder samenhangen met individuele kenmerken van gebruikers voorzover deze tot uitdrukking komen in het daadwerkelijke doen en laten van gebruikers. Het gaat dan om twee soorten kenmerken:

- als (min of meer) fysiologisch te bestempelen eigenschappen te weten (vgl. ide 130):
 - eigenschappen van het waarnemingsapparaat (sensoriek), bijvoorbeeld of er sprake is van slechtziendheid of blindheid;
 - kennis en ervaring als mentale/geheugenkenmerken;
 - lichamelijke eigenschappen, bijvoorbeeld afmetingen van (delen van) het lichaam, en uit te oefenen krachten en motorische vaardigheden;
- tijdelijke condities die gebruikssacties (kunnen) beïnvloeden zoals een bril niet op hebben, gehaast zijn en vette of natte handen hebben.

Bedenk dat met deze omschrijving van gebruikerskenmerken het functioneren van produkten nooit rechtstreeks kan worden bepaald door sensorische eigenschappen

van gebruikers, hun kennis en ervaring en fysieke eigenschappen, of door bepaalde stemmingen, alsof er sprake zou zijn van 'tele....'. Het functioneren van producten met een bepaald resultaat is een zuiver technische, fysische zaak, zonder enige magie of mistigheid. Natuurlijk hoeft het functioneren van een produkt niet invariant te zijn voor verschil in kenmerken van gebruikers. Vaak is het dat ook helemaal niet zoals in het volgende hoofdstuk ter sprake komt. Maar zulke verbanden kunnen gegeven bepaalde omgevingskenmerken slechts tot stand komen via gebruiksactiviteiten. Het rijtje 'gebruikerskenmerken-gebruiksactiviteiten-functievervulling van een produkt' is hiërarchisch, en dus niet op onderdelen nevensgeschikt.

Let er trouwens op dat deze vaststelling hangt op de wat wordt gezien als gebruikerskenmerken. Daaronder zou je ook verschillende typen gebruikers kunnen verstaan, zoals 'pietepeuteraars' en 'doordouwers', of 'piekeraars' en 'uitprobeerders' om maar eens wat te noemen. In zo'n geval is wel een directe relatie denkbaar tussen de functievervulling van een produkt en gebruikerskenmerken. Maar dan moeten zulke gebruikerstypen wel identificeerbaar zijn. Of dit überhaupt kan en hoe dit dan zou moeten worden in dit hoofdstuk niet over gespeculeerd.

22.5.2 Gebruiksactiviteiten en omgevingskenmerken

Omgevingskenmerken kunnen rechtstreeks inwerken op het functioneren van producten. Dit betreft altijd in wezen fysische processen, zie de voorbeelden genoemd in § 24.4.2. Via de gebruiker loopt echter een mogelijke beïnvloeding die op het technisch/fysisch functioneren van producten veel dieper kan ingrijpen. Om te beginnen kan wat gebruikers doen of nalaten afhangen van hun reactie op omgevingstemperatuur of lichtsterkte. Andere kenmerken van de omgeving die gebruiksactiviteiten kunnen beïnvloeden zijn bijvoorbeeld een ingestelde werkhoogte en het al of niet aanwezig zijn van omstanders; dergelijke omgevingskenmerken kunnen, evenmin als kenmerken van gebruikers, geen rechtstreeks effect hebben op het functioneren van producten.

Tenslotte kan het effect van omgevingskenmerken op gebruiksactiviteiten samenhangen met individuele condities van gebruikers: een obstakel waaraan gebruikshandelingen sinds jaar en dag zijn aangepast kan ineens gaan irriteren.

22.6 Use cues als verwijzingen naar gebruiksfunctionaliteit

Bezien we ter afsluiting van dit hoofdstuk nog eens de betekenis van het ontwikkelde begrippenkader in het kader van ontwerpen.

Om te beginnen hangen, even los van de omgeving, produktkenmerken en gebruiksactiviteiten per (soort) artefact samen. Bij het gebruik van een magnetron gaat het op voorhand grotendeels om andere handelingen dan bij een stofzuiger of een computer, al hoeft dat op onderdelen niet te gelden, denk aan bedieningsknoppen. Daarnaast reageren gebruikers in hun activiteiten tussentijds naar bevind van zaken wat betreft een al dan niet gewenste of verwachte functievervulling en de daarvoor geleverde inspanning. Dergelijke samenhangen, hoe globaal ook bekend of verondersteld, zijn een essentieel uitgangspunt in het ontwerpen. En wat zou het niet aardig zijn als je als ontwerper wist hoe je een ontwerp moet specificeren om zodanige gebruiksactiviteiten uit te lokken, dan wel op verwachte gebruiksactiviteiten zo te anticiperen, dat eisen voor een beoogd technisch functioneren uit het PVE inderdaad worden gerealiseerd, evenals eisen betreffende de daarvoor nodige inspanning. Er zijn hiervoor al tal van voorbeelden gegeven die dit ideaal voor ontwerpers illustreren als een ver verwijderde toekomst, zie de figuren 21.1, 22.7, 22.9, 22.10, 22.11 en 22.12.

Toch blijft het ontwerpen van gebruiksfunctionaliteit de enige mogelijkheid voor ontwerpers dit ideaal dichterbij te brengen (afgezien van allerlei voorlichting). Het gaat dan om verwijzingen naar gebruiksfunctionaliteit zoals de pijl in figuur 22.6, de grafiek op de tandenborstel in figuur 22.7, de plaats van de display in figuur 22.9, de bijschriften en iconen bij de knoppen in de figuren 22.11 en 22.12, en de tekst op de achterkant van een schijfje in figuur 22.13. Omdat verwijzingen naar gebruiksfunctionaliteit zo'n omslachtige formulering is worden dit *use cues* genoemd. In de zojuist gegeven voorbeelden waren produktkenmerken de 'draggers' van *use cues*. Maar *use cues* kunnen net zo goed naar voren komen in het functioneren van een produkt - via iconen, als lexicale informatie of anderszins - vergelijk de aanwijzingen in het Macintosh venster in figuur 22.8, verder de tactiele aanwijzing in het voorbeeld van het koffiemelkkuipje (figuur 22.10), de abominabele *use cue* van de firma Microsoft in figuur 22.14, en het dubieuze 'annuleren' onder Windows (ook Microsoft) in figuur 22.15. Bijkomende output die bedoeld is als waarschuwing/feed back (zie figuur 22.1) kan eveneens dienen als *use cue*.

Kortom, *use cues* berusten op materiële of functionele gebruiksaanwijzingen van een produkt. Het zijn de *use cues* die door gebruikers moeten worden waargenomen, begrepen en gevat. Vooral cognitieve eigenschappen van gebruikers spelen daarbij een steeds belangrijker rol.

Voor alle duidelijkheid: met een *use cue* wordt niet de informatie bedoeld in een losse gebruiksaanwijzing. Er is iets voor te zeggen dit wel te doen als een gebruiksaanwijzing een integraal onderdeel is geweest van het ontwerp (zie Marinissen, 1995), en niet (ook) een doekje voor het bloeden, om met kunst- en vliegwerk steken gevallen tijdens het ontwerpproces achteraf recht te breien. Bedenk dat letterlijke vertaling van *use cue* niet 'gebruiksaanwijzing' oplevert: een bijgeleverde gebruiksaanwijzing heet in het engels "instructions"/"directions for use" of "manual" (is uitgebreider), of "here's how" (amerikaans).

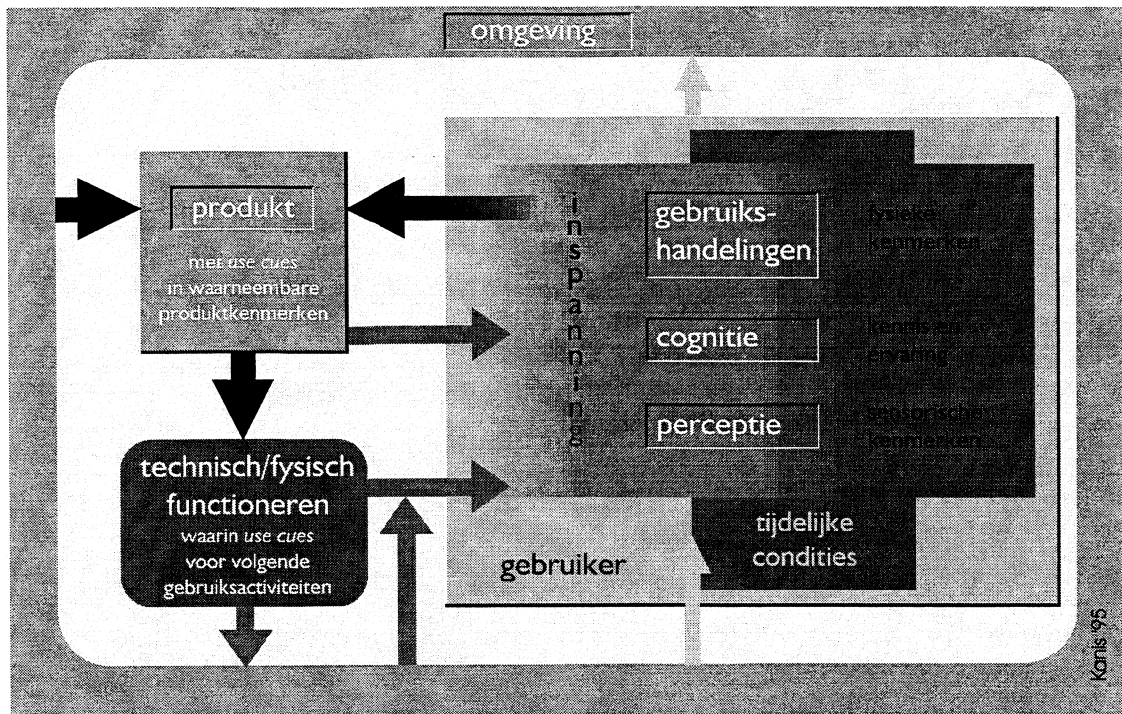
Voor alle duidelijkheid: de ontwerp-status van een *use cue* bij bestaande produkten is vaak een vermoede omdat geen der betrokken ontwerpers bij de hand zijn om uitsluitsel te geven.

22.7 Het functioneren van gebruiksprodukten in beeld

Tot slot van dit hoofdstuk is in figuur 2.16 een poging gedaan de onderlinge samenhang te laten zien tussen begrippen die in dit hoofdstuk zijn geïntroduceerd om het functioneren te beschrijven van produkten in gebruik. Let er op dat figuur 2.16 niet een model is van een of andere theorie. Want er wordt niets uitgesloten, terwijl dat juist kenmerkend is voor een theorie als bron van uitspraken over wat (niet) het geval is. Het is duidelijk dat voor het ontwerpen van gebruiksprodukten het zwaartepunt in het schema ligt bij de zwarte pijlen links. Met donkergrijze pijlen wordt de waarneembaarheid door gebruikers aangegeven van produktkenmerken, en van functionele aspecten die ook naar voren kunnen komen als verandering in de omgeving zoals bij bewerkt materiaal (zie pijlen linksonder in figuur 22.16).

Lichtgrijze pijlen verwijzen naar mogelijke indirecte invloeden op het functioneren van produkten, met de gebruiker als intermediair, zoals inrichting van de omgeving door gebruikers (pijl onder rechts), en de reactie van gebruikers op omgevingsfactoren (pijl boven rechts), waarbij het niet alleen hoeft te gaan om fysische kenmerken - denk aan omstanders.

Binnen het gebruiker-blok in het schema zijn tussen de begrippen om de gebruiker te beschrijven geen verbanden aangegeven, om de doodeenvoudige reden dat koppeling van bepaalde begrippen, al dan niet onderling gekombineerd, doorgaans niet bestaand



Figuur 22.16 Het functioneren van gebruiksprodukten in beeld.

inzicht suggereert, ook gelet op het in zo'n geval ontbreken van een dergelijke koppeling tussen andere begrippen. Dit valt ook zo te zien: binnen het gebruiker-blok wemelt het van de pijlen, alleen gaan deze ten onder in de grijstint, iets wat in het bijzonder geldt voor denkbare relaties tussen gebruikerskenmerken aan de ene kant en gebruiksactiviteiten aan de andere.

Andere detailleringen die zijn weggelaten terwille van de inzichtelijkheid betreffen:

- het onderscheid in het technisch/fysisch functioneren naar afzonderlijke functionaliteiten: ter bescherming van de gebruiker, ter ondersteuning / vervanging / uitbreiding van menselijke capaciteiten, zie figuur 22.1, en
- het onderscheid energie-materie in de uitwisseling tussen omgeving en produkt.

Aan de hand van figuur 22.16 wordt in het volgende hoofdstuk een inventarisatie gegeven van uitgevoerd gebruiksonderzoek.

Begrippen

Functioneren van produkten

- technisch/fysisch
- doeltreffendheid (primaire output)
- bijkomende output (sideput)
- inspanning, moeite (input)
- gebruiksfunctionaliteit
- produktkenmerken

Gebruiksactiviteiten

- gebruikshandelingen
- perceptie
- cognitie

Gebruikerskenmerken

- sensorisch
- mentaal
- fysiek
- tijdelijke condities

Use cues

Omgevingskenmerken

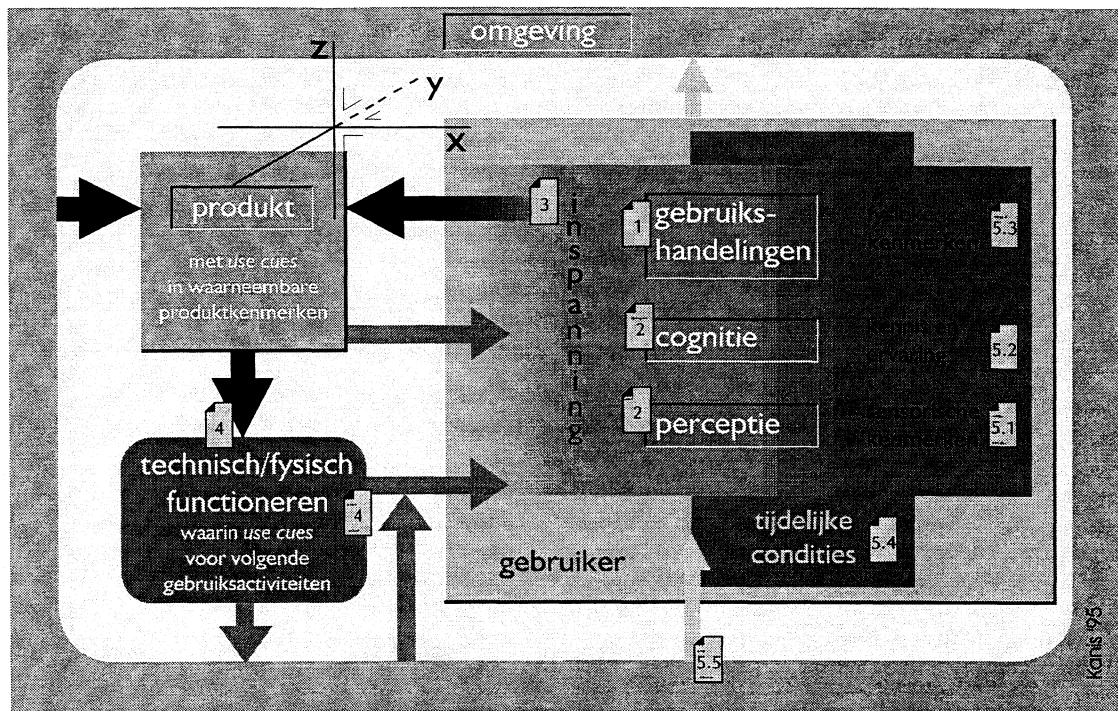
Literatuur

- Dürr, H., 1971.
Die Analyse ergonomischer Systeme. Klepzig Fachberichte 79, 395-399.
- Edwards, E., 1972.
Man and machine: Systems for Safety. In: Proceedings of BALPA symposium: Outlook for Safety, 21-45
- Ide 130, 1994
Inleiding tot de Produkt- en Systeemergonomie (J.M. Dirken. et al.). Faculteit Industrieel Ontwerpen, TU-Delft.
- Gibson, J.J., 1977.
The theory of affordances. In: Perceiving, acting, and knowing, S. Shaw en J. Bransford (eds.), John Wiley.
- Kanis, H., 1993.
Operation of Controls on Consumer Products by Physically Impaired Users. Human Factors, 38, 205-228.
- Kanis, H., 1995.
User research - simulation of user manipulations. In: Roozenburg, N.F.M. and Eekels, J., Product Design: Structure and Methods.
- Kanis, H. and Wendel, I.E.M., 1990.
Redesigned use: A designer's dilemma. Ergonomics, 33, 459-464.
- Loopik, W.E.C., Kanis, H. and Marinissen, A. H., 1994.
The operation of new vacuum cleaners, a users' trial. Contemporary Ergonomics, 34-39. Taylor & Francis, London.
- Norman, D.A., 1988.
The psychology of everyday things. Basic Books, New York.
- Schoorlemmer, W. and Kanis, H., 1992.
Operation of controls on everyday products. In: Proceedings of the Human Factors Society 36th Annual Meeting, 509-513. Santa Monica, CA, USA.
- Voûte, C.C.C., Kanis, H. and Marinissen, A.H., 1993.
User involved redesign of a clock-radio. Contemporary Ergonomics, 117-122. Taylor & Francis, London.

23 Bevindingen in gebruiksonderzoek

Samenvatting

In dit hoofdstuk worden eerst resultaten besproken van onderzoek naar het gebruik van functionerende producten. In figuur 23.1 is aangegeven in welke paragraaf wat wordt behandeld; ^{5.4} betekent § 23.5.4. etc.. In figuur 23.1 staan ook de nummers van paragrafen waarin in het vorige hoofdstuk zaken zijn behandeld. Vervolgens worden bevindingen besproken uit studies met modellen waarmee de praktijk wordt gesimuleerd (§ 23.7).



Figuur 23.1 Paragrafen van dit hoofdstuk waarin gebruiksonderzoek wordt behandeld betreffen de genoemde begrippen (^{5.4} wil zeggen: § 23.5.4 enz.).

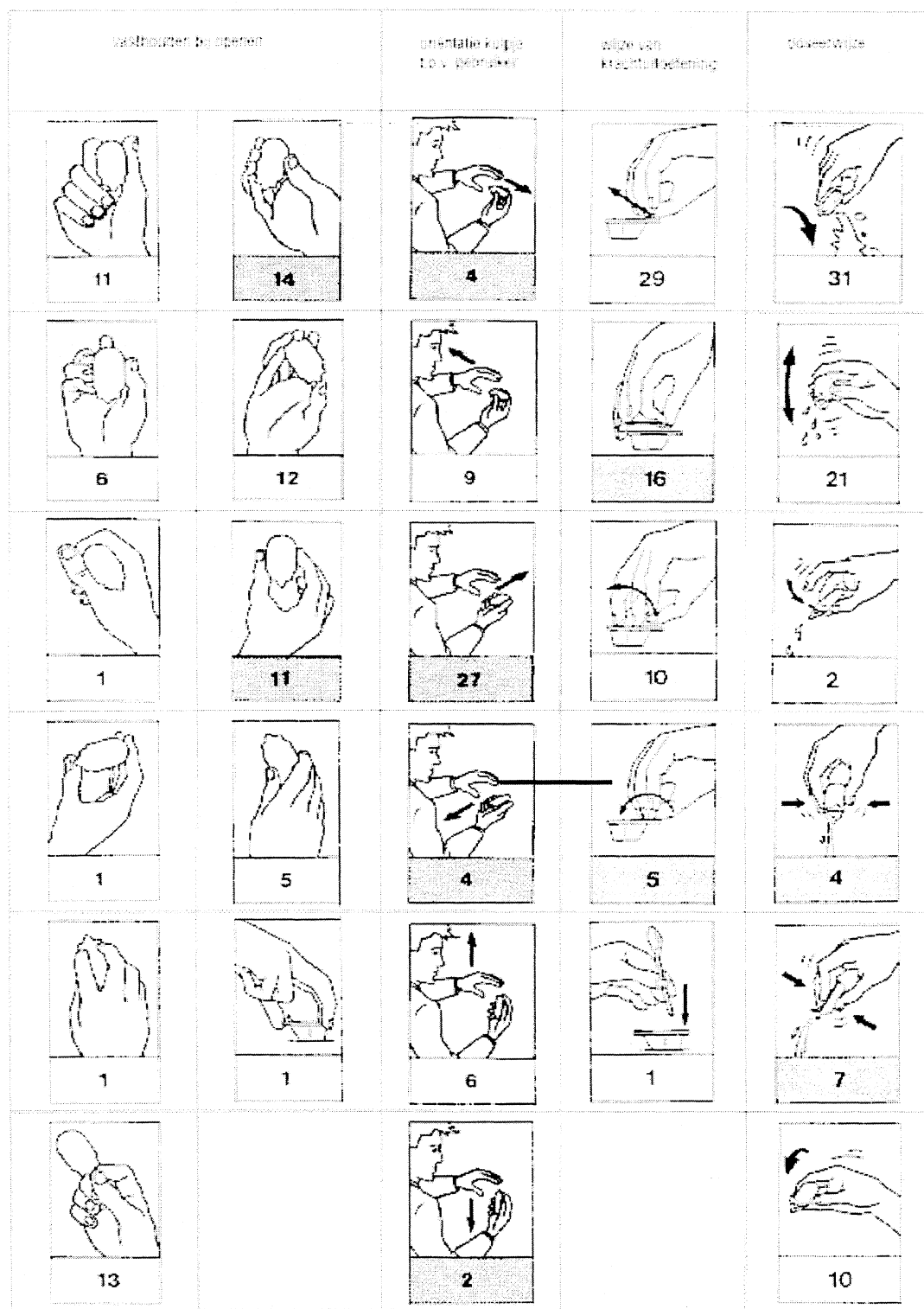
23.1 Gebruikshandelingen (¹ in figuur 23.1)

23.1.1 Inter-individuele variatie

Er bestaat, voor zover onderzocht, een grote inter-individuele variatie in gebruikshandelingen bij eenzelfde produkt. Deze variatie gaat ver te buiten wat betrokken ontwerpers naderhand aangeven als hun leidraad, zie het voorbeeld in figuur 23.2.

23.1.2 Intra-individuele variatie, tussen mensen en produkten

Intra-individueel blijkt de spreiding in gebruikshandelingen die worden herhaald, duidelijk beperkt vergeleken met de hiervoor bedoelde variatie. Voor drie produkten - het koffiemelkkuipje (zie de figuren 22.10 en 23.2), een ijsco- verpakking (zie figuur 23.6 verderop) en een elektrische kurketrekker (zie figuur 23.11 verderop) - kon het gebruik worden vergeleken voorzover dezelfde proefpersonen daaraan hebben meegedaan.



Figuur 23.2 Gebruikswijzen van het nieuwe koffiemelkkuipje (zie figuur 22.10) door proefpersonen en de ontwerpers (uit Kanis, 1995). De weergegeven gebruikswijzen zijn met video vastgelegd (34 proefpersonen) die 4 exemplaren van het nieuwe kuipje gebruiken. Voor het openen - de eerste 3 categorieën - zijn alleen de manipulaties geïnventariseerd, direct voorafgaand aan een doseerpoging. In totaal wordt 176 keer gedoseerd, inclusief vergeefse of niet tot tevredenheid stemmende pogingen. Daarnaast is met video vastgelegd van welke gebruikswijzen de betrokken ontwerpers (dit waren er 3) zijn uitgegaan. Zie voor meer toelichting en de legenda het onderschrift bij figuur 22.10.

Bij deze vergelijking is voorbijgegaan aan mogelijk storende invloeden als gevolg van de verschillende tijdstippen waarop de gebruiksonderzoeken hebben plaats gevonden. Wat blijkt is dat intra-individuele spreiding niet alleen verschilt tussen proefpersonen maar ook produktafhankelijk is. Wat betreft het gebruik van de linker- en rechterhand voor vasthouden en voor bedienen/open maken blijken in de beperkte groep proefpersonen ($n = 13$) onder meer de volgende gevallen te onderscheiden:

- voor alle drie produkten wordt steeds de ene hand voor vasthouden gebruikt en de andere voor bediening/open maken ($n = 1$);
- per produkt varieert het gebruik van de handen niet maar dit wisselt wel tussen produkten ($n = 3$);
- bij twee van de drie produkten wordt steeds dezelfde hand gebruikt voor vasthouden en voor bedienen/open maken, althans per produkt, terwijl bij het derde produkt wat dit betreft voortdurend gewisseld wordt tussen linker- en rechterhand ($n = 4$).

23.1.3 Patronen

Uit tot dusver uitgevoerde empirische onderzoeken zijn geen aanwijzingen naar voren gekomen voor het bestaan van zogenaamde gebruikspatronen. Dat wil zeggen dat geen inter-individuele regelmatigheden zijn aangetroffen in gelijktijdige of opeenvolgende gebruikshandelingen.

Het onderzoek naar het gebruik van koffiemelkkuipjes is op dit punt het verst uitgewerkt. Of er zoiets bestaat als een 'gebruiksgrammatica' is nagegaan door voor gelijktijdige of opeenvolgende gebruikshandelingen -zie figuur 23.2- paarsgewijs associaties te berekenen - zie figuur 23.3. Deze berekening betreft een statistische techniek voor nominale data, bekend als de 'proportional reduction of predictive error' (doet enigszins denken aan χ^2 -toets, zie hierover verder hoofdstuk 30). Figuur 23.3 laat zien dat enkel de variabele 'oriëntatie kuipje t.o.v. gebruiker' enigszins is geassocieerd met andere variabelen ($\lambda \geq 0.20$). Met 'vasthouden bij openen' is die associatie er alleen als deze laatste variabele wordt beschreven in vier categorieën; gedetailleerder kijken - elf categorieën - levert $\lambda < 0.20$. Bij 'wijze van krachtoefening' verandert λ net de andere kant op: een beschrijving in vijf categorieën geeft $\lambda = 0.27$, terwijl bij twee categorieën $\lambda < 0.20$.

Het blijkt dat je in het algemeen beschrijvingen van gebruikshandelingen sterk moet 'ont-detaileren', dat wil zeggen globaal moet maken, om grotere associaties te vinden. Je hebt het dan over (bijna-) trivialiteiten als 'mensen pakken een produkt al dan niet op' (of 'manipuleren dit met twee handen'), dat wil zeggen voornamelijk over wat mensen doen en niet of nauwelijks *hoe* ze het doen, terwijl dat voor ontwerpers juist interessant kan zijn. Dat er tot dusver geen gebruikspatronen zijn aangetroffen strookt met de telkens weer gevonden variatie in gebruikshandelingen, die vooral groot is tussen mensen. Dergelijke variatie verdraagt zich slecht met zoiets als sequentiële invarianties. Het 'patroon' is om zo te zeggen een aanzienlijk mate van spreiding. Dit idee strookt overigens niet met de pré-empirische kijk die sommigen er op na blijken te houden. Hun opvatting lijkt dat 'de werkelijkheid' op essentiële niveaus te beschrijven moet zijn naar invarianties, zoals een beperkt aantal patronen. Hiervoor is al aangegeven dat voor gebruikshandelingen van mensen evidentie ontbreekt om deze zienswijze te staven, iets wat vanzelf niet los valt te zien van het beperkte aantal studies naar het daadwerkelijke doen en laten van mensen. Overigens zijn het niet alleen gebruikshandelingen waarbij in empirisch onderzoek grote variatie aan het licht

komt. Hetzelfde doet zich voor bij de menselijke tred, blijktens een onderzoek van Grönqvist et al. (1993) naar wat de auteurs noemen de "slipperiness of the shoe-floor interface". Gemeten wrijvingscoëfficiënten blijken deels weinig van doen te hebben met het oordeel van proefpersonen over de glibberigheid. Volgens de auteurs, die de proefpersonen tijdens hun proeflopen en uitglijden hebben gefilmd, zijn de meest waarschijnlijke redenen hiervoor: "the great intra-individual variation of the gait of each subject in repeated walking experiments; and the great inter-individual variation of the gait of different subjects". (p.262).

23.2 Percepties en cognities (2 in figuur 23.1)

Deze gebruiksactiviteiten zijn op te vatten als in elkaars verlengde liggend, zie hoofdstuk 13. Als gebruikshandelingen een gewenste functie vervullen opleveren wordt er in de regel van uit gegaan dat proefpersonen op adequate wijze hebben waargenomen en geïnterpreteerd. Vaak moet je afgaan op wat proefpersonen desgevraagd melden. Soms is er 'circumstantial evidence', zoals te zien in figuur 23.7 verderop waarin wordt geïllustreerd welke manipulaties van het koffiemelkkuipje vaak niet of juist wel samengaan met kliederen (§ 23.4). In hoeverre gebruikers zicht hebben op wat ze doen lijkt hier een rol te spelen, zie de orientatie van het kuipje bij een kleine kans op kliederen (goed zicht) en een grote kans op kliederen (slecht zicht, hand zit ertussen).

In een aantal gebruiksonderzoeken hebben proefpersonen een hoofdcamera (type Margreet Dolman) gedragen waarmee een - iets vertekende - indruk wordt verkregen van hun blikveld. In een onderzoek naar ongelukken in en om huis op basis van rekonstruktie op de plek (Weegels, 1996) helpt zo'n camera om op het spoor te komen of obstakels misschien het zicht hebben benomen toen het ongeluk gebeurde. Of mensen bepaalde zaken werkelijk hebben gezien krijg je de meeste zekerheid over door het te vragen. In het geval van het onderzoek naar het gebruik van de elektrische tandenborstel (figuur 22.7) geven de meeste proefpersonen aan dat ze de blauwe stipjes niet hebben gezien. Slechts twee proefpersonen blijken de bedoeling in het ontwerp te onderkennen. Dat in de meeste gevallen het borstelstukje er toch op wordt geschoven zoals bedoeld hangt samen met de stand waarin het borstelstuk bewaard wordt in een daarvoor bestemde houder aan de muur. De *use cue* die daar waarschijnlijk voor 'zorgt' kwam bij verrassing uit het onderzoek en is verder niet meer onderzocht.

Een voorbeeld dat proefpersonen wel iets hebben waargenomen maar dit niet hebben geïnterpreteerd zoals bedoeld door de ontwerpers is de extra verlijming bij het koffiemelkkuipje. Proefpersonen voelen het wel degelijk blijktens de moeite die ze doen de folie door de barrière heen te trekken - ze klagen er ook over. Wat als *use cue* is bedoeld volgens de geraadpleegde ontwerpers verwordt hier dus tot extra inspanning.

Redeneringen van mensen zijn alleen te volgen aan de hand van wat ze daar zelf over zeggen. Dit kan direct nadat een taak is vervuld, of tijdens het afwerken van een instructie wat de zogeheten 'think aloud' aanpak is (zie volgende hoofdstuk). Een laatste hier te geven voorbeeld komt uit het stofzuigeronderzoek, zie figuren 22.3 en 22.12. De pictogrammen op de mondstukken worden wel gezien maar niet begrepen waarna gebruikers zich op een andere manier weten te redden, zie figuur 23.4.

	aantal categorieën	vasthouden bij openen		oriëntatie kuipje t.o.v. gebruiker	wijze van krachtuitoefening	doseerwijze	
aantal categorieën		11	4	6	5	2	5
vasthouden bij openen	11 4						
oriëntatie kuipje t.o.v. gebruiker	6	-	0.20* 0.29				
wijze van krachtuitoefening	5 2	-	-	0.27**			
doseerwijze	5	-	-	-	-	-	

Figuur 23.3 Verband tussen gebruikshandelingen afhankelijk van de gedetailleerdheid in de beschrijving en van de ervaring van de proefpersonen. Associaties uitgedrukt in Goodman-Kruskal λ (uit Kanis, 1990)

Opmerkingen

- De associaties zijn berekend over alle proefpersonen ($n = 34$), en daarnaast ook voor proefpersonen met òf relatief veel ervaring, te weten minstens 2 x per maand een koffiemelkkuipje gebruiken ($n = 13$), òf geen of relatief weinig ervaring: hoogstens 1 x per jaar ($n = 11$).
- Van complete samenhang is sprake als $\lambda = 1$; $\lambda = 0$ betekent geen enkele paarsgewijze associatie. In het overzicht zijn alleen associaties vermeld waarvoor $\lambda \geq 0.20$, d.w.z. er is op z'n minst enige samenhang.
- * De detaillering van de beschrijving is gevarieerd om na te gaan of minder precies kijken meer globale verbanden zichtbaar maakt.

Vasthouden bij openen

De 11 categorieën in figuur 23.2 zijn op twee manieren gereduceerd tot 4, namelijk door naast beethouden bij het lipje ($n = 13$) onderscheid te maken naar

- vasthouden van onderen ($n = 43$ in figuur 23.2), van opzij ($n = 13$) en van boven ($n = 7$), of;
- vasthouden omvattend ($n = 19$ in figuur 23.2), van opzij ($n = 30$) en in de langsrichting ($n = 24$).

Oriëntatie t.o.v. gebruiker

Hier zijn geen aanknopingspunten bepaalde richtingen te combineren.

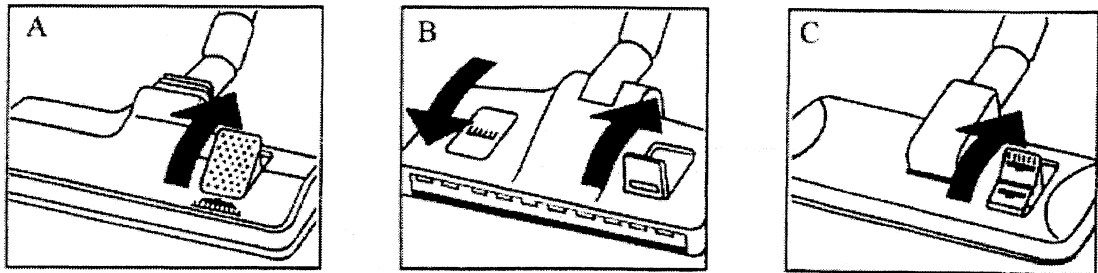
Wijze van krachtuitoefening

De 5 onderscheiden manieren in figuur 23.2 worden tot 2 gereduceerd door alleen onderscheid te maken tussen krachtuitoefening verdeeld over twee handen (één voor tegenhouden), en krachtuitoefening met voornamelijk één hand waarbij het kuipje ergens op staat.

Doseerwijze

Het aantal categorieën is met één teruggebracht door beide manieren van knijpen (zie laatste kolom figuur 23.2) bij elkaar te nemen.

- * Beide getallen betreffen de indeling naar 'vasthouden van onderen', 'van opzij', 'van boven' en 'bij het lipje'; $\lambda = 0.20$ geldt voor alle proefpersonen, $\lambda = 0.29$ voor proefpersonen met geen of relatief weinig ervaring.
- ** Dit getal, $\lambda = 0.27$, betreft proefpersonen met relatief veel ervaring



Figuur 23.4 Pictogrammen op stofzuigermondstukken, waarover het volgende uit een artikel (Loopik et al. op.cit.):

The remainder of the operational difficulties has to do with the meaning of the pictograms. The '|||||||'-sign on A and C in the figure means 'carpeting'. On B it means 'brush', which is also the interpretation of all the subjects. Thus the pictogram on A means 'brush in'. One subject thinks it means 'brush out'. This is also the interpretation of another subject who becomes confused by finding the sign for solely the nozzle which she interpretes as brush in' at the same side of the control. The rest of the subjects just doesn't understand the A-pictogram. By and large the same applies to the C-pictogram. Only the subject who thought that the A-pictogram means 'brush out', could logically understand the picture of only the nozzle on C as 'brush in'. But this actually means 'brush out: apparently seeing only a nozzle should be understood as not seeing a carpet, which should be interpreted as a nozzle working on a hard floor covering, and thus as 'brush out'... All the subjects do give the right meaning to the pictograms on B. The switch that is up indicates whether or not the brush is down. Unfortunately, however, the user, who is always standing behind the nozzle, can only see the pictogram that is down, i.e. the one that is not 'on'. Anyway, with B as well as with A and C all subjects establish the position of the brush either by controlling it manually (sometimes visually), or by deducing this position from the experienced resistance in vacuuming.

23.3 Met gebruiksactiviteiten gemoeide inspanning (³ in figuur 23.1)

In gebruiksonderzoek gangbare maten voor inspanning zijn:

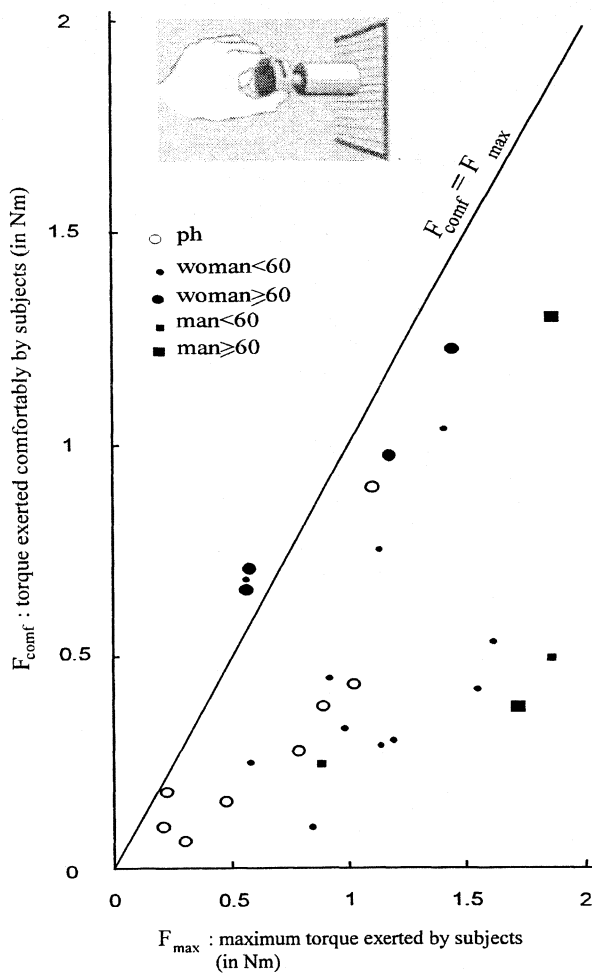
- aantal pogingen iets voor elkaar te krijgen, zie onderschrift figuur 23.2;
- tijd die het proefpersonen kost een taak uit te voeren, deze tijd blijkt vaak nauw gecorreleerd met het aantal pogingen, vooral als er in de instructie aan de proefpersonen een bepaalde tijdsdruk is voorzien;
- door proefpersonen ervaren ongemak/discomfort/stress.

Meting van het laatste is makkelijker gezegd dan gedaan. Figuur 23.5 geeft een illustratie van de onverwachte problemen die kunnen optreden bij zoiets schijnbaar voor de hand liggends als het meten van een maximaal niveau van krachtoefening en een door proefpersonen als comfortabel ervaren niveau.

23.4 Functieervulling (in)variant voor verschillende gebruiksacties (⁴ in figuur 23.1)

In gebruiksonderzoek naar interfaces is er in de regel een duidelijk onderscheid te maken tussen al dan niet foutieve gebruikshandelingen: meestal is maar één icoon op het scherm de juiste en zijn alle andere mis, dat wil zeggen op z'n minst niet liggend in het kortste pad naar een bepaald doel, zie Vermeeren (1994).

Een geval van een teleurstellende mens-product interactie is te zien in figuur 23.6 waar de verpakking van de makers van het 'Ijs Met Plezier' (Unilever) het uiteindelijk laat afweten. Maar de bonte variëteit van gebruikswijzen heeft niet altijd zulke duidelijke consequenties voor het (dis)functioneren van producten, waarbij disfunctioneren staat voor tekortschietende doeltreffendheid en/of extra bijkomende output (vergelijk figuur 22.1).



Figuur 23.5 Comfortabel (F_{comf}) en maximaal (F_{max}) uitgeoefende momenten door 27 proefpersonen (Schoorlemmer en Kanis, 1992), waarover het volgende uit een later artikel (Kanis, 1994). "In the figure the torque (see inset) is plotted that is exerted maximally (F_{max}) and comfortably (F_{comf}) by 27 subjects, eight of whom are physically impaired (by Parkinson's disease or spasticity), see for a detailed outline of that study Schoorlemmer and Kanis (1992). From previous research (Kanis, 1993) we knew that the concept of a comfortable force exertion may easily be meaningless for subjects. Thus for the measurement of F_{comf} subjects were instructed to avoid causing any strain or (extra) pain in building up their effort gradually and holding it for a few seconds. In addition, the comfortable level of force exertion was measured at the end of each session with subjects who had before acquired experience in operating all types of controls. This experience was thought to get a better understanding of the instructions. Despite these precautions, the figure shows that for three subjects $F_{\text{comf}}/F_{\text{max}} > 1$, with for F_{max} the value that was measured directly preceding the measurement of F_{comf} , in both measurements the posture and position were the same. In these three cases at least one of the two measurement outcomes is biased. In view of the moderate reproducibility - statistically the variation coefficient of $F_{\text{comf}}/F_{\text{max}}$ amounts to almost 60% - for several other subjects biased measurement outcomes cannot be ruled out. Subjects showing this unexpected result experienced proportionally no more or less problems in the preceding operation of controls than the rest. What might play a role is that some subjects, being asked to generate F_{max} , co-activate extra muscles such as joint-stabilizers that counteract the production of F_{max} with the surprising conclusion that particularly F_{max} would be suspected to be biased, instead of F_{comf} . Whatever might be the reason for the anomaly, this example shows that research with tasked subjects may be extra vulnerable to biased measuring. In this respect the example is seen as illustrative for the empirical nature of validation in the sense that observations are considered as valid as long as attempts to produce counterevidence have been unsuccessful. 'Proper' or 'careful' instructions may never be seen as a guarantee for the anticipation of bias, see also Thomas and Nelson, 1990, p. 369."



Figuur 23.6 In een gebruiksonderzoek (n = 15, zie afstudeerverslag Daams, 1988) moesten proefpersonen ijsjes ontdoen van de verpakking. In ruim 70% van de gevallen ging dat heel anders dan de ontwerpers hadden bedacht blijkens *use cues* op de verpakking. Deze *use cues* waren een lipje halverwege, met daarop de tekst:

ICI TIRER
HIER TREKKEN

Er waren verpakkingen waarop deze tekst ontbrak. Behalve dat gebruikers weer gevarieerd te werk gingen was het resultaat soms een klein drama. Afgebeeld is een Cornetto waarbij het de proefpersoon niet is gelukt de 'muts' voldoende los te scheuren van de tuit. Ondanks langdurig gewriemel, noodgedwongen met één hand (links), lukt het de proefpersoon niet de lekkernij als eenheid te redden.

In figuur 23.7 is te zien dat in de beschrijving van het gebruik, zoals aangehouden in het koffiemelkkuipjes onderzoek, de relatie tussen het doen en laten van gebruikers en het al dan niet optreden van disfunctioneren -in dit geval kliederen- niet (geheel) eenduidig is: verbanden zijn alleen weer te geven als (on)waarschijnlijkheden (dus niet: als deze gebruikshandeling dan ook die functie vervulling). Hier zou je dus nog verder moeten detailleren om uit de beschrijving van het gebruik ondubbelzinnig te kunnen afleiden of er nu wel of niet wordt gemorst.

kans op kliederen	vasthouden bij openen	oriëntatie kuipje t.o.v. gebruiker	wijze van krachtuitoefening	doseerwijze
klein (p < 0.05)	 13			
groot (P < 0.05)	 11	 6 2		 21

Figuur 23.7 Manipulaties uit die keren gebruiken waarbij een deelnemer na het doseren gemorst blijkt te hebben of vieze vingers heeft, of juist niet (de overschrijdingskans dat gevonden verschillen toevallig zijn bedraagt $p < 0.05$, berekend volgens Fischer-Irwin toets, zie hoofdstuk 30). (uit Kanis, 1995).

23.5 Samenhang gebruikerskenmerken gebruikshandelingen (in figuur 23.1)

Een reden naar dit soort dieper liggende verbanden te kijken is dat inzicht daarin belangrijk kan zijn voor de selectie van proefpersonen. Vaak gaat het in gebruiksonderzoek om het opsporen van (mogelijke) problemen waarmee gebruikers zich in de praktijk geconfronteerd zien (zie volgende hoofdstuk). Gericht zoeken in plaats van lukraak proefpersonen ronselen kan een gebruiksonderzoek (veel) efficiënter maken. Is er bijvoorbeeld een gegronde vermoeden dat gebruiksproblemen vooral zijn te verwachten bij mensen met lichamelijke beperkingen, dan is het zaak die in het onderzoek te betrekken, liefst met enkele 'tegenhangers'. Hetzelfde geldt als kennis en ervaring naar verwachting een rol zouden kunnen spelen in het optreden van moeilijkheden bij het gebruik in de praktijk, zoals het hebben van weinig ervaring, of veel éénsoortige ervaring (zie §23.5.2 voor meer hierover).

23.5.1 Sensorische kenmerken (in figuur 23.1)

Een voorbeeld van gebruikshandelingen die samenhangen met sensorische kenmerken levert het hiervoor aangehaalde onderzoek naar de bediening van knoppen (zie figuur 23.5, zie ook figuur 22.5). Proefpersonen die blind zijn ($n = 3$) of slechtziend ($n = 5$) maken vooral gebruik van de vingertoppen die gevoelig zijn. Vergeleken met de overige proefpersonen ($n = 19$) bedienen blinde of slechtziende mensen knoppen vaak met de wijsvinger in plaats van de duim. Blinde proefpersonen hebben relatief veel problemen met onbedoeld activeren van functies van knoppen door louter aanraken bij het op de tast zoeken van de juiste knop. Slechtzienden blijken hier niet te tasten maar turen net zolang tot ze het gevonden hebben. Bij de overige proefpersonen zijn dit soort gedragingen niet waargenomen.

23.5.2 Kennis en ervaring (in figuur 23.1)

Binnen de kennelijk vaak ruime marges van mensen om te manipuleren en te manoeuvreren met produkten blijkt een deel van de inter-individuele variatie in wat mensen doen samen te hangen met kennis en ervaring. Kennis en ervaring betreft in dit verband aangeleerd gedrag; al doende geleerd. Bij toenemende ervaring zal het succesvol hanteren van een produkt steeds minder cognitieve aandacht vergen. Leren fietsen is niet eenvoudig, maar eenmaal geleerd verloopt het fietsen zonder bewuste aandacht. Daarnaast neemt met toenemende ervaring ook het prestatieniveau toe, althans de effectiviteit van produktgebruik. Zodoende heeft ervaring dus een positieve invloed op gebruik. Daarvan is geen sprake meer wanneer het om een te gebruiken produkt gaat dat een (over)bekende functie heeft maar een nieuwe hanteringswijze vereist. In een dergelijk geval blijken gebruikers zonder ervaring beter te presteren dan gebruikers met ervaring. Een voorbeeld daarvan is het onderzoek naar het gebruik van het nieuwe type koffiemelkkuipje (figuren 22.10 en 23.2).

Bevindingen in een onderzoek van Gelderblom en Christiaans (1991) naar het gebruik van een nieuw type blikopener duiden er daarnaast op dat proefpersonen met een diverse ervaring (kennis van verschillende mogelijke gebruikswijzen) minder moeite hebben met het vinden van nog een gebruikswijze. Iemand ervaren in het gebruik van veel verschillende blikopeners heeft minder moeite met het hanteren van weer een ander alternatief dan een gebruiker die altijd eenzelfde blikopener gebruikt en dan een alternatief in handen krijgt. Gebruikers met een eenduidige ervaring passen de hun bekende hanteringswijze automatisch toe omdat zij geen aanleiding zien om aan te nemen dat de aangeleerde hanteringswijze in dit geval niet geschikt zou zijn. Er treedt dus een fixatie effect op. Een uitweg voor die fixatie zou, naast lage gebruiksdrempels

(vgl. het skill-based niveau in het Rasmussen model, zie hoofdstuk 13), kunnen liggen in hoeverre een gebruikswijze inzichtelijk is, of zoals Norman (op.cit.) dat noemt, direct beschikbaar is 'in de wereld' dat wil zeggen dat je niet hoeft te putten uit kennis in het hoofd (het knowledge based niveau bij Rasmussen, zie hoofdstuk 13). Een en ander zou ook kunnen verklaren dat eenmaal opgedane ervaring, mits niet te lang geleden, al snel belangrijker is dan de frequentie waarmee deze ervaring wordt 'geactualiseerd' (tenzij deze frequentie = 0).

Vatten we de rol van ervaring samen met de bevindingen uit het gebruiksonderzoek naar de programmering van de cd-speler, zie figuur 22.9.

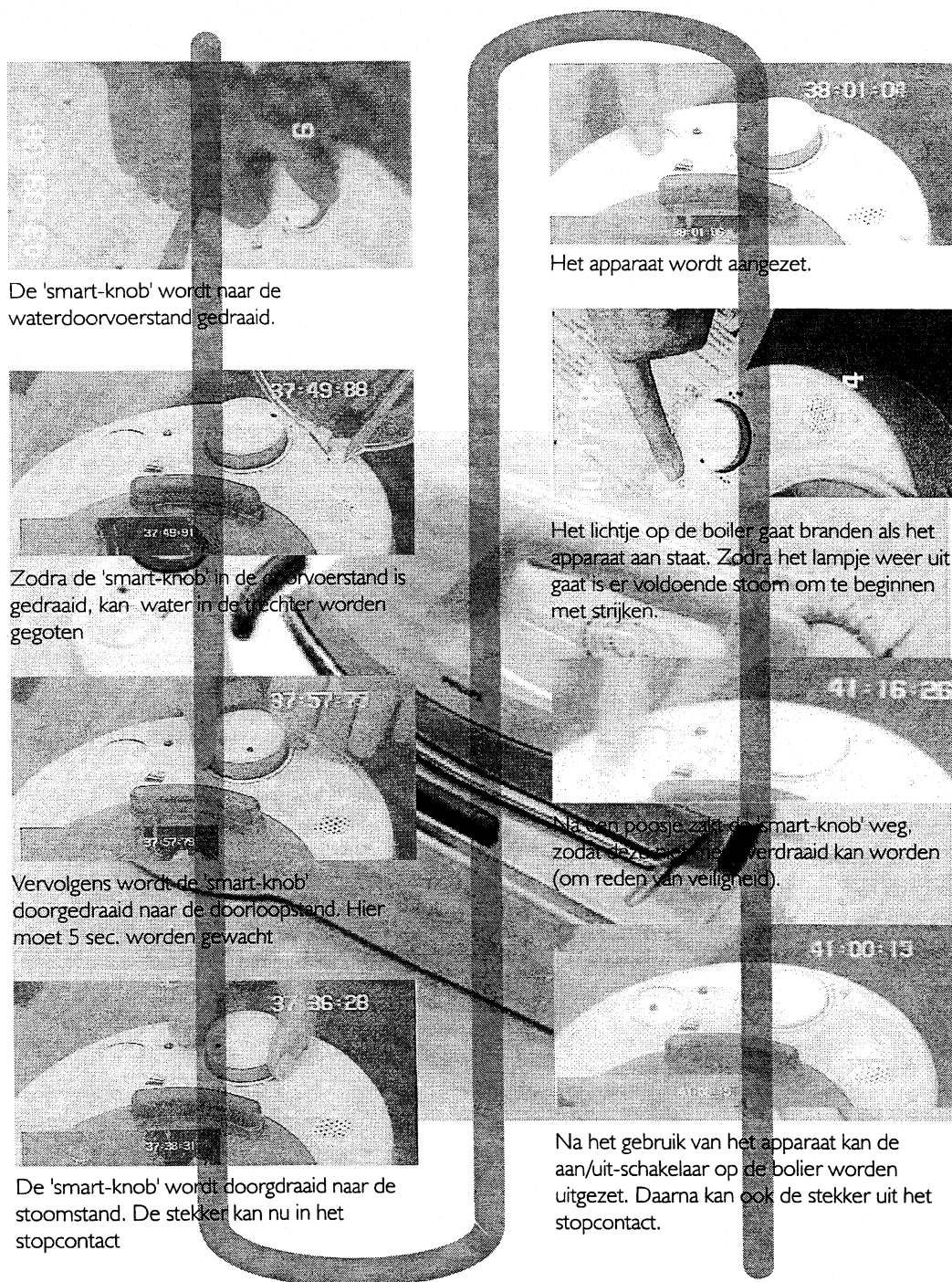
- " *Totaal geen ervaring van de proefpersonen heeft een negatief effect op het programmeren. Er moeten twee dingen worden geleerd: programmeren op zich en, specifiek, op deze cd-speler.* "
- " *Veel ervaring met een programmeerfunctie die overeenkomt (volgorde van handelen en grafiek) heeft positief effect. Men herhaalt de volgorde van handelingen die men kent en dat leidt tot een goed resultaat.* "
- " *Veel ervaring met een programmeerfunctie die niet overeenkomt (volgorde van handelingen/of grafiek) heeft negatief effect. Ook hier herhaalt men wat men kent. Dat leidt tot een verkeerd resultaat. Men heeft moeite met het vinden van alternatieven.* "
- " *Ervaring die gespreid is over verschillende cd-spelers heeft positief effect. Men komt makkelijker op een goede oplossing.* "

De kleinschaligheid van dit gebruiksonderzoek (n = 9) laat geen uitspraken toe over een eventueel verschil tussen de negatieve effecten van het hebben van geen ervaring en van het hebben van een eensoortige ervaring die niet overeenkomt met de interfacedie in dit onderzoek werd bekeken.

Tenslotte laat figuur 23.8 zien hoe proefpersonen kunnen leren van hun fouten.

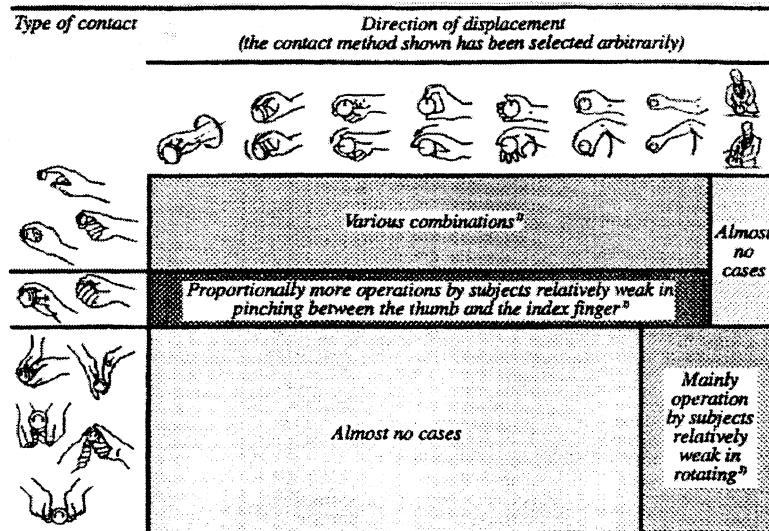
23.5.3 Fysieke kenmerken (5.3 in figuur 23.1)

Naar samenhang tussen fysieke kenmerken van gebruikers en hun gebruikshandelingen is gekeken aan de hand van gebruiksonderzoeken met bestaande, functionerende produkten. Voorzover op dit moment nagegaan hangt inter-individuele variatie in gebruikswijzen in het algemeen niet samen met verschil in gemeten fysieke kenmerken van gebruikers. Dit is natuurlijk niet zo verrassend als je bedenkt dat de onderzochte produkten ontworpen zijn met inachtneming van fysieke kenmerken van toekomstige gebruikers zoals handgroottes en op te brengen krachten. De ontwerprelevantie van dergelijke kenmerken staat immers buiten kijf. Maar zoals in ide 130 uitvoerig is bediscussieerd (zie hoofdstuk 5 en 18) hebben ontwerpers niet altijd oog voor de mogelijkheden en beperkingen binnen de gehele groep van toekomstige gebruikers. Dit blijkt in het onderzoek naar de bediening van knoppen door mensen met artritis of een spierziekte (Kanis, 1993, op.cit.) uit de vele problemen die de proefpersonen hebben, vooral met vereiste bedieningskracht. Verder doet zich in dit onderzoek wel een samenhang voor tussen fysieke kenmerken en gebruikshandelingen. Overeenkomst in gebruikswijzen van gebruikers met een vergelijkbare functionele beperking (bijv. slecht kunnen knijpen met de vingers of slecht kunnen draaien met de hand-arm) bestaat namelijk uit het omzeilen van dezelfde, blijkbaar als problematisch ervaren gebruikshandeling(en). Hoe dit gebeurt loopt overigens weer duidelijk uiteen tussen mensen, zie figuur 23.9. Vergeleken met de 'gemiddelde' gebruikers wat betreft krachtoefening in het onderzoek van Schoorlemmer en Kanis (op.cit.) vertonen de proefpersonen met lichamelijke



Figuur 23.8 In een beperkt gebruiksonderzoek (IO89, 1993 n=6) werden proefpersonen geobserveerd bij de eerste keer gebruiken, met de gebruiksaanwijzing bij de hand, van een stoomstrijkijzer waarvan het waterreservoir in een boiler zit die via een slang met de bout is verbonden. Een paar dagen na deze demonstratie werden de proefpersonen gebeld met het verzoek nog een keer langs te komen omdat er zogenaamd iets mis was gegaan met de video. Na precies een week zijn opnieuw opnames gemaakt, nu zonder gebruiksaanwijzing. Er bleek een bijna perfecte tweedeling op te treden. De proefpersonen die de eerste keer in de problemen waren geraakt vonden de tweede keer snel de vereiste standen van de knoppen. Maar wie in de eerste ronde de opeenvolgende handelingen probleemloos hadden verricht bleken in de tweede ronde degenen die de meeste moeite hadden er uit te komen aan de hand van de *use cues*: voornamelijk iconen op het produkt en naar voren komend in het niet- of disfunctioneren.

beperkingen meer inter-individuele variatie in gebruikswijzen (Kanis en Van Hees, 1995). In dit geval vormen beperkingen (engels: *constraints*) dus een bron van variatie. Dankzij de grote flexibiliteit van de bovenste extremiteiten kunnen mensen op tal van manieren te werk gaan. Deze uiteenlopende fysieke mogelijkheden komen het snelst aan het licht bij gebruikers met beperkingen. Het belang van deze bevinding is dat het tot de conclusie leidt dat het ontwerp van een knop zoveel mogelijk vrijheid zou moeten bieden om te manipuleren, dat wil zeggen ook geschikt moet zijn voor minder alledaagse bedieningswijzen zoals die waartoe gebruikers met fysieke beperkingen hun toevlucht blijken te nemen.



Figuur 23.9 Bediening van draaiknoppen door mensen met lichamelijke beperkingen (uit Kanis, 1993).

23.5.4 Tijdelijke condities (5.4 in figuur 23.1)

In het eerder aangehaalde onderzoek naar ongelukken op basis van reconstructie ter plekke (Weegels, op.cit.) is deelnemers gevraagd naar hun lichamelijke en geestelijke toestand ten tijde van het ongeval, dat wil zeggen of ze moe waren, zich niet lekker voelden of haast hadden. Naar aanleiding hiervan geven de 'ongelukkigen' in enkele gevallen aan dat er inderdaad iets bijzonders aan de hand zou kunnen zijn geweest in termen van 'moe', 'geïrriteerd' of 'gehaast'. Dit soort inzicht is relevant bij het beantwoorden van de vraag wat er met een ander ontwerp aan te doen was geweest het ongeluk te voorkomen.

Een ander voorbeeld waarin een bij uitstek tijdelijk kenmerk van proefpersonen is meegenomen in een gebruiksonderzoek bieden de hiervoor aangehaalde onderzoeken naar de bediening van knoppen. In deze onderzoeken begon en eindigde elke sessie met metingen van uiteenlopende krachttuioefening door de proefpersoon. Daartussen werden knoppen bediend, waarom het in het onderzoek feitelijk ging. Omdat de voor bediening vereiste kracht regelmatig te boven ging wat proefpersonen konden opbrengen volgens metingen zoals weergegeven in figuur 23.5, was het niet denkbeeldig dat het onderzoek de proefpersonen zou uitputten. Uit de krachtmetingen aan het begin en het eind zou dit moeten zijn af te leiden. Als er zo'n effect was zou het meeste verloop waarschijnlijk optreden bij proefpersonen met een relatief slechte dag, en het minste bij proefpersonen in relatief goeden doen; van mensen met aandoeningen is bekend dat hun welbevinden nogal kan wisselen met de dag. Overigens kon geen van de genoemde mogelijke effecten in het onderzoek worden aangetoond.

23.5.5 Samenhang omgevingskenmerken gebruiksactiviteiten (5.5 in figuur 23.1)

De tot dusver gegeven voorbeelden van gebruiksonderzoeken betreffen meestal studies in gesimuleerde omstandigheden, zie de figuren 22.2, 22.4, 22.6, 22.7, 22.9, 22.10 (= 23.2 = 23.3 = 23.7), 22.11, 23.6, 23.8, 23.10 en 23.11 (beide laatste figuren staan verderop). Alleen waar deze omstandigheden systematisch zijn veranderd kun je iets leren over samenhang met gebruiksacties. Dit doet zich voor in twee gevallen:

- het gebruik van de wekkerradio onder twee lichtsterktes (bijna donker en pikdonker) in de nagebouwde slaapkamer (figuur 22.2)
- het elektrisch ontkurken van flessen op twee werkhogten (figuur 23.11).

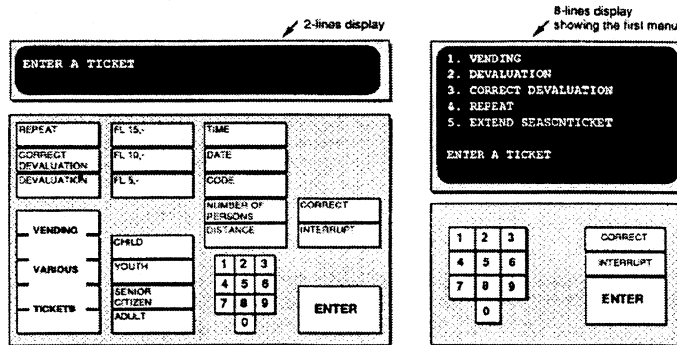
In geen van beide gevallen viel enige verandering te bespeuren in de onder verschillende condities uitgevoerde gebruikshandelingen van de proefpersonen. In de studies ter plekke - het stofzuiger onderzoek (o.a. figuur 22.3 = 22.12) en de bediening van knoppen (o.a. figuur 22.5 = 23.5) - is er geen sprake van gecontroleerde omstandigheden die systematisch zijn gevarieerd. Uitspraken over samenhang tussen omgevingskenmerken en gebruiksacties berusten dan op plausibiliteit, zoals dat het bukken van een 2.20 m lang persoon te maken heeft met een voor deze persoon te lage deuropening. Belangwekkender wordt het als proefpersonen zelf zeggen te reageren op (verandering van) omgevingskenmerken, bijvoorbeeld bepaalde zaken (gaan) compenseren. Zo geven verscheidene deelnemers in het onderzoek naar ongelukken (Weegels, op.cit.) te kennen dat kenmerken van bewerkt materiaal zoals van kaas of hout, en soms ook obstakels in de omgeving, invloed hadden op hoe ze te werk gingen. Evenzo waren er enkele voormalige slachtoffers die meldden mogelijk mede te hebben gehandeld onder invloed van omstanders. Dergelijke invloeden zijn ook gevonden in onderzoek naar het gebruik van kaartjes- en wisselautomaten in publieke omgevingen.

23.6 Gebruikssimulatie met ontwerpmodellen

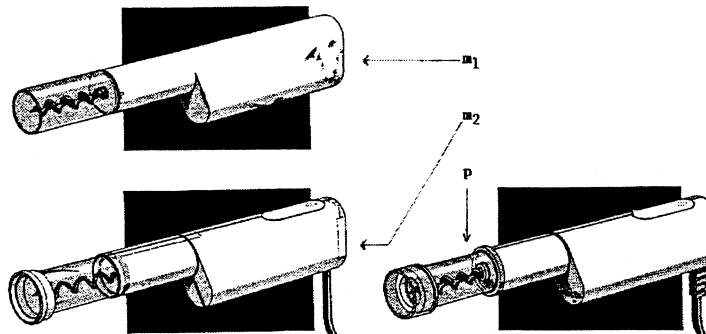
Met ontwerpmodellen worden iconische modellen bedoeld, dat wil zeggen niet abstracte voorstellingen van wat een definitief ontwerp moet worden, zoals tekeningen, figuren op een beeldscherm, dummy's, mock-ups en prototypen (zie hierover verder Roozenburg en Eekels, 1992, p. 226).

In het algemeen worden voorspellingen op basis van een modellenstudie speculatiever naarmate er in het ontwerpmodel waarmee de studie wordt uitgevoerd minder is vastgelegd van wat naderhand het definitieve ontwerp blijkt te zijn. Maar overeenkomst tussen een ontwerpmodel en het corresponderende nieuwe produkt telt niet voor elk kenmerk even zwaar. In een gebruiksonderzoek met een ontwerpmodel om toekomstig gebruik te voorspellen of daarop te anticiperen zal zoveel mogelijk van de uiteindelijke *use cues* in het model moeten zijn verwerkt. Dit betreft *use cues* in produktkenmerken en *use cues* naar voren komend tijdens het functioneren van het gerealiseerde ontwerp. *Use cues* vertellen hierbij niet het hele gebruiksverhaal. In de praktijk stemmen gebruikers hun doen en laten immers ook af op een beoogde functievervulling (doeltreffendheid, sideput) en een gevergdde inspanning. De gegeven voorbeelden hebben al laten zien dat wat ontwerpers als een *use cue* beschouwen dit niet die betekenis hoeft te hebben voor gebruikers; bovendien kan een *use cue* verschillend worden ugelegd. In een ontwerpproces is zicht op mogelijk toekomstig gebruik gewenst voordat allerlei moeilijk terug te draaien beslissingen zijn genomen. Voor dit zicht is in de regel een functionerend ontwerpmodel noodzakelijk. Maar de beschikbaarheid van zo'n functionerend ontwerpmodel impliceert vaak dat aan verstreckende beslissingen nou juist niet valt te ontkomen.

Met dit dilemma lijkt makkelijker te leven door ontwerpers van software met een voornamelijk cognitief geïntereerde interactie dan door ontwerpers van produkten waarvan het gebruik mede afhangt van fysieke factoren. In de figuren 23.10 en 23.11 zijn voorbeelden gegeven die dit illustreren. In het schema van Marinissen (figuur 21.1) zitten de modellen van de kaartjesverkoop machine (figuur 23.10) op het niveau van functionerende prototypen. De kurketrekker modellen (figuur 23.11) zijn 'early models', vooral het schuimmodel.



Figuur 23.10 Beide weergegeven displays en toetsenborden zijn ontwerpmodellen voor een kaartjesverkoop apparaat in de bus door de chauffeur. Het linker ontwerp is gebaseerd op functietoetsen waarvoor veel ruimte nodig is, het rechter ontwerp op menu selectie met een hiërarchische structuur. Deze functionerende modellen zijn gemaakt met een 'software tool' (Dan Bricklin's Demo II). In de gebruikssimulatie door 8 chauffeurs was de ruimtelijke indeling gelijk aan die in een bus. Een 'passagier' bestelde een rij kaartjes. Iedere chauffeur gebruikte elk model twee keer, de tweede keer onder tijdsdruk. Geregistreerd werden aantal en soort fouten, en de snelheid van werken. Het linker model, met functietoetsen, voldeed het best. Bij beide modellen bleek de feedback, over input en gemaakte fouten, een probleem, evenals de feedback over de default instelling (Wendel, 1990).



Figuur 23.11 De elektrische kurketrekker en twee daarvan afgeleide modellen (zie Kanis 1988). De modellen zijn in retrospectief als levensecht - dat wil zeggen redelijkerwijs passend als ontwerpmodellen in een ontwerpproces - ontwikkeld op aanwijzingen van een groep ontwerpers. Het product p is met 0.4 kg bijna 10 x zo zwaar als elk van beide ontwerpmodellen m_1 en m_2 . Hoe de niet- of gedeeltelijk functionerende modellen worden gemanipuleerd blijkt weinig zeggingskracht te hebben voor de wijze waarop het corresponderende, wel functionerende product daadwerkelijk wordt gebruikt. Een belangrijke reden hiervoor lijkt te zijn dat in dit geval bij de manipulatie van een model geen kracht hoefde te worden uitgeoefend om te voorkomen dat de fles gaat meedraaien. Vorm/uiterslijk is in dit geval dus weinig zeggend voor het hoe van het daadwerkelijk gebruik. Legenda:

- p : de echte kurketrekker, met snoer, schakelaar voorzien van rode stip, etc., zoals deze model heeft bestaan voor de 'retrospectieve' ontwerpmodellen m_1 en m_2 ;
- m_1 : het meest primitieve model (van schuim), zonder snoer, zonder grafiek, met alleen de meest elementaire vormovergangen;
- m_2 : model van papier voorzien van snoer, grafiek (opgetekende schakelaar, lasnaden).

Begrippen

Intra-individuele variatie

Interindividuele variatie

Gebruikspatronen

(In)variantie van functieervulling

Gebruikssimulatie

Ontwerpmodellen

Funktioneren van produkten

technisch/fysisch

doeltreffendheid (primaire output)

bijkomende output (sideput)

inspanning, moeite (input)

gebruiksfunktionaliteit

produktenmerken

Gebruiksactiviteiten

gebruikshandelingen

perceptie

cognitie

Gebruikerskenmerken

sensorisch

mentaal

fysiek

tijdelijke condities

Use cues

Omgevingskenmerken

Literatuur

Daams, B., 1988.

Afstudeerverslag. Faculteit Industrieel Ontwerpen, TU-Delft.

Gelderblom, G.J., and Christiaans H.C.C.M., 1991.

Mental models and operating consumer products. In: *Proceedings of the 12th Congress of the International Ergonomics Association*, 613-615. Taylor & Francis, London.

Grönqvist, 1993.

Kanis, H., 1988.

Industrial design of consumer products for future users. In: *Proceedings of the 11th Congress of the International Ergonomics Association*, 87-89. Taylor & Francis, London.

Kanis, H., 1990.

Why Users' Trials. IOCU Seminar: *Users' Trials in Comparative Testing*. IOCU, Den Haag.

Kanis, H., 1994.

On validation. In: *Proceedings of the Human Factors Society 38th Annual Meeting*, 515-519. Santa Monica, CA, USA.

Kanis, H. en Van Hees, L.W., 1995.

Manipulation of push buttons and rotary controls. In: *Proceedings of the Human Factors Society 39th Annual Meeting*, 374-378, Santa Monica, CA, USA.

Roozenburg, N.F.M. en Eekels, J., 1991.

Produktontwerpen; Structuur en Methoden. Lemma, Utrecht.

Thomas, J.R. and Nelson, J.K., 1990

Research Methods in Physical Activity. Human Kinetics Books, London.

Vermeeren, A.P.O.S., 1993.

Evaluation of human-computer interfaces early in the design process. In van der Veer, White and Arnold (eds): *Interacting with computers preparing for the nineties*. Stichting Informatica Congressen.

Weegels, M.F., 1992.

Accidents with consumer products. In: *Proceedings of the Human Factors Society 36th Annual Meeting*, 1024-1028. Santa Monica, CA, USA.

Weegels, M.F., 1996.

Accidents involving consumer products. Proefschrift. Faculteit Industrieel Ontwerpen, TU Delft.

Wendel, I.E.M., 1990.

Function keys or numeric codes: the human interface of a ticket vending machine. *Contemporary Ergonomics*, 334-339. Taylor & Francis, London.

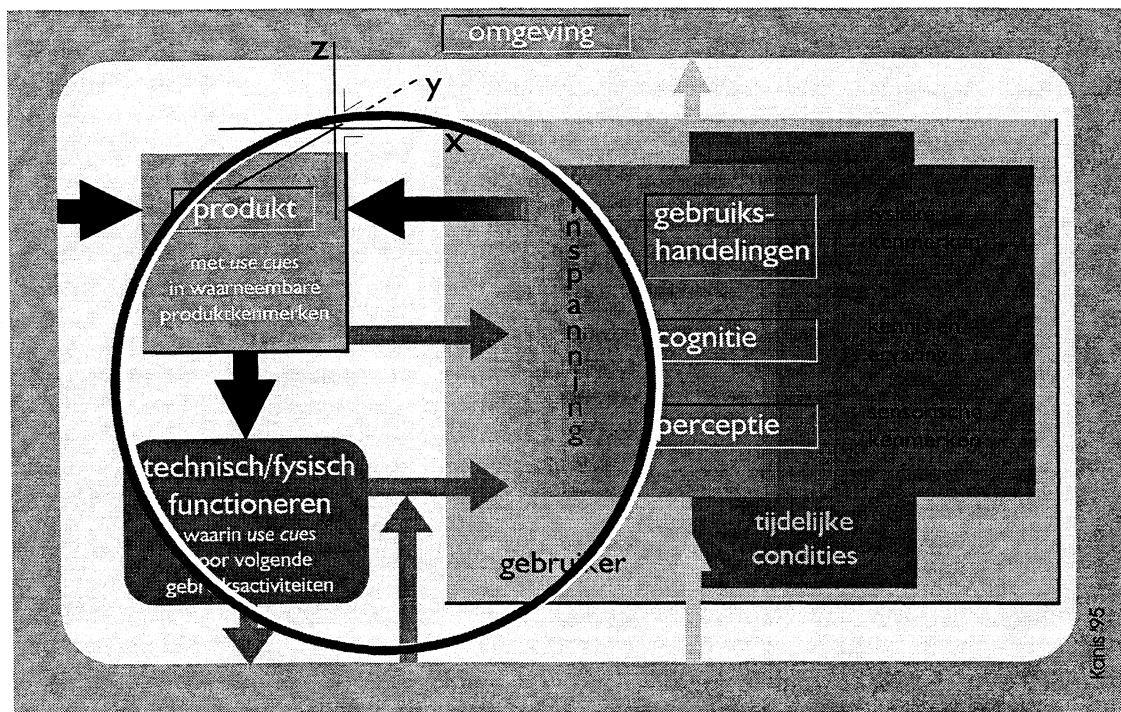
24 Een gebruiksonderzoek doen

Samenvatting

Figuur 24.1 geeft nog eens het schema uit figuur 22.16, met de nadruk op die onderdelen waarover bij het ontwerpen van een produkt al snel vragen rijzen zoals:

- zou een bepaalde *use cue* wel worden opgemerkt;
- zou deze dan ook begrepen worden;
- hoe zouden gebruikers vervolgens te werk kunnen gaan, hoeveel moeite gaat het hun kosten een produkt te laten functioneren;
- zal het produkt in de praktijk bij uiteenlopende gebruikswijzen nog steeds voldoen aan de eisen in het PvE.

In dit hoofdstuk wordt bekeken hoe je dit soort vragen kunt proberen te beantwoorden door een gebruiksonderzoek te doen. De aanpak van zo'n onderzoek wordt bekeken door algemeen in onderzoek gangbare benaderingen toe te spitsen op het gebruiksonderzoek. In de loop van dit hoofdstuk wordt het begrip validiteit uitgelegd dat bij het doen van onderzoek op allerlei momenten een belangrijke rol kan spelen. De behandeling van het doen van onderzoek wordt bijgehouden aan de hand van een schema dat stukje bij beetje wordt uitgebreid. Dit schema geeft weer in welke volgorde onderwerpen in dit hoofdstuk worden behandeld. Het is geen algemene leidraad voor het doen van onderzoek. Over de vraag hoe 'je' onderzoek doet bestaan uiteenlopende opvattingen. Ook gebruiksonderzoek is geen kwestie van Meten en Persen.



Figuur 24.1 Aandachtsgebied voor gebruiksonderzoek in een ontwerpproces.

24.1 Onderzoeksdoel

In elk onderzoek is er - als het goed is - een onderzoeksdoel. Het bereiken van dit doel, dat als regel is geformuleerd in algemene termen, is nuttig uit maatschappelijke en/of wetenschappelijke overwegingen, zie hoofdstuk 21. In dit hoofdstuk dient de

uitvoering van een gebruiksonderzoek bij te dragen aan het tot een goed einde brengen van een ontwerpopdracht. Een voor de hand liggend onderzoeksdoel van een gebruiksonderzoek is zodoende om inzicht te krijgen in het doen en laten van mensen in de weer met een artefact, en zulks in samenhang met het functioneren van dat artefact - als regel is het ontwerp-ideaal immers een grote doeltreffendheid en kleine 'sideput' tegen weinig inspanning van gebruikers (zie de figuren 22.1 en 22.16). In dit hoofdstuk worden artefacten onderscheiden naar twee soorten:

- ▲ het kan een bestaand produkt zijn dat moet worden herontworpen - aan geobserveerde/geïdentificeerde gebruiksactiviteiten zullen dan eisen moeten worden ontleend voor het functioneren van het herontwerp;
- ▲▲ het kan ook een vroeg model zijn in een ontwerpproces of een al gedeeltelijk werkend prototype (vgl. figuur 21.1) - bij dan optredende gebruiksactiviteiten is aan de orde of nog steeds aan eisen uit het PvE wordt voldaan, zouden deze gebruiksactiviteiten ook in werkelijkheid optreden (dit wil zeggen: bij doorgaande (uit)ontwikkeling van het model/prototype, zonder dat daar veranderingen in worden aangebracht, bijvoorbeeld juist naar aanleiding van het uitgevoerde gebruiksonderzoek).

Het aldus omschreven onderzoeksdoel betreft het 'waarom' je iets gaat onderzoeken. Dit 'waarom' is iets anders dan wat je precies aan de weet wilt komen. Voor dit laatste dienen onderzoeksvragen te worden opgesteld. Maar onderzoeksvragen komen nooit uit de lucht vallen: ze verraden een bepaalde kijk. Deze kijk is in het algemeen ontleend aan min of meer theoretische uitgangspunten die in grote lijnen te berde zijn gebracht in het onderzoeksdoel. In gebruiksonderzoek is zo'n uitgangspunt de nauwe samenhang tussen enerzijds het functioneren van produkten - in doeltreffendheid, 'sideput' en geverge inspanning, en anderzijds het daadwerkelijk gebruik door mensen. Vaak heeft een onderzoeker ook meer toegespitste ideeën over wat het geval is inzake hetgeen wordt onderzocht. We hebben het dan over vooronderstellingen.



24.2 Vooronderstellingen

Elk onderzoek is doordeesemd met vooronderstellingen, hoe verstopt of vanzelfsprekend uitgangspunten vaak ook zijn of lijken. Vooronderstellingen liggen ten grondslag aan geformuleerde onderzoeksvragen, en komen daarnaast ook naar voren in bijvoorbeeld een gekozen opzet (zie verderop). Wie blanco denkt te kijken, als ware de geest een "tabula rasa", zou niets zien.

Een voorbeeld:

Naar aanleiding van de ontvoering van Heijn enkele jaren geleden luidde de toenmalige minister van justitie de noodklok over Nederland als vrijplaats voor het internationaal vertakte gangsterdom. Dat had immers, zoals ieder op z'n vingers kon natellen, de hand had in deze ontvoering. Onderzoek in die (?) richting leverde echter niets op. Het was uiteindelijk te danken aan de oplettendheid van twee plaatselijke koddebeiers, zoals een columnist schreef, dat de solitair opererende ontvoerder -en moordenaar- kon worden gepakt nadat deze betaald had met het gemerkte losgeld.

Vooronderstellingen die ten grondslag liggen aan onderzoeksvragen dienen geëxpliciteerd te worden voordat een onderzoek wordt uitgevoerd - achteraf valt overal

een mouw aan te passen.

Een vooronderstelling van algemene aard kwam hiervoor al ter prake als het uitgangspunt dat wat en hoe mensen doen in produktgebruik belangrijke consequenties kan hebben in termen van doeltreffendheid etc. Anders gezegd: het doen en laten van gebruikers kan belangrijke inzichten opleveren in het optreden van allerlei problemen waarbij ontworpen functionaliteiten in het gebruik niet uit de verf komen. Dit oogmerk vormt doorgaans een belangrijk uitgangspunt in gebruiksonderzoek met een produkt dat moet worden herontworpen, zie geval ▲ hiervoor. Vooropgezette ideeën kunnen hierbij ook explicieter zijn geformuleerd, zoals de vooronderstelling dat gebruiksproblemen vooral zullen optreden bij mensen met bepaalde fysieke kenmerken, bijvoorbeeld minder sterk of motorische beperkingen. Evenzo kan er aanleiding zijn te veronderstellen dat hierbij het soort ervaring een rol speelt.

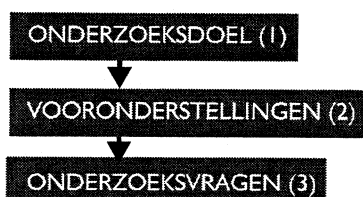
In het geval dat een bestaand produkt moet worden herontworpen (▲) is dit produkt vaak van onbekende herkomst, en valt slechts te vermoeden welke de overwegingen van de oorspronkelijke ontwerper(s) zijn geweest inzake het voorziene gebruik. Hier verkeert de ontwerper die een eigen model of prototype (geval ▲▲ hiervoor) onderwerpt aan een gebruiksonderzoek in een betere positie. Nemen we voor alle duidelijkheid het ontwerpen van een produkt om met de handen te worden beetgepakt en bediend. Dit produkt valt niet te ontwerpen los van enig idee over hoe dit manipuleren in z'n werk zal gaan. In de vorige hoofdstukken is gedemonstreerd dat mensen bij gebruiksprodukten vaak aanzienlijke vrijheid hebben het gebruik naar eigen keuze in te richten. Gegeven deze vrijheid, kunnen ontwerpers proberen het gebruik een beoogde richting te geven, dan wel op verwacht gebruik te anticiperen, door middel van allerhande *use cues*, zie hoofdstuk 22. In feite behelzen dergelijke *use cues* stuk voor stuk vooronderstellingen in termen van perceptie, cognitie en uitgevoerde handelingen: waarom zou een en ander tot een door de ontwerper(s) gewenst gebruik leiden? Antwoorden op dit soort vragen dienen als vooronderstellingen uit de doeken gedaan door de betrokken ontwerpers.

Let op: uit te schrijven vooronderstellingen betreffen dus altijd ook het *waarom* van gebruiksactiviteiten, zoals in het laatste geval via *use cues* beoogd of geanticipeerd in het ontwerp. Explicitering van vooronderstellingen gaat daarmee veel verder dan een kale opsomming van wat gebruikers naar verwachting zullen waarnemen, denken en doen. Aan zo'n platte opsomming van voorspellingen op zich, dus zonder enige ratio, bestaat geen enkele behoefte, want daar doe je nou juist het gebruiksonderzoek voor.

Ter illustratie van een en ander nog het volgende voorbeeld.

Stel resultaten uit eerder onderzoek en/of meer theoretische inzichten zijn aanleiding te veronderstellen dat er een relatie zou kunnen zijn tussen enerzijds het hebben van ervaring in het gebruik van bepaalde bestaande produkten en anderzijds gebruikshandelingen met een functionerend nieuw ontwerp voor dat produkt (vgl. het koffiemelkkuipjes-onderzoek). Zo gesteld is deze vooronderstelling nog nauwelijks gespecificeerd. De uitspraak dat het gebruik van het nieuwe ontwerp minder problemen oplevert naarmate gebruikers minder ervaring hebben met het oude produkt gaat al verder: er zit duidelijk een vooronderstelling achter. Nog verder gaat te voorspellen dat voor het bedoelde effect een gebruiksfrequentie van 1 keer per maand kritisch is. Goed toetsbaar, zo'n voorspelling, maar waarop gebaseerd? Als op deze vraag geen antwoord kan worden gegeven heeft zo'n voorspelling niet meer om het lijf

dan duimzuigerij, waarmee een onderzoek in de regel een geheel verkeerde richting krijgt. Kortom, voor elke vooronderstelling, die op zich heel wel riskant mag zijn, dienen redelijke argumenten aangevoerd. Dit wil zeggen: verwijzingen naar bestaande theorieën voorzover beschikbaar, naar gepubliceerd onderzoek, naar anderszins gedocumenteerde evidentie, eventueel naar eigen ervaring als deze maar aantrekbaar is.



24.3 Onderzoeksvragen

Onderzoeksvragen zijn te formuleren als zinnen met een vraagteken erachter, vgl. Kuiper, 1982. In deze vragen dienen alle hiervoor geëxpliciteerde vooronderstellingen aan de orde gesteld. Aldus dient de beantwoording van deze vragen door onderzoek te doen bij te dragen aan het te bereiken onderzoeksdoel.

Gaat het om een functionerend prototype of een bestaand produkt dat moet worden herontworpen, dan zullen in onderzoeksvragen voor een gebruiksonderzoek al gauw de begrippen aan de orde komen genoemd in figuur 24.2. Deze figuur vloeit rechtstreeks voort uit de figuren 22.1 en 22.16 (zie begin en eind van hoofdstuk 22).

het optreden van functionele ongewenstheden	<ul style="list-style-type: none"> - afbreuk aan doeltreffendheid - (extra) bijkomende output (meestal negatief) - met gebruik gemoeide inspanning, lichamelijk/mentaal
doen en laten van gebruikers	<ul style="list-style-type: none"> - vertoonde gebruikshandelingen - gekozen gebruiksomstandigheden
kenmerken van gebruikers	<ul style="list-style-type: none"> - sensorische capaciteiten - kennis, ervaring, risicoperceptie - fysieke mogelijkheden en beperkingen - tijdelijke condities zoals gehaast zijn

Figuur 24.2 Kenmerkende begrippen in een gebruiksonderzoek van een functionerend prototype of van een bestaand produkt dat moet worden herontworpen.

Afhankelijk van wat je precies aan de weet wilt komen zien onderzoeksvragen er dan bijvoorbeeld als volgt uit:

- Wat doen en laten mensen precies in het daadwerkelijk gebruik?
- Welke problemen treden daarbij op wat betreft het functioneren van het te herontwerpen produkt?
- Hoeveel inspanning kost het gebruik, in tijd, in pogingen, in mentale of fysieke inspanning?
- Bestaat er verschil in de problemen die gebruikers tegenkomen afhankelijk van verschil in het soort ervaring dat ze hebben?

Daarnaast kunnen onderzoeksvragen ook gaan over vermoede *use cues* door gebruikers te ontlenen aan produktkenmerken of te ervaren tijdens het functioneren van het produkt. Het aan de orde stellen van *use cues* is geboden als door de ontwerper(s) een eigen model of prototype aan een gebruiksonderzoek wordt

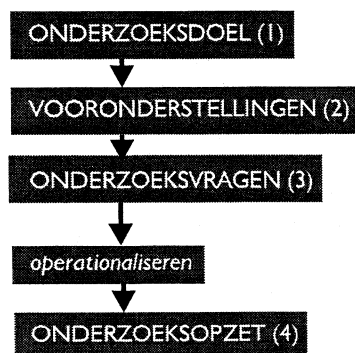
onderworpen (vergelijk vorige paragraaf). Ter aanvulling op de hiervoor geopperde onderzoeksvragen gaat het dan om vragen als:

- nemen proefpersonen ontworpen *use cues* waar, interpreteren ze deze zoals bedoeld en wat doen ze dan daadwerkelijk?
- ontwaren proefpersonen misschien *use cues* in produktenmerken of in functionele aspecten waarop in het ontwerp helemaal niet was gerekend?

Aldus dienen in een onderzoek enerzijds de uitgangspunten/ vooronderstellingen, zoals genoemd in §24.2, en anderzijds de onderzoeksvragen in ruime zin een sluitend geheel te vormen: een 'loslopende' vooronderstelling, dwz. niet terugkomend in een onderzoeksvraag, kan niet, evenmin als een onderzoeksvraag die niet is te relateren aan een gemaakte vooronderstelling of aan het meer algemene uitgangspunt van het onderzoek zoals dit omschreven is in het onderzoeksdoel.

Om een gebruiksonderzoek uitvoerbaar te houden is het zaak het aantal in ogenschouw te nemen vooronderstellingen te beperken, en daarmee dus ook het aantal onderzoeksvragen. Vaak gaat dit grotendeels vanzelf bij strikte toepassing van de regel dat elke vooronderstelling een redelijke onderbouwing vereist, in termen van het 'waarom'.

In onderzoeksvragen gebezigde begrippen dienen onderzoekbaar te zijn. Dit betreft in gebruiksonderzoek dus de termen als genoemd in figuur 24.2. Anders gezegd: zaken moeten worden *operationaliseerd*.



24.4 Van onderzoeksvragen naar onderzoeksopzet

Om daadwerkelijk te kunnen onderzoeken moet je de begrippen uit de onderzoeksvragen dus vertalen naar een praktisch uitvoerbare onderzoeksopzet, oftewel operationaliseren. Dit betekent dat deze begrippen moeten worden omgezet in onderzoeksomstandigheden, en dat moet worden vastgesteld wat op welke wijze moet worden geïnventariseerd/gemeten. In gebruiksonderzoek gaat het dan om beslissingen als:

- de keuze van gebruiksomstandigheden, bijv. bij mensen thuis meten of gesimuleerd in een laboratorium en wat er dan van deze gebruiksomstandigheden moet worden vastgelegd en gemeten;
- welke taak proefpersonen gevraagd wordt uit te voeren, en hoe/wat daarvan te beschrijven, te registreren;
- welke aspecten van functioneren worden gemeten en hoe, dit is sterk produktafhankelijk;
- hoe fysieke inspanning wordt gemeten, bijvoorbeeld met hartslagmetingen, door lichaamshoudingen te registreren, door handelingen te tellen en/of door proefpersonen daarover te ondervragen;

- hoe zicht te krijgen op wat mensen hebben waargenomen en op mentale inspanning, bijvoorbeeld in aantal pogingen/fouten, in denktijd, inclusief uitspraken van proefpersonen daarover.

Zijn onderzoeksvragen verder gespecificeerd, bijvoorbeeld naar mogelijke samenhang tussen kenmerken van gebruikers en hun doen en laten, dan kan het bij operationalisering gaan om zaken als:

- het vaststellen van sensorische capaciteiten zoals met oogmetingen;
- meting van mentale en geheugenkenmerken zoals kennis en het soort ervaring, en ook hoe recent deze is (verderop meer over hoe ingewikkeld een en ander kan zijn);
- meting van antropometrische kenmerken zoals (hand)afmetingen, verder meting van op allerlei wijzen uitgeoefende krachten en eventueel psychomotorische vaardigheden.

Meestal betekent operationaliseren het toespitsen van een begrip in bepaalde meetbare grootheden, met veronachtzaming van andere aspecten die er ook aan zijn te onderkennen, denk aan een ruim begrip als bruikbaarheid. Maar operationaliseren hoeft niet altijd reductie te betekenen, vergelijk het vinden van een antwoord op de vraag hoe de lengteverdeling er uit ziet van in Nederland wonende vrouwen.

Operationaliseren vindt altijd plaats in het kader van een methodische aanpak. Staan we daarom eerst kort stil bij de belangrijkste vormen van onderzoek. Voor het goede begrip: in deze bespreking duiken opnieuw vooronderstellingen op. Deze zijn hier echter van methodische aard, en komen wat betreft de mogelijke effecten ervan op onderzoeksresultaten aan de orde bij het verderop te bespreken begrip validiteit. Alleen als het uitzoeken van methodische zaken het onderzoeksdoel betreft dienen onderzoeksvragen te gaan over dergelijke methodische vooronderstellingen; bij het in dit hoofdstuk te bespreken gebruiksonderzoek is dit niet het geval.



24.4.1 Hypothese-toetsing en andere vormen van onderzoek

Onderzoeksvragen impliceren dus een bepaalde kijk. Het duidelijkst komt dit naar voren in zogenaamd *hypothese-toetsend onderzoek*. Dit is onderzoek waarin door controle en manipulatie van onderzoekscondities een hypothese wordt getoetst en daarmee een theorie op de onderzoekspijpbank wordt gelegd. Onder hypothese wordt

hier verstaan een uitspraak/bewering op basis van een bepaalde theorie, dat wil zeggen daaruit navolgbaar afgeleid. Onderzoeksvragen berusten in zo'n geval dus zonneklaar op theoretische uitgangspunten, waarvoor overigens op ruime schaal empirische evidentie beschikbaar kan zijn.

Hypothese-toetsing is een type onderzoek waarop in studieboeken vaak wordt teruggevallen, vgl. De Groot in zijn leerboek *Onderzoeksmethodologie* (1960, onlangs opnieuw uitgegeven). Maar hypothese-toetsing is lang niet de enig voorkomende vorm van onderzoek. Juist op het terrein van de mens-product interactie, waar nog niet of nauwelijks meeromvattende theorieën beschikbaar zijn, is het empirische onderzoek voor een belangrijk deel verkennend, exploratief van aard, ook wel *hypothese-genererend* onderzoek genoemd.

Hèt grote verschil met hypothese-toetsend onderzoek zit 'm praktisch gezien in het gebrek aan controle over onderzoeksomstandigheden. Inhoudelijk gaat het in exploratief onderzoek om het ontdekken van (de afwezigheid van) samenhang tussen verschijnselen, dit als aanwijzing voor het bestaan van 'achter-', 'onder-', 'dieperliggende', d.w.z. meer theoretische verbanden.

Overigens zit in zowel hypothese-toetsend als in hypothese-genererend onderzoek altijd een beschrijvende component, bijvoorbeeld kenmerken van proefpersonen, idem van proefomstandigheden voorzover niet vastgelegd in een onderzoeksopzet. Soms is beschrijving van verschijnselen - bijvoorbeeld zoveel van dít en zoveel van dat - praktisch het enige oogmerk in een onderzoek. Deze variant wordt wel *descriptief* (of beschrijvend) onderzoek genoemd.

Zeker op het terrein van de mens-product interactie vertoont onderzoek in veel gevallen kenmerken van twee, of van alle drie onderscheiden typen onderzoek. Wezenlijker dan in dit opzicht een etiket op te plakken is dat uit geen onderzoek, van welke signatuur ook, vooronderstellingen zijn weg te denken. Maar, wordt wel eens gezegd, in beschrijvend onderzoek is het toch niet anders dan een kwestie van gewoon kijken wat er gebeurt, hoe dingen in elkaar zitten, d.w.z. onbevooroordeeld data voor zich laten spreken? Onzin, zoals al eerder aangegeven is de gedachte dat er blanco zou zijn waar te nemen naïef en misleidend, evenals het idee dat data voor zich zouden spreken. Een paar voorbeelden.

24.4.2 Descriptief onderzoek

Verkiezingsenquêtes zijn een voorbeeld van beschrijvend onderzoek. Het gaat hierbij niet om theorievorming, maar enkel om de politieke voorkeur van de kiezers op een bepaald moment te peilen en (vlak) voor de verkiezingen op basis van zo'n peiling de uitslag te voorspellen. Laten we de steekproeftrekking verder voor wat deze is en beperken we ons tot de wijze waarop politieke voorkeur wordt vastgesteld. Meestal gebeurt dit door daarnaar te vragen, soms per telefoon. Dit is minder vanzelfsprekend dan het lijkt. Geïnterviewden hadden immers ook een namaak-verkiezingsformulier onder de neus geduwd kunnen krijgen, in te vullen met het bekende rode potlood. Nog levensechter zou het zijn mensen daarbij te laten plaatsnemen in een nep-verkiezingshokje. Waar het hier om gaat is dat de uiteindelijke inrichting van het onderzoek het belang verraadt dat wordt gehecht aan overwegingen zoals hiervoor genoemd. Gemaakte keuzes in een onderzoeksopzet verwijzen naar even zovele uitgangspunten en vooronderstellingen. In feite de belangrijkste vooronderstelling hierbij betreft de kwestie in hoeverre politieke voorkeur eigenlijk te meten is via antwoorden op vragen.

Een aardige anekdote in dit verband komt uit Engeland, het land van de polls. Bij verkiezingen over de laatste decennia zitten enquête-bureaus er regelmatig (ver) naast

met hun voorspellingen. Ter verklaring heet het dan dat tussen de laatste peiling en de verkiezingen zelf grote groepen kiezers plotseling hun voorkeur zouden hebben veranderd. Maar in Birmingham woont een banketbakker die al jarenlang de uitslag juist zou voorspellen. Hij doet dit aan de hand van de verkoop van muffins. In verkiezingstijd verpakt hij de muffins in wikkels van één van de volgende kleuren: blauw (de kleur van de Conservatives), rood (Labour) en geel (Liberal Democrats). De verkiezingsuitslag wordt voorspeld op basis van de verkochte aantallen van elke kleur. Als dit verhaal, dat regelmatig de pers heeft gehaald, klopt zou je kunnen zeggen dat het desgevraagd produceren van uitlatingen in taal kennelijk vrijblijvender is dan de keuze van wat 'door de strot' moet. In dit verband wordt wel gesproken van meting van 'vragenlijstgedrag'. Dit soort 'gedrag' hoeft dus niet overeen te komen met het werkelijke gedrag in de praktijk. Anders gezegd: de taligheid van de werkelijkheid is beperkt. Het probleem dat hier wordt aangestipt heeft zoals gezegd te maken met het begrip *validiteit*, zie verderop.

De moraal van deze paragraaf: hoe beschrijvend van aard een onderzoek ook is, in elke onderzoeksopzet zitten tal van vooronderstellingen, hoe verstoep en impliciet dan ook. Bekijken we dit nog nader voor enkele gebruiksonderzoeken als voorbeelden van voornamelijk exploratieve studies.

24.4.3 Exploratief onderzoek

Tot dusver aangehaalde gebruiksonderzoeken vonden zowel bij mensen thuis plaats ('in het veld') als in een laboratorium, zie de voorbeelden in beide vorige hoofdstukken. In het algemeen is in veldonderzoek het descriptieve aandeel groter dan in laboratoriumonderzoek waarin praktijkomstandigheden worden gesimuleerd en proefomstandigheden, althans voor een deel, kunnen worden gecontroleerd, vergelijk de observaties onder verschillende condities in het kurketrekkeronderzoek (figuur 23.11) en in het onderzoek met de wekkerradio (figuur 22.2).

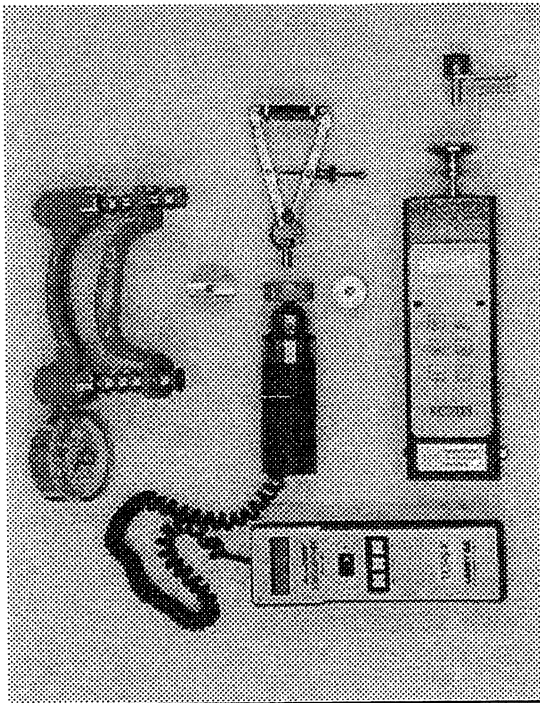
Een voorbeeld van een veldonderzoek

Een veldonderzoek (bij mensen thuis dus) betrof de bediening van knoppen: hoe doen mensen dat, en welke problemen komen hier bij aan het licht in de termen genoemd rechtsboven in figuur 4.2. Zonder dit onderzoek in detail te beschrijven (zie daarvoor Kanis, 1993 (op.cit., hoofdstuk 22), en Schoorlemmer & Kanis, 1992 (op.cit., hoofdstuk 22), passeren hier een aantal uitgangspunten en vooronderstellingen de revue.

Verwacht werd dat door mensen op te brengen krachten een belangrijke rol spelen. Bijna een open deur, ook gelet op de literatuur, maar dat moet er dan ook uitkomen. Zodoende hebben naast mensen zonder lichamelijke storingen ook proefpersonen meegedaan met artritis, een spierziekte, de ziekte van Parkinson (ook met het oog op de motorische problemen) en spasticiteit. Een bekend instrument in de ergonomie om krachtoefening te meten is de handdynamometer, zie figuur 24.3 midden boven. Maar omdat het bij de bediening van knoppen vooral gaat om krachtoefening met de vingers in plaats van met de volle hand, zijn speciale hulpmiddelen ontwikkeld om druk-, knijp- en draaikrachten te meten, zie ander instrumentarium in figuur 24.3. En inderdaad geeft deze differentiëring in krachtoefening een beter inzicht in de herkomst van bedieningsproblemen dan metingen met de handdynamometer, vergelijk het onderscheid naar relatief slecht kunnen knijpen resp. draaien in figuur 23.9.

Een andere bevinding was dat bij ouder worden de knijpkracht met de volle hand aanzienlijk sneller afneemt dan druk-, knijp- en draaikrachten uitgeoefend met de vingers, mogelijk als gevolg van het al dan niet actief blijven gebruiken van verschillende capaciteiten van de hand.

De tegenhanger van fysieke mogelijkheden en beperkingen van de gebruiker bestaat uit uiterlijk waarneembare kenmerken en functionele kenmerken van de knop: de afmetingen, de vorm, de textuur en de vereiste bedienkracht. Inderdaad, ook weer (letterlijk) voor de hand liggende grootheden om te meten.

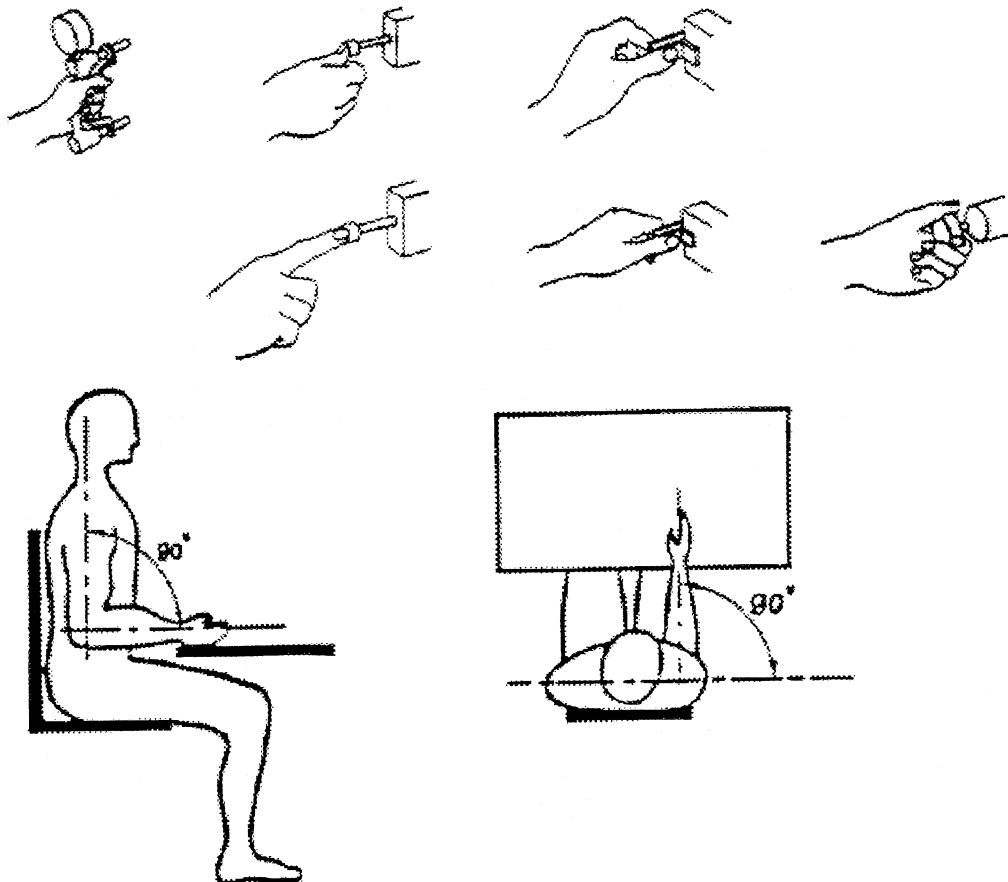


Figuur 24.3 In gebruiksonderzoek ter plaatse gebruikte apparatuur.

Overigens bleek de verwachte samenhang tussen het optreden van bedieningsproblemen en knopkenmerken zich goeddeels te beperken tot de vereiste bedienkracht.

Voor de volledigheid: ook andere vastgelegde grootheden zoals de bedieningshoogte, de oriëntatie van de knop ten opzichte van de gebruiker en eventuele obstakels in de buurt van een knop konden in maar enkele gevallen in verband worden gebracht met bedieningsproblemen.

Een veronderstelling in het onderzoek was dat mensen in een vrije, zelf gekozen lichaamshouding meer kracht zouden kunnen uitoefenen dan in een voorgeschreven, zittende positie, zie figuur 24.4. Daarom is voor beide omstandigheden gemeten - overigens met het onverwachte resultaat dat in een vrije lichaamshouding dooreengenomen niet meer kracht wordt uitgeoefend dan in de standaard houding, gegeven een bepaalde manier van beet hebben van een knop.



Figuur 24.4 Krachtmetingen in het veldwerk, met daaronder de voorgeschreven standaard positie (Schoorlemmer & Kanis, 1992 (op. cit.); Kanis, 1993 (op. cit.)).

Een veronderstelling die gemakkelijk over het hoofd wordt gezien is dat het vastleggen van gebruikshandelingen met video, wat in alle gebruiksonderzoeken is gebeurd, betekent dat geen of minder belang wordt gehecht aan bewegingen die zo snel worden uitgevoerd dat ze niet op video staan vanwege de opnamefrequentie van 25 Hz. Inderdaad, wat vergezocht misschien, en indien nodig ook nog wel deels te ondervangen door tussen video-frames te interpoleren, maar toch.

Een laatste hier te noemen veronderstelling betreft de aanname dat dit soort observaties in het veld laten zien hoe het in de praktijk toe gaat. Maar heeft de aanwezigheid van opname-apparatuur en van toekijkende onderzoekers dan helemaal geen invloed? Dit heeft opnieuw te maken met het begrip validiteit waarover verderop meer.

Een voorbeeld van een onderzoek onder gesimuleerde omstandigheden in het laboratorium

Bezien we vervolgens enkele aspecten van het in het laboratorium uitgevoerde onderzoek met het prototype van een nieuw ontwerp koffiemelkkuipje (zie figuren 22.10, 23.2, 23.3 en 23.7). In dat onderzoek wilden we weten in hoeverre ervaring met bestaande kuipjes van invloed is op het gebruik van het nieuwe kuipje. Een kwestie van ervaring meten dus. Maar hoe gaat dat, en welke ervaring?

Om te beginnen is het plausibel te vragen naar het zelf gebruiken van bestaande kuipjes: welke en hoe vaak. Weliswaar is dit beweerd gedrag maar beter is er niet. Maar zou daarbij ook niet moeten worden gevraagd naar het tijdstip van de laatste keer gebruiken? Voor wie dit een jaar geleden is betekent ervaring wellicht toch wat anders dan voor de deelnemer aan het onderzoek die vlak voor het optreden als proefpersoon nog een kopje koffie met melk heeft gedronken. En wat te zeggen van een kuipje zien gebruiken, bijvoorbeeld door zwart-drinkers in gezelschap of op de film? Het zijn allemaal zaken waarover op basis van bestaande theorieën, bijvoorbeeld over leergedrag, niet of nauwelijks uitspraken zijn te doen, maar waarvoor wel goede overwegingen bestaan daar in gebruiksonderzoek aandacht aan te besteden, juist terwille van meer inzicht. Zodoende liggen aan elke operationalisatie vooronderstellingen ten grondslag.

Een illustratief voorbeeld in dit verband is het begrip 'soortgelijkheid', vaak in termen van 'soortgelijke' producten als indicatie voor mogelijke overeenkomsten in het gebruik. In de ergonomie is het belang van soortgelijkheid even weinig overstreden als de erin schuilgaande vooronderstellingen impliciet. Zo wijst Chapanis (1988) op 'similarity' als krachtig argument bij het generaliseren van onderzoekresultaten naar andere producten en gebruiksomstandigheden. Hij cursiveert het zelfs, '*similarity*', maar uit de tekst van het artikel valt niet op te maken wat Chapanis nu precies voor ogen staat. Wat maakt (om maar eens een praktisch voorbeeld te geven) het gebruik van een kaasschaaf, een kaasrasp en een kaasmesje 'soortgelijk'? Toch niet het produkt zelf, eerder de kaas, althans voor een (klein?) deel.

In het onderzoek naar het gebruik van koffiemelkkuipjes hebben we proefpersonen gevraagd aan welke producten het gebruik van een kuipje herinnert. Opvallender dan het soort genoemde verpakkingen (van jam, stroop, boter, yoghurt, smeerkaas, hagelslag, vlees (in folie)) was dat proefpersonen met geen of weinig ervaring met koffiemelkkuipjes meer voorbeelden gaven dan de rest. Het kan redelijk zijn daarvoor een verklaring te zoeken in het in § 23.5.2 ter sprake gekomen psychologisch begrip fixatie van een gebruiker op de interactie met een bepaald produkt. Deze fixatie beneemt gebruikers dan het zicht op interacties met andere producten als soortgelijk te zien. Gebruikers zonder deze fixatie blijken desgevraagd een ruimere kijk te hebben op soortgelijkheid. Bedenk overigens dat ook andere factoren kunnen meespelen bij de beantwoording van vragen door proefpersonen, zoals fantasie en spraakzaamheid.

Laat duidelijk zijn dat er ook bij de operationalisering van onderzoeksvragen nooit aan te ontkomen is het onderzoek methodisch te enten op allerlei ideeën en vooronderstellingen. Sterker nog, juist door het doen van onderzoek richt je de bevindingen naar de vooronderstellingen die er ingestopt of ingeslopen zijn.



24.5 Uitwerking van de opzet voor een gebruiksonderzoek

Een gebruiksonderzoek draait om gebruikers als proefpersonen. Vragen die in deze § aan de orde komen zijn:

- wie zijn geschikt als proefpersonen,
- hoeveel proefpersonen zijn nodig,
- wat moeten deze doen (taken uitvoeren, vragen beantwoorden);
- welke effecten kan het meedoen aan een gebruiksonderzoek hebben op proefpersonen.

24.5.1 Welke proefpersonen en hoe "representatief"?

Een gebruiksonderzoek hoeft helemaal niet gebaseerd te zijn op een a-selecte groep proefpersonen. Het kan juist aan te bevelen zijn selectief te werk te gaan bij het interesseren van mogelijke deelnemers. Waarop het zin heeft te selecteren, hangt o.a. af van de onderzoeksvragen. Denkbaar is het onderzoek onder andere te richten op mensen met lichamelijke beperkingen (vgl. het knoppenonderzoek waarnaar wordt verwezen in de figuren 22.5, 23.5, 23.7 en 23.9), of op mensen die een bepaald soort ervaring hebben, of juist niet.

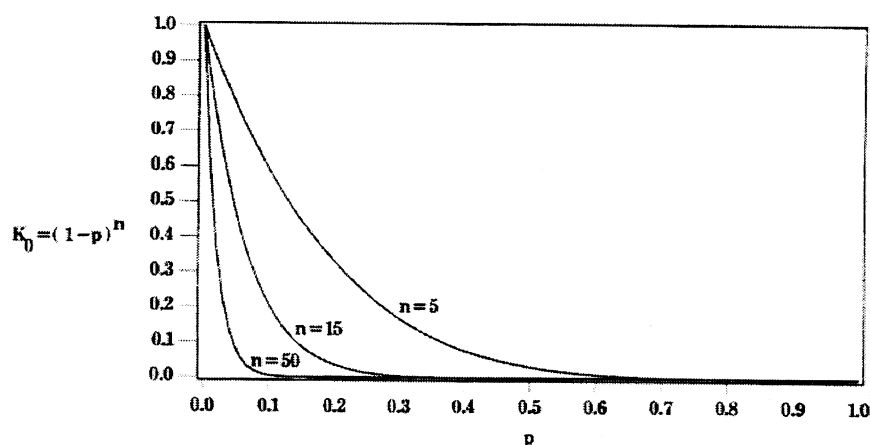
In het algemeen is het zaak in gebruiksonderzoek, zeker als dat plaatsvindt onder een beperkt aantal proefpersonen, te waken voor een te grote homogeniteit in de kenmerken van de deelnemers. Vaak is het verstandig uit voorzorg een zekere heterogeniteit na te streven in de kenmerken van mensen die mogelijk van invloed zijn op het te observeren doen en laten. Als het goed is zijn over die kenmerken dan wel vooronderstellingen geformuleerd. Let er op dat er bij de selectie van proefpersonen niet ongemerkt nieuwe vooronderstellingen binnensluipen. In dit verband nog het volgende over het begrip representativiteit. Regelmatig hoor of lees je dat een groep proefpersonen zuss & zo representatief is. Het meest onnozele gebruik van dit wijdverbreide jargon is als er niet bij wordt gezegd: representatief waarvoor, op welke

kenmerken. Zonder zo'n soort toevoeging is het versiersel 'representatief' een slag in de lucht.

Maar ook als er gespecificeerd is - bijvoorbeeld naar leeftijd, geslacht, lichaamslengte, jaarinkomen, krachtoefening - kan het nog heel goed gaan om een nietszeggende kwalificatie. Want wat voor zin heeft het bijvoorbeeld om te weten of met de antropometrische kenmerken van een selectie proefpersonen een schatting met een bepaald betrouwbaarheidsinterval valt te geven voor die kenmerken van een gehele populatie waaruit die groep afkomstig is, wanneer die antropometrische kenmerken op geen enkele navolgbare wijze zijn gerelateerd met het onderwerp van studie in een gebruiksonderzoek, bijvoorbeeld met het al dan niet optreden van gebruiksproblemen? Het antwoord is: op dat punt helemaal niets. Kenmerken die blijkens de analyse wel verband houden met dergelijke problemen (dit zou bij wijze van voorbeeld de ervaring met een bepaald soort produkt kunnen zijn) hoeven in het geheel niet gecorreleerd te zijn met de eerder genoemde antropometrische kenmerken. Zinnige uitspraken over representativiteit zijn kortom alleen te baseren op de aan- of afwezigheid in een steekproef van kenmerken die *verklarend* (zie § 24.8.3 verderop) zijn voor spreiding in het onderzochte verschijnsel.

24.5.2 Hoeveel proefpersonen

In de meeste voorbeelden uit beide vorige hoofdstukken is het aantal proefpersonen beperkt, in een aantal gevallen zelfs zo klein dat er geen denken is aan statistische hoogstandjes. Impliceert een beperkt aantal proefpersonen nu ook een onttkrachting van wat al dan niet is waargenomen? Bekijk daartoe de figuren 24.5 en 24.6.

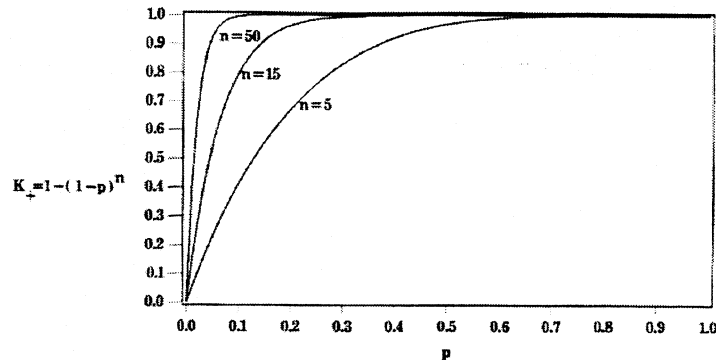


Figuur 24.5 $K_0 = (1-p)^n$: de kans dat iets niet is aangetroffen na n proefpersonen.

In figuur 24.5 staat de kans op een bepaalde gebeurtenis, p , uit tegen de kans K_0 dat die gebeurtenis na n proefpersonen (random getrokken uit een in principe oneindige verzameling gebruikers) niet is waargenomen. Zoals te zien moet de kans p klein zijn of het aantal proefpersonen relatief groot wil er met enige zekerheid iets zijn te zeggen over de waarschijnlijkheid van dingen die niet zijn aangetroffen. Figuur 24.6 laat de andere kant zien: de kans K_+ dat een bepaalde gebeurtenis met kans p minstens één keer is gevonden na n proefpersonen.

Conclusie hier: wat met weinig proefpersonen wordt waargenomen zal zelden heel erg zeldzaam zijn. Met andere woorden: juist het kleine aantal proefpersonen geeft gewicht aan wat wél is waargenomen. En dat is toch wat anders dan de bekende

dooddoener dat het aantal proefpersonen weer eens veel te klein was. Zie voor een illustratie van de uiteenzetting hiervoor figuur 24.7 uit Kanis en Vermeeren (1996).



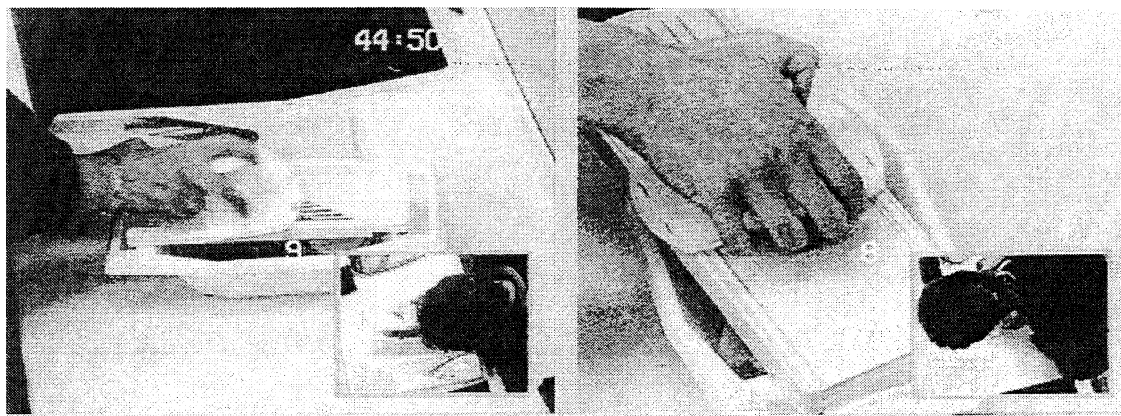
Figuur 24.6 $K_+ = 1 - (1 - p)^n$: de kans dat iets minstens één keer is aangetroffen na n proefpersonen.



Figuur 24.7 De kleine kans dat gevallen aangetroffen in een kleine steekproef zeldzaam zijn.

Een voorbeeld van een concreet geval is te zien in figuur 24.8. De achtste van negen proefpersonen blijkt er een gebruikswijze op na te houden waarvan de betrokken ontwerper(s) misschien de schrik om het hart zou slaan. De kans dat zoiets in een gebruiksonderzoek met $n = 9$ (random getrokken) aan het licht komt bij één proefpersoon is weergegeven in figuur 24.9. Er is dus blijkens deze figuur een redelijk grote kans dat tussen één op de vijf en één op de twintig gebruikers net zo te werk gaat

als proefpersoon 8 in figuur 24.8, wat heel veel is, zeker als het om een gebruikswijze gaat met een gerede kans op ongelukken.



Figuur 24.8 Links houdt proefpersoon 6 het beschermpapje van een groenteschaaf vast zoals de ontwerper(s) dit mogelijk voor ogen heeft gestaan. Dit beschermpapje is er niet voor niets: met dit type groenteschaaf komen regelmatig ongelukken voor, wat te maken kan hebben met de taps toelopende messen waarop je als gebruiker onvoldoende zicht hebt. Aan proefpersoon 8 is de beschermende functie van het papje evenwel niet besteed. Gegevens uit IO89-gebruiksonderzoek (1991) met $n=9$.

Frequentie f van een bepaalde gebruikswijze per 100 gebruikers:	Kans bepaalde gebruikswijze één keer aan te treffen bij negen proefpersonen: $9 \cdot f/100(1-f/100)^8$
1	0.08
2	0.15
5	0.30
10	0.39
20	0.30
30	0.16
50	0.02

Figuur 24.9 De kans op een bepaalde waarneming bij een gegeven steekproefgrootte.

24.5.3 Instructie aan proefpersonen over uit te voeren taken

De bedoeling van een instructie is de deelnemers vòòr de uitvoering van een onderzoek een gemeenschappelijk stukje 'geschiedenis' te geven, zodat deze deelnemers, naast al hun individuele verschillen, op dezelfde golflengte zitten wat betreft de onderzoeks-context. Om zoveel mogelijk vergelijkbare omstandigheden te creëren voor de deelnemers is het raadzaam de instructie schriftelijk vast te leggen. Wat betreft de inhoud en uitvoering van de instructie, moet er altijd rekening mee worden gehouden dat, als mensen weten dat ze meedoen aan onderzoek, dit de 'werkelijkheid' die proefpersonen presenteren - in 'woord en gebaar' - meer of minder kan vertekenen. In de literatuur wordt dit het Hawthorne-effect genoemd, naar de beschrijver ervan. In feite draait het hier weer om *validiteit*. De bedoelde vertekening kan soms worden tegen gegaan door in een slimme onderzoeksofzet de aandacht van de deelnemers op iets anders te richten dan waar het in het onderzoek nou net om gaat, met als resultaat dat geobserveerde handelingen 'levensechter' kunnen zijn. Zo

werd alle deelnemers aan het koffiemelkkuipjesonderzoek direct na binnenkomst een kopje koffie aangeboden. Van wie dit wilde met melk werd zo het gebruik van het nieuwe kuipje op video vastgelegd zonder dat er al iets over het onderzoek was meegedeeld. Dit is een vorm van 'unobtrusive observation' zoals dat in het vakjargon heet. De observatie zou nog minder 'obtrusive' zijn geweest als proefpersonen ook helemaal geen camera's hadden gezien. Bij 'obtrusive observation' weten proefpersonen redelijkerwijs om welke activiteiten, die van hen worden gevraagd, het in het onderzoek gaat.

Een ander voorbeeld van 'unobtrusive observation' is het gebruiksonderzoek naar de elektrische tandenborstel, zie figuur 22.7. De proefpersonen wisten niet dat het om het opzetten van het borstelstuk ging, evenmin als om de werking van het knikmechanisme. Ze werden in de waan gelaten dat het om het tanden poetsen zelf ging. Bovendien stonden ze te poetsen voor een half doorlatende spiegel waarachter een camera, die ze dus niet zagen, hen recht in de mond keek. Dat er opnamen werden gemaakt was van tevoren gezegd, maar niet welke. Natuurlijk moesten na afloop de beelden aan de proefpersonen worden voorgelegd ter goedkeuring. Ingeval een proefpersoon de beelden een te grote inbreuk op haar of zijn privacy vond zouden de opnamen ter plekke worden gewist, wat overigens geen der proefpersonen nodig achtte.

Let erop dat in een onderzoek naar verschillende manieren waarop mensen een bepaald produkt gebruiken het belangrijk kan zijn naast inter-individuele verschillen in gebruik ook intra-individuele variatie te kennen. Om daarvan een indruk te krijgen zullen proefpersonen een bepaalde taak minstens één keer moeten herhalen.

Als het in een gebruiksonderzoek gaat om ontwerpmodellen die niet of gedeeltelijk functioneren is het zaak over de nog in het ontwerp te realiseren functionaliteit zo duidelijk mogelijk te zijn, zonder natuurlijk voor te zeggen 'hoe het moet', voorzover dat een onderzoeksvraag betreft.

24.5.4 Proefpersonen ondervragen

In het voorbeeld in § 24.4.3 over de voorspelling van verkiezingsuitslagen in Engeland kwam al naar voren hoe 'tricky' het stellen van vragen kan zijn. Met de beantwoording van sommige vragen kan weinig misgaan, bijvoorbeeld het geboortjaar. Dit wordt al anders als naar leeftijd wordt gevraagd, en zeker als het om feitelijke gewoonten gaat, bijv. hoe vaak men dooreengenomen een bepaald produkt gebruikt in de praktijk. Beweerd gedrag blijkt vaak af te wijken van het werkelijke gedrag. Als mensen van vandaag op morgen zouden besluiten zoveel alcoholhoudende drank te drinken als ze desgevraagd opgeven is de Nederlandse drankindustrie overmorgen failliet. Veel beter dan mensen laten vertellen hoe ze een eigen produkt gebruiken is dit bij die mensen te gaan bekijken of, eventueel, het produkt te laten meebrengen naar de plaats van onderzoek en het te laten voordoen.

Waarover mensen zich uitspreken, is gemakkelijk in de mond te leggen, door het namelijk te vragen. Meestal geeft men dan ook wel een oordeel ten beste. Dit oordeel kan vertekend zijn door wat wel sociale wenselijkheid wordt genoemd: de geïnterviewde reageert zoals ie denkt dat de interviewer het graag zou willen of zoals ie graag zou overkomen bij de interviewer.

Om naar de mond praterij zoveel mogelijk te ondervangen, kan je proberen de voor deelnemers kennelijk belangrijke zaken eerst spontaan door henzelf te laten benoemen d.w.z. als onderzoeker zo terughoudend mogelijk op te treden. Vervolgens recapituleert de onderzoeker alle gemaakte opmerkingen. Tenslotte kunnen andere aspecten, die niet zijn genoemd door de proefpersoon, aan de orde worden gesteld

door de onderzoeker als een laatste check (cf. Weegels, 1992a). Belangrijke inter-individuele verschillen kunnen optreden bij de perceptie en evaluatie van gebeurtenissen. De wijze waarop mensen zich uitdrukken op bijvoorbeeld een 5-puntsschaal kan persoonlijke kenmerken vertonen, zoals de neiging relatief hoog resp. laag te scoren, te overdrijven, of juist niet. Dit resulteert in extra inter-individuele spreiding in meetuitkomsten, die van systematische aard is. Een manier om uitspraken van proefpersonen enigszins vergelijkbaar te houden, is in een schaalverdeling referentiepunten op te nemen, en vervolgens te vragen alle andere oordelen daartegen af te zetten. Een voorbeeld daarvan is de uiteinden van een schaal te benoemen als extremen, bijvoorbeeld "beter kan het niet" resp. "slechter kan het niet". Zie voor bijzonderheden over dergelijke technieken (bijv. magnitude estimation) De Jong & v.d. Zouwen (1987, p. 175 e.v.), verder ook Gescheider (1990) voor een overzicht van de talrijke problemen op het terrein van de psychofysica. Een hele waslijst met aandachtspunten voor het opstellen van o.a. niet-tendentieuze vragen is te vinden in De Bie & Visser (1986, hoofdstuk 7).

24.5.5 Proefpersonen hardop laten denken

In § 22.3.2 is al opgemerkt dat gebruikshandelingen veel makkelijker waarneembaar zijn dan wat mensen waarnemen en hoe ze redeneren. Over beide laatste gebruiksactiviteiten kunnen mensen worden ondervraagd. Om iets te weten te komen, voorzover te vatten in woorden, over wat er zich afspeelt in hoofden is taal (voorlopig) het enige intermediair. Op vragen achteraf is de vorige § van toepassing. Een manier om proefpersonen dichter op de huid te zitten is hen tijdens de uitvoering van een taak te laten praten over wat ze op dat moment waarnemen en vooral denken en overwegen. Dit betreft de think-aloud techniek die ook wel wordt toegepast om kennisstructuren bij mensen op het spoor te komen (zie Schraagen, 1986). Voortrekkers van deze techniek zijn Ericsson en Simon (1984) geweest, die er ook enige theoretische fundering aan hebben proberen te geven. Deze theoretische onderbouwing, die onder meer teruggrijpt op aard van de informatie in het korte termijn geheugen, moet een tegenwicht vormen voor de volgende bezwaren:

- proefpersonen die hardop denken gaan langzamer te werk;
- proefpersonen worden meer bewust van wat ze doen, met het gevolg dat ze beter onthouden welke actie wat teweeg brengt, en ook dat ze beter gaan nadenken bijvoorbeeld over wat bepaalde feedback betekent;
- omdat twee dingen tegelijk moeten worden gedaan is de werkdruk hoger wat de uitvoering van de taak waar het om gaat kan beïnvloeden;
- proefpersonen kunnen geneigd zijn alleen die dingen te doen die zij kunnen verwoorden.

Voor al deze bezwaren is wel enige evidentie gevonden blijkens gepubliceerde studies, maar er zijn in de literatuur even zovele tegenargumenten naar voren gebracht (zie voor een overzicht Vermeeren, 1994 (op. cit in hoofdstuk 23)). Waar het doen en laten van proefpersonen dreigt te worden beïnvloed zien Ericsson en Simon veel heil in een adequate instructie en training. De beperkte reikwijdte daarvan in ergonomisch onderzoek is al aangestipt in het onderschrift bij figuur 23.5. Overigens gaat 'thinking-aloud' niet samen met 'unobtrusive observation'.

Merk op dat bovengenoemde bezwaren van de hardop denken aanpak steeds vertekeningen betreffen. Dit heeft weer van doen met gebrek aan *validiteit* waarover na de volgende § dan echt meer.

24.5.6 Volgorde-effecten bij meer taken

Stel in een gebruiksonderzoek wordt nagegaan met welke van bijvoorbeeld drie ontwerpmodellen proefpersonen in gesimuleerd gebruik het snelste werken, of, wat ook kan, de minste fouten maken. Groot voordeel van alle proefpersonen met elk ontwerpmodel te confronteren is dat de data intra-individueel, d.w.z. per proefpersoon, zijn te vergelijken. Bovendien vraagt zo'n opzet - in het vakjargon een 'within-subjects design' - aanzienlijk minder proefpersonen dan wanneer elke proefpersoon met slechts één ontwerpmodel wordt geconfronteerd - dit heet een 'between-subjects design'. In dit laatste onderzoeksontwerp zijn er geen volgorde-effecten, iedere proefpersoon krijgt 'haar' of 'zijn' ontwerpmodel immers als eerste en enige.

Volgorde-effecten kunnen optreden in een within-subjects design, omdat mensen gaandeweg een onderzoek leren, of getraind raken en ook moe kunnen worden. Het maakt in principe dus uit of elk ontwerpmodel even vaak op de eerste, op de tweede of op de derde positie wordt aangeboden. Essentieel is namelijk welk(e) ontwerpmodel(len) er aan vooraf is (zijn) gegaan. Maar ook als de frequentie van de verschillende voorgeschiedenissen gelijk is, bijvoorbeeld even vaak eerst ontwerpmodel-1 gevolgd door ontwerpmodel-2 als omgekeerd, kunnen zaken scheef lopen: het effect op hoe gebruikers omgaan met ontwerpmodel-2 na ontwerpmodel-1 hoeft niet weg te strepen te zijn tegen eerst ontwerpmodel-2 en dan ontwerpmodel-1; met ontwerpmodel-3 erbij wordt het nog ietsje ingewikkelder.

Vaak lees je in onderzoeksverslagen dat 'gerandomized' is: een soort in de war gooien waarna 'het' allemaal wel zal uitmiddelen. Dit hoeft dus niet op te gaan. Het is zaak op dergelijke artefacten (= *door de kunst* [namelijk van het onderzoeken] *verkregen*) verdacht te zijn en deze zo goed mogelijk te identificeren, in plaats van ze te verdoezelen. In de analyse zijn verschillen in doorgeefeffecten op het spoor te komen door de gevallen met verschillende voorgeschiedenissen met elkaar te vergelijken, bijvoorbeeld {*eerst ontwerpmodel-1 en dan ontwerpmodel-2*} met {*eerst ontwerpmodel-3 en dan ontwerpmodel-2*}. Dit kan alleen in een 'within-subjects design' met niet teveel ontwerpmodellen, en voldoende proefpersonen omdat anders het aantal waarnemingen per cel te klein wordt.

24.6 Criteria voor bevindingen uit onderzoek

Een onderzoeker moet weten waar het over gaat bij begrippen als validiteit, betrouwbaarheid en reproduceerbaarheid. Maar is het niet wat veel gevraagd ook bij ontwerpers hierover kennis van zaken te verwachten? Het antwoord op deze vraag kan 'ja' zijn zolang het gaat om ontwerpers die daar nooit mee te maken hebben, althans niet met onderzoekresultaten waarover vragen rijzen. Maar de ontwerper die gebruiksonderzoek doet of laat uitvoeren, of tenminste met de resultaten uit zulk onderzoek wordt geconfronteerd, ontkomt er niet aan zich rekenschap te geven van de zeggingskracht van de data in kwestie. Vaak gaat het immers om kleinschalige onderzoeken. En hoe 'betrouwbaar' kunnen zulke onderzoekjes nu helemaal zijn? Wanneer je deze vraag gesteld krijgt, is het aan te raden meteen opheldering te vragen over wat wordt bedoeld met 'betrouwbaar'. Als op deze tegenvraag een duidelijk antwoord komt, hangt de gegeven toelichting meestal samen met een disciplinaire achtergrond: iemand uit de technische wetenschappen geeft vaak een andere uitleg aan het begrip betrouwbaarheid dan iemand uit de sociale wetenschappen. Voor een ontwerper die met onderzoekers uit beide disciplines te maken heeft, kan dit verwarrend zijn. Daar komt nog bij dat gezaaide twijfel aan onderzoeksgegevens in termen van onbetrouwbaar, niet valide etc. er al snel toe leidt dat het onderzoek in kwestie als ondeugdelijk terzijde wordt geschoven. Uit § 24.5.2 blijkt dat dit geheel

onterecht kan zijn als het om louter aantallen waarnemingen gaat. Een adequate kwalificatie van bevindingen uit gebruiksonderzoek helpt te laten zien dat 'quick' allerminst synoniem hoeft te zijn met 'dirty'. Wat onderzoek waard is, komt aan het licht in de bevindingen. Maar deze hangen natuurlijk nauw samen met de opzet van het onderzoek. Daarom in dit hoofdstuk nu, tussen de behandeling van de opzet van een gebruiksonderzoek en de uitvoering en analyse, een 'kort' intermezzo over criteria in onderzoek.



Om te beginnen zijn over de uitkomst van een meting altijd twee vragen te stellen:

- Wat komt er uit als de meting wordt herhaald?
- Is eigenlijk wel gemeten/geobserveerd wat de bedoeling was?

Uitkomsten van een herhaalde meting (vraag a) vertonen in de regel een zekere spreiding, die bij een zuivere herhaling random is, dat wil zeggen: toevallig van aard. Vraag b betreft systematische verschillen van meetuitkomsten met een of ander gegeven dat als criterium dienst doet, dat wil zeggen: toetssteen is in een vergelijking. Zo'n criterium dient extern, dat wil zeggen onafhankelijk te zijn, in de zin van niet op enigerlei wijze teruggrijpend op de meting over de uitkomsten waarvan vraag b is gesteld. Hoe groter de toevallige spreiding bij herhaling van een meting des te minder er te konkluderen blijft over systematische verschillen, dat wil zeggen over de mate waarin meetuitkomsten afwijken van een gekozen criterium. Daarom wordt eerst toevallige spreiding in meetuitkomsten bekeken.

24.6.1 Toevallige spreiding in uitkomsten van een herhaalde meting

Herhaling van een meting wil zeggen dat alles zoveel mogelijk hetzelfde is, althans zou moeten zijn: hetzelfde verschijnsel, gemeten volgens dezelfde methode die op dezelfde wijze wordt toegepast, denk aan herhaaldelijke meting van de

onderarm lengte van een bepaald individu, diens polsomvang etc. Dat herhalen van een meting gemakkelijker is gezegd dan gedaan komt verderop ter sprake. De mate van random spreiding in uitkomsten van een herhaalde meting wordt vaak meetfout genoemd ('measurement error'). De term 'fout' is in feite onjuist omdat deze term veronderstelt dat 'de echte' waarde bekend is, althans zou zijn te bepalen. Zo'n echte waarde, in de gedragswetenschappen wel 'true value' genoemd, is echter een fictie, zie ISO-Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (1995). Daarom wordt in dit diktaat gesproken van standaard meetonzekerheid. De grootte van deze onzekerheid wordt als regel uitgedrukt in de standaard deviatie van de verdeling van de meetuitkomsten. In de technische wetenschappen is deze standaard deviatie de maat voor wat de herhaalbaarheid of reproduceerbaarheid van meetuitkomsten heet (Engelse termen: 'repeatability' en 'reproducibility', zie ISO, 1986). In de sociale wetenschappen heet dit anders, namelijk betrouwbaarheid ('reliability'). Belangrijker dan dit verschil in terminologie is de manier waarop herhaling van een meting kan worden gerealiseerd. Merk op dat zonder herhaling van een meting geen uitspraak mogelijk is over de meetonzekerheid.

Als er 'aan' mensen wordt gemeten, zoals bij de lichaamslengte en de omvang van een lichaamsdeel, is herhaling niet problematisch, althans veel minder dan bij meting 'door mensen heen', dat wil zeggen als menselijke activiteiten deel uitmaken van hetgeen wordt gemeten, oftewel de *measurand* vormen, zoals van nu af aan het te meten object of verschijnsel wordt aangeduid, zie ISO-Guide (op.cit.). Herhaling van een meting ingeval de *measurand* bestaat uit *gebruiksactiviteiten* (percepties, cognities en gebruikshandelingen in figuur 22.16) is geen kwestie van een handomdraai omdat hoe vaker een proefpersoon een activiteit herhaalt des te groter de kans wordt dat de uitkomsten van de eerste en van de als laatste uitgevoerde meting uiteen gaan lopen. Zoals in de vorige paragraaf is opgemerkt, leert een mens al doende, krijgt ervaring, gaat zich vervelen of wordt moe, denk aan iemand herhaaldelijk een maximale kracht laten uitoefenen. Aldus kan er *carry-over* optreden die maakt dat er niet meer sprake is van een herhaling van de meting: de proefpersoon is immers veranderd. Een beproefde manier om *carry-over* tegen te gaan is het aantal herhalingen van een meting per proefpersoon sterk te beperken. Het meest gangbaar is de beperking tot één herhaling. Een daarop gebaseerde proefopzet heet een test-hertest. Uitvoering van de test-hertest over verschillende proefpersonen levert een verzameling getallen bestaande uit de verschillen tussen beide meetuitkomsten per proefpersoon. Uit deze getallen kan weer een maat voor de spreiding in meetuitkomsten worden berekend. Maar daar zitten haken en ogen aan.

- ▶ Allereerst moet het redelijkerwijs zeker zijn dat er bij de verschillende proefpersonen hetzelfde is gemeten. Anders kan er nooit sprake zijn van herhaling en worden appels met peren vergeleken. Vooral het begrijpen van instructies kan leiden tot verschillen in interpretaties tussen proefpersonen (vgl. Thomas en Nelson, op. cit.), wat aanleiding geeft tot het optreden van allerlei vertekening in meetuitkomsten.
- ▶▶ Verder moet worden gecheckt of er inderdaad geen *carry-over* is opgetreden, dat wil zeggen: of over alle proefpersonen gemiddeld de volgorde in de meetuitkomsten per proefpersoon net zo goed omgekeerd had kunnen zijn. Want anders is er geen sprake van een dooreengenomen random spreiding per proefpersoon. Wat je eigenlijk zou willen vaststellen is of de volgorde bij iedere proefpersoon afzonderlijk net zo goed omgekeerd had kunnen zijn. Maar daar is natuurlijk geen kijk op met maar twee

waarnemingen per proefpersoon. Vandaar de termen 'gemiddeld' en 'dooreengnommen'.

»» En om het nog wat ingewikkelder te maken: ook de verschillen per proefpersoon moeten random spreiden over de proefpersonen. Oftewel, het verschil in beide meetuitkomsten voor elke proefpersoon had even goed bij iedere andere proefpersoon gevonden kunnen zijn. Als dit niet zo is valt er immers niet een random spreiding in meetuitkomsten te specificeren die constant is over de proefpersonen. In figuur 24.10 is daarvan een voorbeeld gegeven: het verschil in de uitkomsten van een test-hertest in maximale krachtoefening neemt dooreengenomen toe naarmate proefpersonen sterker zijn. Zie verder het onderschrift bij die figuur.

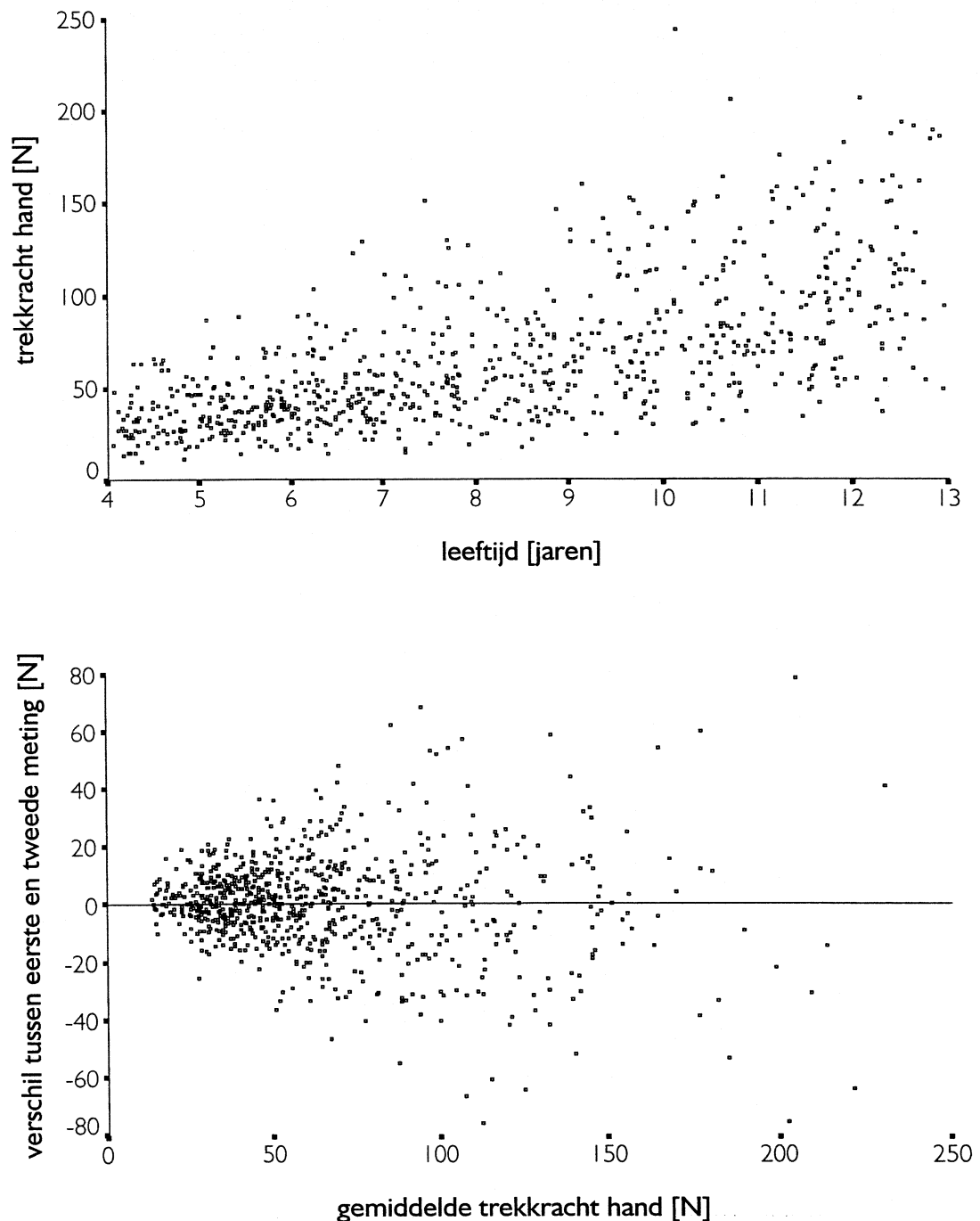
Het zou veel te ver voeren hier een en ander voor een concreet geval uit te werken en door te rekenen (voor de liefhebber: zie Kanis en Steenbekkers, 1995). Op een aspect wordt hier nog de aandacht gevestigd. Het test-hertest onderzoeksdesign komt vaak voor in ergonomische studies gepubliceerd in wetenschappelijke tijdschriften als *Ergonomics* en *Applied Ergonomics*. Meestal doen auteurs in deze artikelen uitspraken over random spreiding in de meetuitkomsten op basis van de correlatie (Pearson) tussen de uitkomsten van de eerste keer meten bij de proefpersonen en van de tweede keer. Misschien baseren deze auteurs zich op leerboeken, onder andere uit de psychologie, waarin inderdaad wordt beweerd dat in een test-retest de correlatiecoëfficiënt r , die zich eenvoudig laat berekenen, dient als maat voor de 'betrouwbaarheid' (of 'reliability' zoals dit in dat vakgebied wordt genoemd). Helaas, dit is fout, zie Kanis, 1993a, zie verder ook het onderschrift bij figuur 24.10. Met de correlatiecoëfficiënt, die een maat is voor associatie en niet voor overeenstemming, dient altijd omzichtig te worden omgesprongen. In een test-hertest hoeft een hoge correlatiecoëfficiënt helemaal niet te betekenen dat de random spreiding in meetuitkomsten klein is. Evenmin kan uit een lage correlatiecoëfficiënt ($r=0$) worden geconcludeerd dat er een grote random spreiding is en dat het dus met de 'reliability' slecht is gesteld.

24.6.2 Systematische afwijking tussen bevindingen in onderzoek en een gekozen criterium *Voorspellingen op basis van meetuitkomsten*

Als een verkiezingsprognose, op basis van een telefonische enquête, er naast blijkt te zitten is deze voorspelling ongeldig, althans voor een deel. Anders gezegd: de prognose vertoont gebrek aan validiteit (de termen '(on)geldig' en 'niet-valide' worden als equivalent gebruikt); de vraag in hoeverre een methode ongeldig is als een voorspelling er naast zit komt verderop in deze paragraaf aan de orde.

Als proefpersonen, hardop denkend bij de uitvoering van een taak, zich dingen realiseren waar ze vroeger nooit bij stil stonden en vervolgens zoveel mogelijk dat gaan doen wat ze onder woorden kunnen brengen, levert dit een vertekend beeld van hun doen en laten ten opzichte van de taakuitvoering zonder hardop denken. De aanname dat proefpersonen zonder hardop te denken hetzelfde doen als met hardop denken levert dus uitspraken op over de 'taakuitvoering zonder' die aan geldigheid tekort schieten.

Als proefpersonen zich in een onderzoek bekeken weten, bijvoorbeeld in een laboratorium door opname-apparatuur of door aanwezige onderzoekers, en zich daar naar gaan gedragen (Hawthorne-effect), gaat de conclusie dat het desbetreffende onderzoek laat zien hoe mensen in de praktijk te werk gaan weer mank aan ongeldigheid.



Figuur 24.10 Uitkomsten van een eenmaal herhaalde meting (test-retest) van de maximale krachttuioefening door kinderen ($n = 782$) tussen 4 en 12 jaar oud (Steenbekkers, 1993). In het bovenste plaatje is de kracht uitgezet tegen de leeftijd van de kinderen. Op het onderste plaatje is het verschil tussen twee meetuitkomsten per kind uitgezet tegen het gemiddelde per kind. Zoals hier te zien belooft de spreiding in de uitkomsten per kind regelmatig meer dan de helft van het gemiddelde van die uitkomsten. Bovendien neemt de spreiding flink toe naarmate kinderen sterker zijn. In de correlatiecoëfficiënt vind je daar allemaal niets van terug: deze bedraagt 0.90. Dat deze zo hoog is, ondanks de grote spreiding per kind, komt door het grote verschil in krachttuioefening tussen de kinderen van verschillende leeftijd. Voor de volledigheid: de uitkomsten van de eerste en de tweede meting blijken niet systematisch te verschillen en kunnen dus per proefpersoon dooreengenoemen wel als verwisselbaar worden beschouwd (Steenbekkers, op. cit.).

In deze voorbeelden gaat het steeds om *voorspellingen* op basis van de meetuitkomsten of observaties in een onderzoek, te weten de voorspelling:

- van de keuze op de dag van de verkiezingen herleid uit een telefonische enquête naar (beweerde) politieke voorkeur, met de echte uitslag als criterium, dat wil zeggen: als de uiteindelijke toetssteen;
- van de taakuitvoering zonder hardop denken uit de taakuitvoering met, waarbij de eerstgenoemde taakuitvoering het criterium levert (deze zal dus ook onderzocht moeten worden of zijn);
- van gedragingen in de praktijk door generalisatie van gedrag geobserveerd onder proefomstandigheden, met weer als criterium wat mensen in werkelijkheid doen.

Elk van de drie voorbeelden betreft generalisaties, dat wil zeggen: het doortrekken van bevindingen naar andere omstandigheden. In de voorbeelden is aangenomen dat deze generalisatie steeds uitspraken oplevert die *gebiased* blijken te zijn ten opzichte van een gekozen extern criterium, dat in alle drie gevallen is gebaseerd op waarneming onder (meer) praktische omstandigheden. De door generalisatie verkregen uitspraken vertonen aldus gebrek aan validiteit. Zolang het niet lukt van bevindingen aan te tonen dat deze systematisch afwijken van een extern criterium kunnen deze bevindingen niet anders dan geldig oftewel valide worden genoemd.

Betekent dit nu dat daarom ook de gegevens waar gebiaste voorspellingen op zijn gebaseerd niet valide waren? Het misschien onverwachte antwoord op deze vraag is *nee*, althans niet om die reden. Want gegevens uit onderzoek kunnen er om zo te zeggen niets aan doen dat aan die gegevens ontleende gevolgtrekkingen niet kloppen. De bron van de ongeldigheid waar het hier om gaat is immers de veronderstelling dat die gegevens invariant zijn voor verschillende omstandigheden, dit wil zeggen dat het geen verschil zou maken:

- of je mensen nu telefonisch om hun politieke voorkeur vraagt dan wel echt laat stemmen op de dag van de verkiezingen in het stembokje,
- of je mensen nu wel of niet hardop laat denken bij een taakuitvoering, en
- of mensen zich al dan niet geobserveerd weten, hun gedragingen zouden er niet door veranderen.

Maar betekent dit alles nu dat er op onderzoeksuitkomsten op zich nooit iets valt af te dingen in termen van validiteit? Want daarover ging in feite vraag b aan het begin van § 24.6, die nog beantwoord moet worden.

Beoogde meetuitkomsten

Uitgaande van de gedachte dat een onderzoeksmethode alleen maar kan opleveren wat deze meet, mist het begrip validiteit bij meetuitkomsten haar uitwerking: er is geen extern criterium/er wordt niets voorspeld. In deze zienswijze past de opvatting dat als een onderzoeksmethode iets anders oplevert dan bedoeld er domweg een fout moet zijn gemaakt. Zoiets zou het geval zijn als de lichaamslengte van mensen is gemeten, naar achteraf blijkt, met een te korte of te lange antropometer. Maar zo eenvoudig ligt het niet altijd. Waar het hier om gaat is in hoeverre een meetmethode de measurand specificeert. In het gegeven voorbeeld is lichaamslengte de measurand. De schijn dat met de specificatie van deze measurand weinig mis kan gaan bedriegt, zoals het volgende voorbeeld laat zien.

Jarenlang door laboratorium A gerapporteerde lichaamslengtes roepen vragen op zodra er een laboratorium B in de markt komt dat met dezelfde methode systematisch andere

uitkomsten vindt. Bias ten opzichte van elkaar dus, waarvan de herkomst kan liggen in een iets andere instructie aan proefpersonen, in calibratie verschillen etc. Nemen we ter wille van de eenvoud aan dat het verschil in meetuitkomsten tussen beide laboratoria enkel ontstaat doordat in laboratorium A proefpersonen altijd 's ochtends vroeg worden gemeten en in laboratorium B aan het eind van de dag. In dat geval rapporteren beide laboratoria resultaten waarop niets is aan te merken mits de omstandigheden waaronder is gemeten zijn gespecificeerd. Er is pas sprake van ongeldigheid als laboratorium A beweert dat de daar gemeten lichaamslengte geldt voor de hele dag, met andere woorden: dat laboratorium B te laag zit, waarmee laboratorium A een hogere lichaamslengte aan het eind van de dag voorspelt dan laboratorium B meet.

Dit voorbeeld laat zien dat een methode ongeldige uitkomsten kan opleveren als die uitkomsten te ruim worden uitgelegd, dat wil zeggen: ten onrechte worden gegeneraliseerd over andere dan de onderzoekscondities. Iets soortgelijks is ook het geval in het volgende voorbeeld betreffende de krachtmetingen weergegeven in figuur 23.5.

Het probleem van de krachtmetingen weergegeven in deze figuur is dat bij sommige proefpersonen een maximaal uitgeoefende kracht F_{max} kleiner is dan de kracht F_{comf} waarvan de uitoefening nog net als comfortabel wordt ervaren. Op basis van het criterium $F_{comf} / F_{max} < 1$ zien we dus dat in ieder geval F_{max} in een aantal gevallen gebiased is. Wat hier in feite gebeurt is dat de uitkomsten van de methode om de maximale krachtoefening te meten invariant worden verondersteld voor verschil in instructie. De opdracht om F_{comf} uit te oefenen laat bij sommige proefpersonen blijkbaar meer krachtoontwikkeling toe dan de opdracht voor F_{max} . Het is niet bekend wat het verschil in instructie teweeg brengt bij proefpersonen (zie voor een mogelijke verklaring het onderschrift van figuur 23.5.). Waar het hier om gaat is dat een uitgeoefende kracht zoals F_{max} niet los gezien kan worden van de condities waarin een proefpersoon zich bevindt. Over deze condities kunnen uitgeoefende krachten kennelijk niet zomaar gegeneraliseerd worden: F_{max} is de maximaal uitgeoefende kracht gegeven de instructie F_{max} uit te oefenen. Deze measurand hoeft dus niet de maximale kracht op te leveren in absolute zin. Blijft de intrigerende vraag hoe proefpersonen tot maximale krachtoefening te bewegen zonder hun dat expliciet te vragen. Dit voorbeeld illustreert, net als het voorgaande, dat een impliciete generalisatie in de aanduiding van de measurand in een methode tot ongeldige meetuitkomsten kan leiden, iets wat hier weer is te ondervangen door de measurand te specificeren in de aanduiding.

Eliminatie van een inherente bron van ongeldigheid in een methode door specificatie van de measurand lukt niet altijd. Op dit punt kunnen zich problemen voordoen als proefpersonen een instructie krijgen voor een uit te voeren taak. Die instructie moet namelijk worden gehoord/gelezen, dat wil zeggen worden waargenomen, en vervolgens geïnterpreteerd en begrepen. Hier kan al iets mis gaan met een eenvoudige instructie als recht op te staan bij meting van de lichaamslengte blijkens een onderzoek uitgevoerd door Molenbroek (1987). In deze studie weken meetuitkomsten voor geestelijk gehandicapten systematisch af, kennelijk als gevolg van het niet begrijpen van de instructie door deze proefpersonen (Molenbroek, personal communication). De vaak bepleite zorgvuldigheid van instructie biedt hier geen garanties, zie ook Thomas en Nelson, op.cit., p.369.

In ieder geval is duidelijk dat niet alleen de validiteit van voorspellingen op basis van meetuitkomsten in het geding kan zijn, maar ook de validiteit van in een methode beoogde meetuitkomsten. In beide gevallen geldt dat slechts uitspraken hierover mogelijk zijn op basis van een extern/onafhankelijk criterium. Maar hoe zit het dan met zoiets als een beweerde politieke voorkeur in een telefonische enquête, of door proefpersonen gerapporteerde ervaringen als beleefd comfort, gevoelde inspanningen, doorstande pijn? In feite hebben we hier, naast beide al eerder genoemde soorten meting - 'aan mensen' zoals een polsomvang of een onderarm lengte, en 'door mensen heen' zoals bij de instructie een bepaalde kracht uit te oefenen - te maken met een derde vorm van observaties, te weten: desgevraagd door mensen geleverde rapportages op basis van interne referenties. In het algemeen leunt deze derde vorm van observaties nog meer dan metingen 'door mensen heen' op de (vermeende) taligheid van een measurand. In feite is een measurand dan maar voor een deel te specificeren in een methode en speelt de standkoming ervan zich voor een belangrijk deel af buiten een methode, namelijk binnen mensen zelf. En daar komt dan bij dat er in de regel geen andere methode is om achter interne referenties van proefpersonen te komen dan hun daarnaar te vragen. Waar zo'n methode ontbreekt is er geen extern criterium, waarmee validering strikt genomen een illusie is. Het enige wat dan overblijft is bijkomende aanwijzingen op te voeren (engels: circumstantial evidence), zoals eerder onderzoek dat soortgelijke resultaten heeft opgeleverd, of theoretische overwegingen als die er zijn. Je spreekt dan niet meer van valideren maar van wat in het engels 'corroboreren' heet (corroboratie volgens Van Dale: versterking, ondersteuning).

24.6.3 Herhaalbaarheid en validiteit samengevat, onder meer wat betreft de ergonomische literatuur

Herhaalbaarheid

Specificatie van toevallige spreiding, zoals in de standaard meetonzekerheid, vereist herhalingen van een meting. Uitkomsten van een herhaalde meting, dat wil zeggen dat de methode en de omstandigheden gelijk zijn terwijl geen systematische verschillen optreden tussen de opeenvolgende uitkomsten, leren niets over (on)geldigheid.

De term 'betrouwbaarheid' ('reliability') is beter te vermijden om toevallige spreiding in meetuitkomsten mee aan te geven, en wel om de volgende redenen:

- Hoewel de term 'betrouwbaarheid' in de sociale wetenschappen dient als aanduiding van random spreiding in uitkomsten van een herhaalde meting duikt deze term in de literatuur geregeld op als een mengeling van herhaalbaarheid en validiteit. Met andere woorden: toevallige spreiding en systematische afwijking worden door elkaar gehaald.
- In de statistiek heeft de Nederlandse term 'betrouwbaarheid' betrekking op het schatten van overschrijdingskansen, wat op zich niets te maken heeft met toevallige spreiding in uitkomsten van een herhaalde meting. De Engelse term in dit verband is 'confidence', bijvoorbeeld in 'confidence interval' en 'confidence coëfficiënt'. In een Engelstalig statistiekboek komt de term 'reliability' in die betekenis niet voor.
- In de technische wetenschappen wordt de term 'betrouwbaarheid' ('reliability') voornamelijk gebruikt in de sfeer van bedrijfszekerheid, en heeft dan niets te maken met een kwalificatie van meetuitkomsten.

Vanaf hier wordt in dit hoofdstuk de specificatie van toevallige spreiding in meetuitkomsten aangeduid met de term herhaalbaarheid (engels: 'repeatability'). Zie ISO (1986, op.cit) voor het onderscheid met reproduceerbaarheid (engels 'reproducibility') dat hier verder niet van belang is.

Validiteit

De kwalificatie van uitspraken op basis van onderzoek in termen van validiteit/ (on)geldigheid kan niet anders dan ontleend zijn aan het al of niet optreden van bias in die uitspraken vergeleken met een onafhankelijk criterium. In de gegeven voorbeelden is deze vergelijking steeds te formuleren in termen van voorspellen, hoezeer dit voorspellen soms ook verstopt zit, denk aan het voorbeeld van de lichaamslengte en aan de meting van F_{conf} en F_{max} .

Hiervoor is de toepassing van validiteit besproken op twee soorten begrippen. Om te beginnen was dit de validiteit van een in een methode beoogde measurand. Dit is preciezer geformuleerd dan te spreken van de validiteit van een hele methode omdat methoden in de regel meer omvatten dan een beoogde measurand. Ongeldigheid zoals die aan het licht komt in gebiaste meetuitkomsten kan in een aantal gevallen worden ondervangen door nadere specificatie van de measurand. Naarmate van een measurand minder vast ligt in een methode, dat wil zeggen: meer tot stand komt buiten de methode om zoals binnen mensen bij een instructie en vooral bij zelf-rapportage, boet het begrip validiteit verder in aan zeggingskracht.

Het andere begrip waarop de toepassing van het begrip validiteit is besproken betreft voorspellingen op basis van observaties of meetuitkomsten, waarbij er al dan niet stilzwijgend van wordt uit gegaan dat er niets mis is met beoogde measurands. In de ergonomische literatuur zijn twee manieren aangetroffen waarop dergelijke voorspellingen tot stand komen:

- door generalisatie van observaties naar andere omstandigheden, zoals van lab - praktijk. Hierbij gaat het om hetzelfde verschijnsel onder verschillende condities.
- door inferentie, dat wil zeggen dat het ene verschijnsel wordt voorspeld uit het andere, zoals het zuurstofverbruik van proefpersonen uit hartslagmetingen, zie Maas et al., 1989).

Vaak is trouwens discutabel in hoeverre bij generalisaties hetzelfde wordt gemeten of geobserveerd, denk aan de rol van simulaties. Het onderscheid tussen generalisatie en inferentie is dan niet scherp. Soms is er sprake van een combinatie, denk aan het geldig verklaren van de inferentie van het zuurstofverbruik uit de hartslag bij statische inspanning voor dynamische inspanning.

Naast beoogde measurands en voorspellingen (in de vorm van generalisaties/ inferenties) wordt in de ergonomische literatuur het begrip validiteit als onderzoekscriterium toegepast om uitkomsten te kwalificeren van berekeningen op basis van een model. Een voorbeeld is de berekening van de tussenwerveldruk aan de hand van een biomechanisch model van het menselijk lichaam (Jäger en Luttmann, 1989). Uitkomsten van het model worden vergeleken met gemeten waarden die zijn gepubliceerd. Deze meetwaarden zijn dus het criterium voor het al dan niet optreden van vertekening. Aldus verloopt validering van uitkomsten van model-berekeningen geheel vergelijkbaar met die van voorspellingen op basis van meetuitkomsten. En zoals de vraag in hoeverre een voorspelling valide is in feite neerkomt op de vraag in hoeverre theorieën of vooronderstellingen kloppen die ten grondslag liggen aan een generalisatie of inferentie, evenzo betreft de vraag of een model geldig is in wezen de houdbaarheid van een of andere (vereenvoudigde) representatie - dit is: een model - als beschrijving van een verschijnsel uit de werkelijkheid. Zodoende heeft het zin te spreken van de validiteit van een model, naast die van een beoogde measurand en een generalisatie/inferentie.

Denk overigens niet dat er in wetenschappelijke publikaties binnen de ergonomie op het eerste gezicht veel van deze driedeling is terug te vinden.

Wie wel eens artikelen leest uit de ergonomische literatuur zal geregeld stuiten op termen als *internal validity*, *criterion validity*, *content validity*, *external validity*, *face validity*, *predictive validity* en *ecological validity*. Tientallen van dit soort uitdrukkingen doen de ronde. Dit jargon, dat voornamelijk afkomstig is uit de sociale wetenschappen, versluiert niet alleen. Het leidt ook de aandacht af van de vooronderstellingen en theoretische overwegingen die ten grondslag liggen aan het al dan niet optreden van bias, zoals de vermeende 'taligheid' van kiesgedrag (zie § 24.4.3), en de invariantie van observaties voor onderzoeksomstandigheden. Dit laatste wil zeggen dat ten onrechte wordt aangenomen dat onder verschillende omstandigheden hetzelfde wordt waargenomen, bijvoorbeeld in het lab èn in de praktijk. Om een idee te geven van wat er zoal mis kan zijn met al dit jargon zijn hierna bovenstaande uitdrukkingen van kort commentaar voorzien.

- *Internal validity*: had ontsproten kunnen zijn aan het brein van de baron Von Münchhausen die als ruiter, zoals iedereen weet, zich dankzij z'n machtige rechterarm aan de eigen haren met paard en al uit het moeras wist te trekken.
- *Criterion validity*, *external validity*, *predictive validity* van meetuitkomsten: stuk voor stuk tautologieën, en alsof data het kunnen 'helpen' dat een generalisatie of een inferentie gebiaste uitspraken oplevert.
- *Content validity*: betreft de 'representativiteit' van items, bijvoorbeeld in een spellingtest, èn de wijze waarop een test wordt afgenomen, en dit dan als volgt: "If it is agreed by most potential users of the test, or at least by persons in positions of responsibility, that the plan was sound and well carried out, the test has a high degree of content validity" (Nunnally, 1978, p. 92). Met andere woorden: er wordt niets voorspeld en een criterium is er ook al niet tenzij de eensgezindheid, opborrelend bij 'persons in positions of responsibility', voor zoete koek wordt geslikt;
- *Face validity*: geldigheid 'op het oog', voor buitenstaanders natte vingerwerk van ingewijden, vergelijk 'content validity';
- *Ecological validity*: dezer dagen uitgegroeid tot een vrijblijvende *local favourite*.

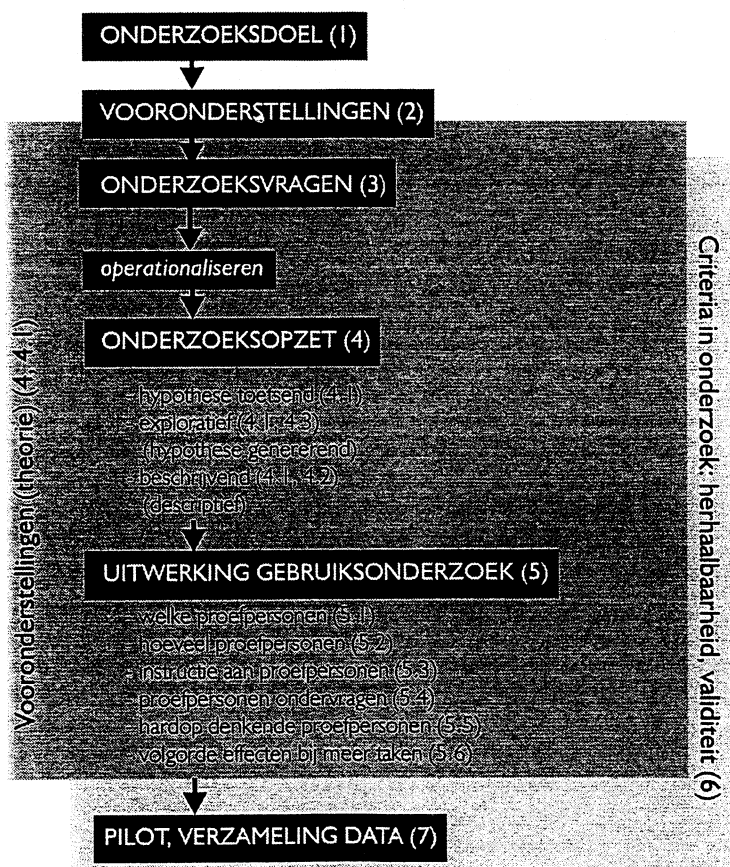
En dan hebben we het nog niet eens gehad over het soms in de ergonomische literatuur opduikende gedachtengoed van Cook en Campbell (1979). Deze auteurs passen het begrip validiteit toe op het al dan niet causaal zijn van relaties tussen verschijnselen. Dit gaat kort samengevat als volgt.

- Als twee waargenomen verschijnselen, *a* en *b*, blijken samen te hangen wordt dit 'statistical conclusion validity' genoemd. Afgezien van de hulpeloosheid van deze uitdrukking getuigt het van onbegrip hier van 'validity' te spreken: er wordt niets voorspeld, alleen beschreven, terwijl een extern/onafhankelijk criterium niet aan de orde is (het significant zijn van bijvoorbeeld een correlatiecoëfficiënt is een interne statistische aangelegenheid).
- De uitdrukking 'internal validity' reserveren Cook en Campbell voor bevindingen betreffende de causaliteit van verbanden tussen waargenomen verschijnselen, bijvoorbeeld *a* - *b*, dit wil zeggen: veranderingen in *a* veroorzaken effecten in *b*, en niet andersom).
- Dat *a* - *b* zou wel eens een voorbeeld kunnen zijn van een causaal verband tussen de meeromvattende begrippen *A* en *B*, die constructs worden genoemd. Voor uitspraken over de generaliseerbaarheid van het causale verband *a* - *b* naar *A* - *B* bezigen Cook en Campbell de uitdrukking 'construct validity'.

- Het causale verband $A \rightarrow B$ zou op zich ook weer generaliseerbaar kunnen zijn, naar andere populaties, naar andere omstandigheden. Vooruit, uitspraken over deze generaliseerbaarheid kwalificeren Cook en Campbell in termen van 'external validity'.

Laat niemand zich te sappel maken over dit soort esoterisme, althans binnen de ergonomische literatuur. Altijd maar weer gaat het er om helder te krijgen op basis van welke redeneringen, welke vooronderstellingen en theoretische uitgangspunten aanspraak wordt gemaakt op de geldigheid van observaties/ meetuitkomsten voor een beoogde measurand, op de geldigheid van uitspraken ontleend aan een model, en op de geldigheid van generalisaties en inferenties bij voorspellingen, in plaats van de zaak te mystificeren met jargon.

Einde intermezzo - terug naar de praktijk van het gebruiksonderzoek.



24.7 Pilot(s), veldwerk

De in de onderzoeksopzet voorgestelde aanpak moet worden uitgeprobeerd in een pilot en naar bevind van zaken bijgesteld. Kenmerkend voor een pilot-onderzoek is dat alles zoveel mogelijk moet verlopen alsof het al het echte onderzoek is. Want dan leer je het meest. Het is verstandig om het pilot-onderzoek in twee of meer delen te splitsen, om indien nodig gaandeweg te kunnen bijstellen. Vervolgens kan het onderzoek worden uitgevoerd om de gewenste data te verzamelen. Dit vraagt organisatie, planning etc. Als een onderzoek met proefpersonen eenmaal loopt, valt er in het algemeen niets meer te veranderen, want dit zou waarnemingen onvergelykbaar kunnen maken. Er is één uitzondering: wordt er tijdens de rit nog iets aanvullends

bedacht, dan kan dat bij de resterende proefpersonen alleen helemaal aan het eind van ieders optreden worden toegevoegd. Maak zo snel mogelijk, vòòr de pilots al, een checklist waar allemaal aan te denken bij de uitvoering. Werk deze checklist voortdurend bij.



24.8 Analyse in exploratief onderzoek

In de beschrijving van het ontwerpproces door Roozenburg en Eekels (1995) is de term 'analyse' de aanduiding voor de fase uit dat proces waarin alle tot dan toe bijeengebrachte informatie wordt geanalyseerd, dat wil zeggen: naar onderdelen geduid, tegen het licht gehouden en geëvalueerd. In de Roozenburg-Eekels beschrijving van het ontwerpen komt het doen van onderzoek niet met zoveel woorden voor. Als er al onderzoek plaatsvindt kan dit weggestopt gedacht worden in de informatiefase. Figuur 21.1 laat zien dat dit veel te beperkt is voor het doen van gebruiksonderzoek, dat immers op tal van momenten in een ontwerpproces kan worden uitgevoerd, al kan hier in het Roozenburg-Eekels begrippenkader wel weer een draai aan worden gegeven gelet op het cyclische karakter van het ontwerpproces. In ieder geval is in een gebruiksonderzoek de analyse van verzamelde gegevens, zoals in elk onderzoek, een cruciaal onderdeel. Dit type analyse, van onderzoeksgegevens, hoeft dus niet samen te vallen met wat wordt verstaan onder analysefasen in een ontwerpproces.

Er wordt wel eens beweerd dat voor een onderzoek start 'alles' klaar moet zijn en vastgesteld, zoals hoe gemeten grootheden worden geschaald, bijv. in welke categorieën, en ook welke analyse-technieken toegepast gaan worden (die technieken moeten dan wel op de data passen natuurlijk).

In hoeverre zo'n aanpak realiseerbaar is in zuiver descriptief onderzoek of in strikt hypothese-toetsend onderzoek, blijft verder onbesproken. Waar het hier om gaat is dat in gebruiksonderzoek zo'n ge-pré-structureerde aanpak niet alleen onhaalbaar is maar ook ongewenst. Er wordt immers niet voor niets exploratief onderzoek gedaan, waarbij het bijvoorbeeld een illusie is te denken dat achter het bureau valt te verzinnen wat er in grote lijnen zoal zal worden aangetroffen. Toch blijken loonderzoekers regelmatig de neiging te hebben met een kant en klaar categorieën-schema aan de analyse te willen beginnen. In zo'n geval dient vrijwel altijd als bron van inspiratie de zogenaamde procesboom: een soort checklist voor mogelijke opeenvolgende fasen in het gebruik van een produkt (tevoorschijn halen, gereed maken, ..., opbergen). Vaak is er aan zo'n 'boom' weinig vertakkends te ontdekken. Ook voor wie in deze populaire IO-heuristiek niet meer dan een 'procesnaaldboom', kan zo'n structuur nuttig zijn om een idee te krijgen van wat er zich zou kunnen voordoen, vooral aan sequenties, maar waarom het in gebruiksonderzoek ook en soms bij uitstek gaat - hoe produkten worden gemanipuleerd - kan zo'n opgezette boom vanzelfsprekend niets over vertellen. Deze heuristiek is daar ook niet voor bedoeld. Een voorbeeld van een uitgebreide procesboom is te vinden bij Cruiff et al. (1983).

Kortom, van tevoren is nooit helemaal en regelmatig helemaal niet zeker wat de bevindingen zullen zijn, evenmin als welke diepere inzichten schuil gaan in verzamelde data. Wat je er aan dergelijke inzichten uit haalt hangt binnen een gekozen opzet af van de analyse. Overigens is het ook weer niet zo dat een analyse geheel open ligt, om zo te zeggen alle kanten op zou kunnen: het onderzoek is immers op basis van zekere ideeën en expliciete vooronderstellingen op een bepaalde manier ingericht. Maar dit biedt in de regel nog voldoende ruimte je om zo te zeggen 'door de data te laten inspireren'. Dit betekent dat er bij het ordenen, combineren (etc.) van de data niet voorziene verbanden/regelmatigheden aan het licht kunnen komen. Hiervòòr gegeven voorbeelden daarvan zijn in het knoppenonderzoek dat mensen met eenzelfde lichamelijke storing vooral op elkaar lijken in wat ze niet doen (en niet zozeer in wat ze wel doen, vgl. figuur 23.9), en ook het verschil in afname van krachtoefening bij ouder worden tussen knijpen met de volle hand en krachtoefening met de vingers, zie § 24.4.4.

Dergelijke bevindingen zijn kenmerkend voor exploratief onderzoek, wat gebruiksonderzoek is. Bij de tegenhanger van exploratief onderzoek - het hypothese toetsend onderzoek - liggen geheel onvoorziene inzichten minder voor de hand zolang de analyse blijft toegespitst op de hypothesen en toetsingscriteria, die, zo benadrukt De Groot (op. cit.), van tevoren moeten zijn opgesteld en vastgelegd, wil het geoorloofd zijn te toetsen (pp. 55, 108, 119). Anders bestaat namelijk het gevaar te 'kapitaliseren op toevalligheden' (pp. 56/57).

Dit laatste gebeurt in zogenaamde 'correlaria-analyse' waarbij alles met alles wordt gecorreleerd, met een aanzienlijke kans dat betekenis wordt gehecht aan toevallig significante verbanden. Bij een overschrijdingskans ~ 0.05 zit er bij van elkaar onafhankelijke variabelen (die zijn gemeten op interval- of ratio-niveau) ongeveer één significant van 0 verschillende correlatie-coëfficiënt op elke 20 berekeningen. Bedenk

daarbij dat het aantal coëfficiënten in een correlatiematrix snel oploopt als het aantal variabelen toeneemt: n variabelen leveren $n(n-1)/2$ correlatie-coëfficiënten), zie figuur 24.11.

	a_1	a_2	a_3	.	.	.	a_n
a_1	
a_2
a_3
.							...
.							...
.							...
a_n				

Figuur 24.11 Correlatiematrix voor de grootheden $a_1 \dots a_n$.

Het is zaak in de analyse van gebruiksonderzoek verdacht te zijn op dit soort dwaalwegen. De onderzoeksvragen dienen in eerste instantie het uitgangspunt te zijn in de analyse, met de aan die vragen en aan de onderzoeksopzet ten grondslag liggende vooronderstellingen, zie volgende paragraaf.

24.8.1 Op vooronderstellingen en onderzoeksvragen geënte analyse

Hou in de analyse steeds de onderzoeksvragen met de bijbehorende vooronderstellingen voor ogen in de ordening van al het beeldmateriaal, van de opmerkingen die proefpersonen hebben gemaakt en van eventueel geregistreerde gebruikerskenmerken zoals het hebben van een bepaalde ervaring. Ga vooral niet in het wildeweg tellen, zoals hoe vaak met welke vinger dit of dat wordt gedaan in hoeveel tijd. Behalve natuurlijk in het uitzonderlijke geval dat dit soort zaken als relevant zijn beschouwd en daarover vooronderstellingen zijn gedaan en onderzoeksvragen zijn geformuleerd. Maar bijvoorbeeld de tijd waarin mensen iets doen is doorgaans even makkelijk te meten en te middelen als nietszeggend.

Altijd gaat er wel minstens één onderzoeksvraag over gebruiksproblemen. Vaak is het raadzaam dergelijke gebruiksproblemen als uitgangspunt te nemen voor de analyse. Zoals aangegeven in figuur 24.2 aan het begin van dit hoofdstuk zijn gebruiksproblemen in de regel onder te verdelen naar:

- mislukte pogingen;
- afbreuk aan doelmatigheid;
- bijkomende output, die (extra) storend is ('sideput');
- teveel aan inspanning (fysiek, mentaal).

Voor de ordening van de ernst van gebruiksproblemen zijn enkele algemene richtlijnen te geven. Problemen die gebruikers aangeven dienen in eerste instantie altijd serieus te worden genomen, zeker als zulke problemen spontaan worden genoemd. Om te bagatelliseren wat proefpersonen te berde brengen, ook als dat desgevraagd gebeurt, moeten er wel heel goede redenen zijn, zoals onmiskenbare aanwijzingen dat er sprake is van naar de mondpraterij of van gefantaseer. In dit opzicht is het niet ervaren van gebruiksproblemen door proefpersonen minder doorslaggevend: mensen kunnen

hebben leren leven met allerlei onhandigheid, hoeven geen weet te hebben van doeltreffender alternatieven etc. In het onderzoek naar het gebruik van nieuwe stofzuigers (zie de figuren 22.3, 22.12 en 23.4) is de volgende vierdeling aangehouden (Loopik, Kanis en Marinissen (1994, op.cit.)):

- initiële problemen bij de introductie die proefpersonen eenvoudig bleken te kunnen oplossen door uitproberen, zonder hulp van buiten;
- tijdelijke problemen die proefpersonen in het gebruik alleen bleken te kunnen oplossen - en dan ook effectief - door raadpleging van de gebruiksaanwijzing;
- blijvende problemen, niet alleen bij de introductie maar ook daarna telkens weer gebruiksaanwijzing nodig;
- nieuwe problemen, in het bijzonder onhandigheden aan het licht komend in het daadwerkelijk gebruik.

Omschrijf de aard van geobserveerde gebruiksproblemen zo scherp mogelijk, eventueel gekwantificeerd in aantal pogingen maar dan ook precies aangeven hoe geteld is: wanneer eindigt een poging/wanneer begint een nieuwe.

Probeer de herkomst van de gebruiksproblemen te duiden (zie volgende paragraaf):

- uit wat proefpersonen desgevraagd hebben toegelicht (wat wel/niet gezien aan *use cues*, hoe geïnterpreteerd?)
- uit het soort ervaring dat ze hebben,
- uit hun fysieke capaciteiten voorzover gemeten, etc.

Naast één of meer vragen over gebruiksproblemen is in de regel ook een onderzoeksvraag wat mensen precies doen en laten. Het gaat er dan allereerst om *wat* mensen doen, bijvoorbeeld welke knoppen of toetsen bedienen ze achtereenvolgens, naar aanleiding waarvan/welke *use cues*. Vaak kan dit overzichtelijk en compact grafisch worden weergegeven.

Als de beantwoording van de onderzoeksvragen dit vereist kan vervolgens worden nagegaan *hoe* mensen te werk gaan, bijvoorbeeld de manier waarop een produkt wordt vastgehouden, met welke handgrepen in welke lichaamshouding kracht wordt uitgeoefend etc. Dit is een tijdrovende analyse. Het meest efficiënt is te werken aan de hand van (video)plaatjes in plaats van steeds een hele band te moeten afdraaien. Het is raadzaam videoplaatjes met opmerkelijke gebeurtenissen in te plakken, met daarbij een toelichting wat er bij welke proefpersoon aan de hand is.

Zoals al eerder aangegeven laten video-opnamen in het algemeen zo'n bonte verscheidenheid aan onderscheid in gebruikshandelingen toe, dat waargenomen verschillen in gebruikshandelingen lang niet altijd samen gaan met bepaalde consequenties in het functioneren van een produkt. Uitgesproken vooronderstellingen zijn er op dit punt in de regel niet: het verkennende karakter van gebruiksonderzoek bestaat er juist in dat moet worden opgespoord wat zich in de praktijk voordoet of kan voordoen, bijvoorbeeld welke moeilijkheden mensen ondervinden in het gebruik en hoe ze die eventueel omzeilen, compenseren etc.

Houd je overigens ver van inlegkunde. Als in een de analyse gekonstateerd zou worden dat een proefpersoon krampachtig te werk gaat dient deze vaststelling navolgbaar te zijn. Dit wil zeggen dat het criterium iets als krampachtig te bestempelen duidelijk te rapporteren moet zijn (in plaats van een gevoel ergens onder het middenrif), zodat iemand anders die het beeldmateriaal analyseert ook zal vaststellen "ja hoor, dit is krampachtig". Maar dan ben je er nog niet. Want krampachtig in de ogen van wie? Misschien doet die proefpersoon wel altijd zo, is ie in gewone doen, en

zou er heel iets anders te zien zijn als er werkelijk sprake was van krampachtigheid, dwz. voor die proefpersoon zelf. Kortom, je moet als onderzoeker heel wat weten om observaties te kunnen kwalificeren. Inleggerij en duimzuigen zit niemand op te wachten. Beide zijn niet acceptabel.

Kontroleer of er bij meer dan één taak per proefpersoon aanwijzingen zijn voor volgorde effecten (zie §24.5.6).

Tenslotte dient er een beschrijving te worden gegeven van vastgelegde kenmerken van proefpersonen, zie figuur 24.12.

Characteristics	Subjects				
	Women (n=28)	Men (n=6)	With Arthritis (n=28, 4 males)	With Muscular Disease (n=6, 2 males)	All (n=34)
Age in years (SD)	55.6 (13.2)	49.5 (19.1)	56.8 (12.3)	43.7 (18.6)	54.5 (14.2)
Duration of illness in years (SD)			20.6 (14.5)	32.7 (25.6)	
Weight in kg (SD)	65.6 (15.0)	68.7 (11.0)			
Height in cm (SD)	165.2 (7.6)	172.8 (6.0)			
Number living in an adapted house	25	5	24	6	30
Number living on their own	15	2	15	2	17
Number with home help	24	3	21	6	27
Number without physical support (no wheelchair, cane, etc.)	15	3	16	2	18

Figuur 24.12 Een voorbeeld van rechte tellingen (uit Kanis, 1993, op.cit. in hoofdstuk 2).

Omdat een dergelijke beschrijving in het algemeen niet rechtstreeks verband houdt met onderzoeksvragen in een gebruiksonderzoek hoort zo'n tabel als regel thuis in een bijlage.

24.8.2 Verbanden

Wat betreft mogelijke verbanden tussen gemeten grootheden geldt dat dit vooral een kwestie is van ontdekken. Hierbij kunnen tot dusver geboekte resultaten in gebruiksonderzoek als leidraad dienen (zie hoofdstuk 23). Zo kan worden nagegaan of gebruikswijzen die wèl en niet aansluiten op *use cues* van een produkt of produktonderdeel samenhangen met (voortvloeiende uit?) individuele kenmerken van gebruikers: misschien met antropometrische eigenschappen, of met ervaring...? Nu we het (weer) over ervaring hebben, hierover nog het volgende. Het is wel eens voorgekomen dat in een gebruiksonderzoek van een bestaand produkt de door proefpersonen gemelde gebruiksfrequentie is opgevat als maat voor de ervaring, in die

zin dat wie een produkt 2 keer zo vaak gebruikt als een ander ook 2 keer zoveel ervaring heeft, en (nu we toch bezig zijn) zodoende een klus in de helft van de tijd klaart. Met andere woorden, meer van hetzelfde zou evenveel extra's opleveren dankzij een positief, proportioneel verband tussen ervaring en vaardigheid. Bij een leeronderzoek door studenten is het zelfs voorgekomen dat zonder enige toelichting, verklaring, laat staan vooronderstelling, een "ervaringsschaal" werd ingedeeld naar gebruiksfrequenties $< 1x$ per week, precies $1x$ per week, en $> 1x$ per week. Nu is op een aantal terreinen een positief verband tussen kwantiteit en kwaliteit niet ongebruikelijk. Oefening baart kunst, maar dan vooral als een in de tijd afnemende meeropbrengst zoals bij het bereiken en vasthouden van een bepaald niveau in (professioneel) pianospel of in het werk van een chirurg, zie in dit verband § 23.5.2 over de rol van kennis en ervaring in het gebruik van alledaagse produkten. Het komt erop neer dat het veronderstellen van allerlei kwantitatieve verbanden vaak een slag in de lucht is.

Wat betreft het optreden van gebruiksproblemen is het zaak deze zoals al opgemerkt gedetailleerd te beschrijven naar wijzen van gebruik. Tussen gevallen dat er bijvoorbeeld wel en geen gebruiksproblemen optreden, kunnen ogenschijnlijk gelijke gebruikshandelingen bij nadere beschouwing toch blijken te verschillen, bijv. 'ietsje meer, of '... minder' of 'een beetje anders'. Maar noodzakelijk is dat niet. Behalve dat mogelijk wel bestaande verschillen op de video-opname niet waarneembaar hoeven zijn, kan het probleem ook zitten in de beoordeling van een functioneel aspect door een proefpersoon: wat voor de één wel acceptabel is, hoeft dat voor een ander helemaal niet te zijn. In die gevallen is het opnieuw interessant na te gaan in hoeverre uiteenlopende evaluaties van voor de onderzoeker identieke interacties samenhangen met verschillen in individuele kenmerken van deelnemers aan een onderzoek. Denkbaar is dat kritiek op de gevergdde inspanning/moeite plausibel is met het oog op de op te brengen krachten, of de vereiste handigheid.

Inperking van wat er allemaal is te bedenken aan mogelijk uit te zoeken relaties leveren de vooronderstellingen voor de onderzoeksvragen. Komen er verbanden aan het licht waaraan bij de opzet van het onderzoek helemaal niet was gedacht, dan is het zaak daarvoor alsnog een passende onderzoeksvraag op te nemen. Zeker in explorerend onderzoek mag het vooral niet zo zijn dat wat bij de opzet naar beste weten zorgvuldig is geformuleerd aan vooronderstellingen, naderhand verwordt tot keurslijf. Interessant is juist dat er nieuwe inzichten opdoemen, en naar aanleiding waarvan.

Overigens, ook de bevinding dat een verondersteld verband niet aantoonbaar is, kan heel belangwekkend zijn en dient altijd vermeld te worden.

24.8.3 Verklaren van spreiding

In § 24.5.1 is het begrip *verklaren* ter sprake gekomen. Wat is dat: *verklarend* onderzoek? Stel een waargenomen verschijnsel is beschreven door de grootheid X , en een ander verschijnsel door de grootheid Y . Beide grootheden kunnen verband houden met elkaar, d.w.z. dat er een koppeling bestaat tussen de grootheid X en de grootheid Y . Voor grootheden gemeten op interval- of ratio-niveau kan dit verband worden uitdrukken in de correlatie-coëfficiënt als maat voor de associatie. Op nominaal niveau zijn andere criteria nodig zoals χ^2 (spreek uit: chi-kwadraat) en λ (Goodman-Kruskal), zie voor de laatste figuur 23.3. Soortgelijke statistische maten zijn er ook voor metingen op ordinaal niveau.

Wezenlijk is dat dergelijke verbanden nooit impliciet causaal zijn als betref het een natuurlijk gegeven. Ordening van data in oorzaken en gevolgen betekent een van

buitenaf aangebrachte hiërarchie waarvoor je als onderzoeker de argumenten zult moeten leveren. Deze argumenten verwijzen weer naar vooronderstellingen. Om een causaal verband te kunnen aantonen (vergelijk ook §24.6.3) dienen vooronderstellingen expliciet geoperationaliseerd te zijn in een experiment, zie bijvoorbeeld Keppel en Saufley, 1980. Zonder zo'n onderzoeksopzet is het toeschrijven van oorzaken en gevolgen alleen plausibel te maken via zogenaamd 'counterfactual reasoning', dit wil zeggen de redenering 'als niet, [wat] dan...', zie verder Weegels, 1996. Los van dergelijke redenering waarin argumenten expliciet worden gemaakt kan je zo'n beetje alle kanten op. Als het goed gaat met 's lands economie leidt dat bij de zittende regering tot borstklopperij over haar voortreffelijke beleid. Gaat het slecht dan komt dat door het grote boze buitenland of door die slampampers in vorige regeringen, voorzover die politiek van andere signatuur waren natuurlijk.

Stel je vat X op als oorzaak en Y als gevolg. De grootte X heet dan de verklarende variabele, en Y de te verklaren variabele (in toetsend onderzoek wordt dit onafhankelijke, respectievelijk afhankelijke variabele genoemd). Oftewel X verklaart Y -in meer of mindere mate- afhankelijk van de sterkte van de samenhang.

De term 'verklaren' wordt in het wetenschappelijk bedrijf ruimer gebruikt dan alleen voor gevallen die plausibel te interpreteren zijn als oorzaak-gevolg gebeurtenissen. Dat verklaren niet hoeft te staan voor verhelderen in de zin van het inzichtelijk maken van oorzaken en gevolgen blijkt uit het volgende voorbeeld.

Als wielrenners met helmen relatief meer betrokken zijn bij ongevallen dan wielrenners zonder helm, is het al dan niet dragen van een helm een 'verklarende' variabele (X) voor het verkrijgen van ongelukken (Y). Het kan een oorzaak zijn - fietsers met helmen op kunnen zich rokelozer gaan gedragen (een geval van homeostase). Maar het is evenzeer denkbaar dat het gaat om notoire brokkenpiloten die er een helm bij hebben opgezet. Dus wordt er in dit geval niets verheldert door de 'verklarende' variabele, waarmee het bijvoeglijke naamwoord 'verklarende' een loze kreet wordt.

24.9 Van onderzoekresultaten naar eisen voor (her)ontwerp oplossingen

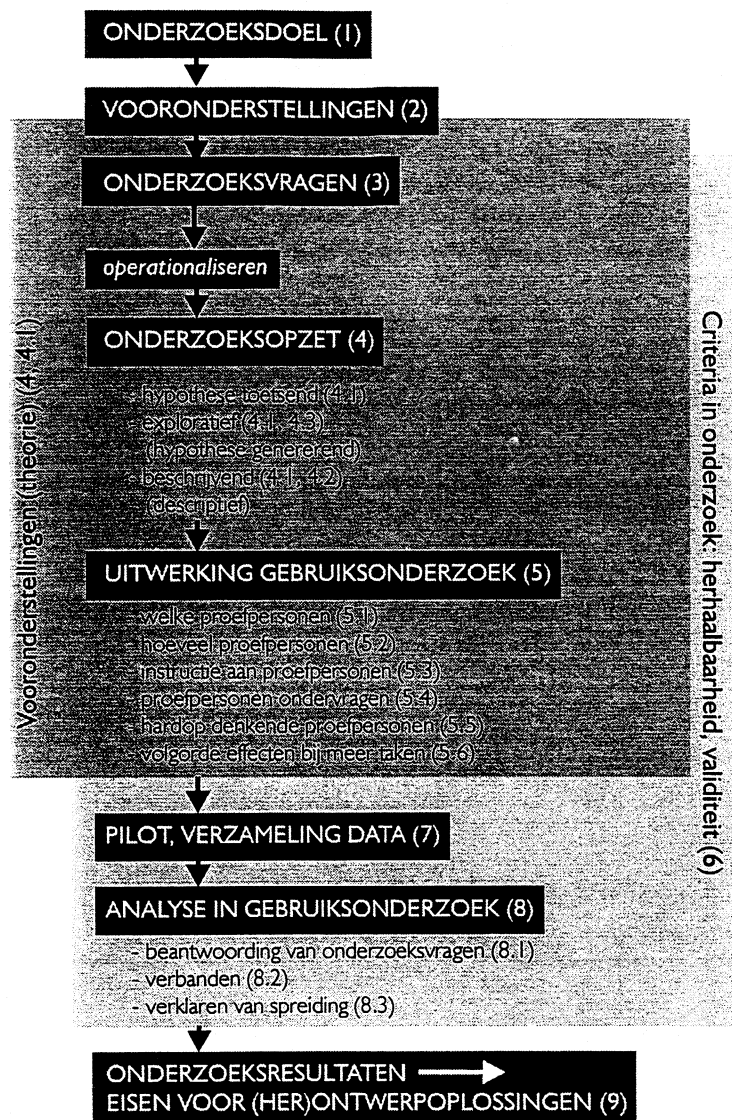
De ontwerper is zowel de meest kwetsbare onderzoeker van het eigen 'geesteskind' als de meest voor de hand liggende. De meest kwetsbare, omdat het vaak niet is om aan te zien wat die gebruikers uitspoken met dat prachtige ontwerp. Het blijkt voor ontwerpers vaak een helse toer afstand te houden, niet in te grijpen als een gebruiker weer eens iets 'stoms' uithaalt. Aan de andere kant is het juist het indringendst er als betrokken ontwerper met de neus bovenop te zitten, het niet te hoeven hebben van horen zeggen. Je leert dan het meest als advocaat van de duivel. Wanneer in een gebruiksonderzoek met ontwerpmodellen, uitgevoerd door de betrokken ontwerper(s), alles botertje tot de boom blijkt te zijn is er reden voor grote argwaan. In gebruiksonderzoek met een bestaand produkt van onbekende herkomst, dat moet worden herontworpen, is er in het algemeen geen aanleiding dat enkel wordt waargenomen wat prettig uitkomt.

Gaan we er ter bepaling van de gedachten maar weer van uit dat een gebruiksonderzoek inzicht oplevert in het optreden van wat hiervoor disfuncties zijn genoemd:

- een gebrekkige doelmatigheid;
- ongewenste bijkomende output zoals bij een ongeluk, en
- extra inspanning, moeite.

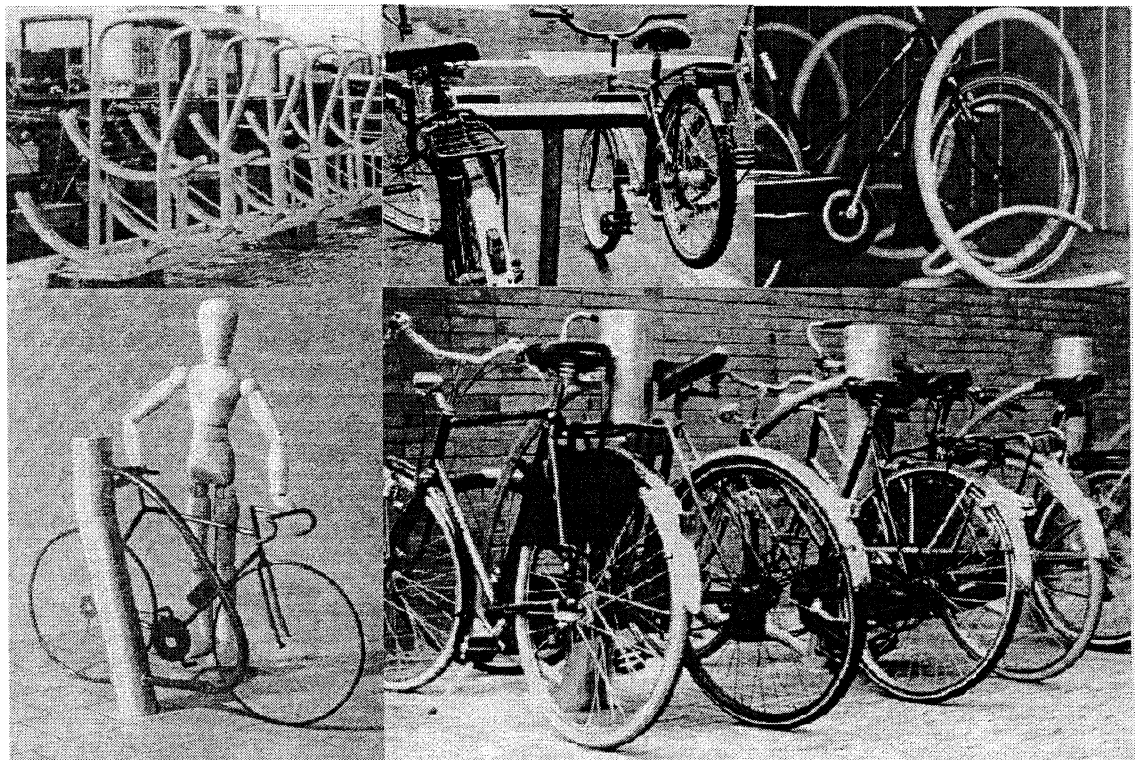
Waar het dan bij het (her)ontwerpen om gaat is het optreden van deze disfuncties te ondervangen, en daarbij geen nieuwe te introduceren. De formulering van de eisen

voor het PvE hangt af van het inzicht dat het onderzoek heeft opgeleverd in de mens-product(model) interactie die via een nieuw ontwerp moet worden bijgestuurd.



Stel je komt er door onderzoek achter dat bepaalde gebruikshandelingen met een relatief grote kans op ongelukken worden uitgevoerd om een matige doeltreffendheid te compenseren. In zo'n geval zou als eis kunnen worden opgenomen dat de doeltreffendheid van het product na herontwerp zodanig moet zijn verbeterd dat het in de rede ligt dat gebruikers zich dan niet meer bedienen van de gewraakte compenserende gebruikshandelingen. Een andere benadering in dit geval zou zijn dat deze gebruikshandelingen wel mogen voorkomen maar dan niet tot een ongeluk mogen leiden. Daarbij kan het ondermaatse functioneren verder dus buiten beeld blijven (of dit wel verstandig is gaat het nu even niet om). Een derde benadering is het ontwerp zodanig te veranderen dat dit een geheel ander gebruik vergt. De onzekerheid over nieuw opduikende problemen is dan wel het grootst.

Aan welke eisen uiteindelijk wordt voldaan hangt er van af in hoeverre het lukt in elk van die gevallen adequate oplossingen te vinden. Bedenk dat het terrein van de ontwerper het produkt betreft: oplossingen zullen uiteindelijk altijd via produktkenmerken gestalte moeten krijgen. Grenzen aan de mogelijkheden die ontwerpers hier hebben, zijn enerzijds geen enkele beperking opleggen aan gebruiksakties en omgevingskenmerken (gebruikers kunnen blijven doen wat ze deden/gewend waren, omdat door wijziging van produktkenmerken de problemen zijn ondervangen), en anderzijds afdwingen van gebruiksakties en omgevingskenmerken, vergelijk Mauro (1978) die een haardroger ontwierp vast aan de badkamermuur om te voorkomen dat een los gebruikt apparaat in het bad valt en baders elektrokuteert. Binnen deze uitersten kan waargenomen gebruik met ongewenste repercussies voor het functioneren van een nieuw ontwerp worden bestreden met *use cues*. Bedenk dat het grote voordelen kan hebben als een ontwerp zo weinig mogelijk restrictief is ten aanzien van gebruikswijzen die leiden tot de beoogde functionaliteit, zie figuur 24.13. In het onderschrift bij deze figuur komt een hiervoor nog niet ter sprake gebracht aspect naar voren van gebruiksonderzoek, namelijk te dienen als bron van inspiratie. Zie voor een ander voorbeeld in deze geest het afstudeerverslag van van Hees (1996).



Figuur 24.13 In een gebruiksonderzoek als onderdeel van een ontwerp opdracht van de gemeente Amsterdam voor een nieuwe fietsparkeervoorziening bleek dat het gros van de talrijke gebruiksproblemen bij verschillende bestaande rekken (bovenste rij) direct te relateren was aan de detaillering van het gebruik vastgelegd in het ontwerp om dit te laten functioneren zoals beoogd. Met andere woorden: de onderzochte fietsenrekken moesten op een bepaalde, tot op zekere hoogte voorgeschreven manier worden gebruikt wilden ontworpen functionaliteiten tot hun recht komen, zoals de mogelijkheid een fiets goed ondersteund te stallen en op slot te zetten. Vervolgens is op basis van dit inzicht uit het gebruiksonderzoek niet gestreefd naar een of ander herontwerp maar is er een geheel nieuw concept ontwikkeld (onderste rij), onder meer geïnspireerd op hoe je in Amsterdam veel fietsen gestald ziet staan, namelijk vastgemaakt aan lantaarnpalen en brugleuningen. In het nieuwe ontwerp is veel gebruiksvrijheid beoogd zonder dat essentiële functionaliteiten verloren gaan.

24.10 Algemene opmerkingen

De daadwerkelijke uitvoering van een onderzoek beslaat doorgaans maar een fractie van de totale tijd nodig voor opzet, uitvoering, analyse en verslaglegging. Vooral de laatste twee onderdelen - analyse en rapportage - vragen vaak onverwacht veel tijd, zie figuur 24.14.

De post 'verwerking ruwe data' betreft het rubriceren van videobeelden en vervolgens invoeren in een data-bestand. Hoewel in meer beperkte gebruiksonderzoeken uitgevoerd tijdens een ontwerpproces het aandeel van deze post kleiner zal zijn, illustreert het hoge percentage hoe tijdrovend het afkijken van videobeelden is. Een belangrijke reden hiervoor is dat video-opnamen een wel heel ruwe vorm van data zijn. Allerlei beslissingen zoals waar op te letten en hoe te categoriseren, kunnen worden uitgesteld tot na de opnamen zijn gemaakt. Het staat immers op band. Het voordeel is dat een gekozen manier van analyseren in principe altijd is bij te stellen. Maar het grote gevaar is in de data om te komen. Er is immers zoveel om te onderscheiden en te analyseren. In dit verband kan niet genoeg worden benadrukt hoe belangrijk het is beperkingen aan te brengen. De hele wereld onderzoeken gaat nu eenmaal niet. Dit mag een vanzelfsprekendheid lijken, talrijk zijn de onderzoeken die zijn blijven steken in goede bedoelingen omdat ze veel te breed waren opgezet. Het is een tragisch misverstand breedte aan te zien voor diepgang.

onderzoeksactiviteit	aandeel in totale onderzoekstijd
Vorbereiding, onderzoekopzet	15-25% van de totale tijd
Pilot, uitvoering	20-30% "
Analyse	35-45% "
Rapportage	10-20% "

Figuur 24.14 Geschatte tijdbesteding in uitvoerig gebruiksonderzoek met uitgebreide rapportage.

Blijft onverlet dat het belangrijk is videobeelden zorgvuldig af te kijken. Je zult jezelf de tijd moeten geven thuis te raken in het verzamelde materiaal. Leg in het begin van de analyse een logboek of plaatjesboek aan, met daarin de beelden van opnamen die belangrijk zijn, naar proefpersoon geordend, met daarbij de door proefpersonen gemaakte opmerkingen/gegeven toelichtingen voorzover deze de beelden verduidelijken.

Een middagje uittrekken voor de analyse is onzin: begin er dan maar liever helemaal niet aan. In het algemeen is het zeer onverstandig de analyse en de rapportage, in welke vorm ook gevraagd, strikt te scheiden. Juist door opschrijven worden inzichten vaak gescherpt. Er is daarom veel voor te zeggen al in een vroeg stadium met de rapportage te beginnen.

Begrippen

Onderzoeksdoel
Onderzoeksvragen
Operationaliseren

Theorie

vooronderstellingen
veronderstellingen
voorspellingen

Onderzoeksopzet

hypothese toetsend
exploratief/hypothese genererend
verkennend/descriptief
veldonderzoek
simulatie in het laboratorium

Proefpersonen

representativiteit
aantal proefpersonen
instructie
ondervragen
hardop-denken/think aloud

Criteria in onderzoek

toevallige (random) spreiding in meetuitkomsten
reproduceerbaarheid ('reproducibility')
'repeatability'
betrouwbaarheid ('reliability')
meetfout/'measurement error'
'confidence interval/coefficient'
correlatiecoefficient
systematische afwijking in meetuitkomsten
bias/vertekening
'carry-over': volgorde effecten
doorgee-effecten
geldigheid/validity
generalisatie
inferentie
modelmatig simuleren

Pilot

Veldwerk

Analyse

rechte tellingen
verbanden tussen gemeten grootheden
verklaren van spreiding

Ontwerpeisen uit gebruiksonderzoek

Literatuur

- Bie, S.E. de, en Visser, R.A., 1986.
Onderzoek puntsgewijs. Boom, Meppel. Alleen hoofdstuk 7, over het opstellen van vragen.
- Chapanis, A., 1988.
Some generalizations about generalization. *Human Factors*, 30, 253-267.
- Cook, T.D. and Campbell, D.T., 1979.
Quasi-Experimentation. Design & Analysis Issues for Field Settings. Rand McNally, Chicago.
- Cruiff-arts, W.C.M., Dirken, J.M., Houtkamp, J.J. en Nielander, G.H.M., 1983.
Blindelings Bruikbaar. Faculteit Industrieel Ontwerpen. TU Delft.
- Ericcson, K.A. and Simon, H.A., 1984.
Protocol Analysis. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Gescheider, G.A., 1988.
Psychophysical Scaling. *Annual Review of Psychology*, 169-200.
- Groot, A.D. de, 1960.
Methodologie; grondslagen van onderzoek en denken in de gedragswetenschappen. Mouton, Den Haag. Onlangs opnieuw uitgegeven.
- Hees, L. van, 1996.
Fietspomp, gebruiksonderzoek binnen het ontwerpproces. Afstudeerverslag, TU Delft.
- Jong-Gierveld, J. de en Zouwen, J. van der, 1987.
De vragenlijst in het sociaal onderzoek. Van Loghum Slaterus. In het bijzonder de hoofdstukken 7 en 10.
- Jäger, M. and Luttmann, A., 1989.
Biommechanical analysis and assessment of lumbar stress during lifting using a dynamic 19-segment human model. *Ergonomics*, 32, 305-324.
- ISO Guide (1986). ISO Standard 5725: *Precision of test methods*. International Standard Organisation, Geneva.
- Kanis, H., 1993a.
Reliability in Ergonomics/Human Factors. *Contemporary Ergonomics*, 91-96. Taylor & Francis, London.
- Kanis, H., 1994a.
Validation in Ergonomics/Human Factors. *Contemporary Ergonomics*, 113-118. Taylor & Francis, London.
- Kanis, H. and Steenbekkers, L.P.A., 1995.
On variability in human characteristics. *Contemporary Ergonomics*, Taylor & Francis, London.
- Kanis, H. en Vermeeren, A.P.O.S., 1996.
Teaching user involved design in the Delft curriculum. *Contemporary Ergonomics*, Taylor & Francis, London.
- Karhu, O., Härkönen, R., Sorvali, P. and Vepsäläinen P., 1981.
Observing working postures in industry. Examples of OWAS application. *Applied Ergonomics*, 12.1, 13-17.
- Keppel, G. and Saufley, W.H., 1980.
Introduction to design and analysis. W.H. Freeman and Company, San Francisco.
- Kuipers, G., 1984.
ABC van een onderzoeksopzet. Coutinho, Muiderberg.
- Maas, S., Kok, M.L.J., Westra, H.G. and Kemper, H.C.G., 1989.
The validity of the use of heart rate in estimating oxygen consumption in static

- and combined static/dynamic exercise. *Ergonomics*, 32, 141-148.
- Mauro, C., 1978.
Can hairdriers be safer? Research says 'yes'. *Industrial Design*, 25, 38-43.
- Nunnally, J.C., 1978.
Psychometric Theory. McGraw-Hill, New York.
- Schraagen, J.M.C., 1986.
Expert-novice differences and their implication for knowledge elicitation techniques. Institute for Perception, Soesterberg.
- Steen, V.B.D. van der, Kanis, H. and Marinissen, A.H., 1996.
User involved design of a parking facility for bicycles, *Contemporary Ergonomics*, Taylor & Francis, London.
- Steenbekkers, L.P.A., 1993.
Child development, design implications and accident prevention. Faculty of Industrial Design Engineering, Delft University of Technology.
- Weegels, M.F., 1992a.
Validiteit van ongevalsgegevens. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU-Delft.
- Weegels, M.F., 1996.
Accidents involving consumer products. Proefschrift. Faculteit Industrieel Ontwerpen, TU Delft.

26 Theorie Produktveiligheid

Samenvatting

Het meeste onderzoek naar en theorievorming over onveiligheid is begonnen op het terrein van de arbeidsomstandigheden, begin deze eeuw. Onderzoek naar verkeersonveiligheid is slechts enkele decennia oud, terwijl onveiligheid in de privé sector zich in dit opzicht pas een tiental jaren mag verheugen in toenemende belangstelling.

In de loop van deze eeuw is op het gebied van veiligheid de aandacht verschoven van monocausale naar multicausale benaderingen. Daarnaast heeft er ook een verschuiving plaats gevonden van uitsluitend technisch georiënteerde theorieën naar eenzijdig op de mens gerichte benaderingen, zoals cognitieve benaderingen en informatieverwerkingstheorieën. Recentelijk heeft er opnieuw een verschuiving plaatsgevonden, en wel door de aandacht van de eindgebruiker van machines en produkten te verleggen naar besluitvormers, zoals managers, wetgevers en ontwerpers. In de literatuur is een veelheid van theorieën en modellen over het optreden van ongevallen aan te treffen (Lehto en Salvendy, 1991). In dit hoofdstuk zal bekeken worden wat het belang van deze theorieën en modellen is voor de Industrieel Ontwerper.

26.1 Begrippen

26.1.1 Veiligheid

Van Dale:

veiligheid: veilige staat, toestand van iemand of iets dat veilig is.

veilig: buiten gevaar, beschermd tegen personen of gevaren die iemand bedreigen; waarbij geen gevaar is; gevaar voorkomend, veiligheid biedend.

Veiligheid wordt gezien als de afwezigheid van gevaar. Zo kunnen we

produktveiligheid omschrijven als de afwezigheid van gevaar voor de gebruiker of de omgeving bij het omgaan met produkten.

26.1.2 Gevaar en risico

Van Dale:

gevaar: de mogelijkheid, de kans dat uit gegeven omstandigheden onheil, ongeluk of nadeel kan voortkomen; hachelijke toestand van degene die door onheil bedreigd wordt; risico.

risico: gevaar voor schade of verlies; de gevaarlijke of kwade kans of kansen die zich bij iets voordoen.

In het alledaagse taalgebruik worden de begrippen risico en gevaar door elkaar gebruikt. Hierbij lijkt bij 'gevaar' het accent te liggen op de aard van de gebeurtenis en bij 'risico' lijkt het accent te liggen op de kans op die gebeurtenis. Een groter gevaar betekent een *kans op groter onheil*, en een groter risico een *grotere kans op onheil*.

In het kader van produktveiligheid wordt het begrip risico aangeduid als de kans op een ongeluk gewogen met de ernst van de schade. Kortweg: $\text{risico} = \text{kans} \times \text{gevolg}$.

26.1.3 Ongeluk of ongeval

Van Dale:

ongeluk: ongunstige loop der omstandigheden, tegenspoed; door een verkeerde keuze, gedragswijze de tegenspoed a.h.w. uitlokken; ongunstig geval, het feit of de omstandigheid dat er iets onverwachts gebeurt dat schade of letsel veroorzaakt; door een onvoorziene omstandigheid, door een misgreep, door vallen of breken van iets slecht te pas komen, gekwetst worden.

De Stichting Consument en Veiligheid definieert een ongeluk als volgt:

'Een plotseling optredende, ongewilde en onvoorziene gebeurtenis die resulteert in acuut fysiek letsel.' (PORS 1991)

26.2 Benaderingen op het gebied van veiligheid

Op het gebied van veiligheid zijn verschillende benaderingen te onderscheiden. Hierna volgt een beknopte, min of meer historische beschrijving van de meest gangbare perspectieven en benaderingen, inclusief voorbeelden. Vanzelfsprekend is er overlap tussen benaderingen. Veel gedragsbenaderingen (zie 26.6.5) gaan bijvoorbeeld uit van een sequentie van handelingen (zie 26.2.2). Verder zijn er in de literatuur talloze combinaties van benaderingen in omloop, die hier buiten beschouwing blijven.

26.2.1 Monocausale benaderingen

In het prille begin bestond het idee dat ongelukken adequaat beschreven konden worden door één oorzaak. Een voorbeeld van dit inmiddels achterhaalde idee is de brokkemakerstheorie. Dit is de oudste theorie over het bestaan van onveiligheid, daterend uit 1919 (Greenwood en Woods). In deze optiek zijn sommige mensen nu eenmaal meer bij ongevallen betrokken dan anderen (accident proneness). Deze individuele gevoeligheid zou tot stand komen door een samenspel van relatief constante, persoonsgebonden factoren. Hiertoe kunnen gerekend worden: persoonskenmerken (bv. leeftijd, geslacht), persoonlijkheidskenmerken (bv. introvert, opvliegend), kennis, ervaring, attitude, motorische en perceptuele vaardigheden (bv. informatieverwerkingscapaciteit) en antropometrische kenmerken (bv. handgrootte). De hieraan ten grondslag liggende gedachtengang is dat verschillen in reacties van individuele mensen op stimuli uit de omgeving zijn te verklaren uit verschillen in karaktertrekken die als erfelijk worden beschouwd. Brokkenmakers zouden uit het productieproces moeten worden geweerd.

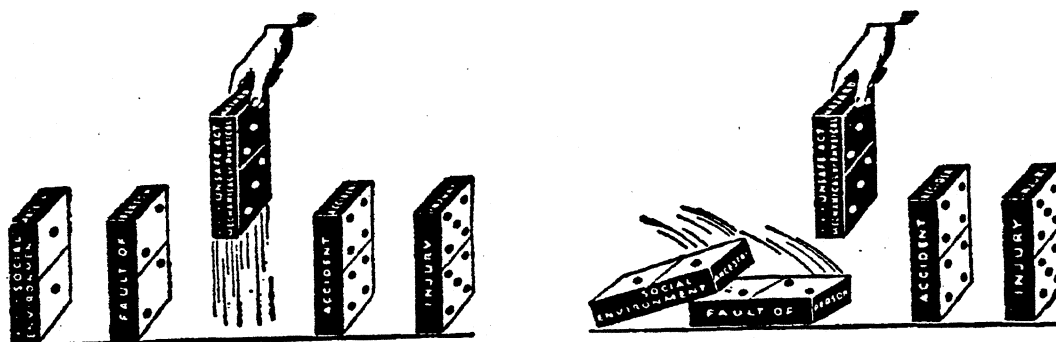
De empirische onderzoeken, die deze theorie zouden bevestigen, bleken naderhand van twijfelachtige kwaliteit te zijn. De theorie als zodanig lijkt te hebben afgedaan, zij het dat soms aan de geschetste gedachtengang herinnerende opvattingen de aandacht trekken.



Figuur 26.1 Guust Flater.

26.2.2 Sequentiële benaderingen

Gaandeweg realiseerden veiligheidkundigen zich dat ongelukken doorgaans meerdere oorzaken hebben. In de sequentiële benadering wordt een ongeluk gezien als het eindresultaat van een reeks van opeenvolgende gebeurtenissen. Een voorbeeld van deze benadering is de fameuze Dominostenentheorie van Heinrich (1959). Heinrich zette de opeenvolgende gebeurtenissen neer als dominostenen, zie figuur 26.2. Als één van de dominostenen valt, vallen de volgende stenen ook. Door het verwijderen van een steen kan het ongeval worden voorkomen. Volgens Heinrich is het verwijderen van de middelste domino (onveilige handelingen en mechanische/fysische gevaren) het effectiefst.



Figuur 26.2 Dominostenentheorie van Heinrich.

De linker domino bestaat uit invloeden van de sociale omgeving. De sociale omgeving zorgt ervoor dat mensen bepaalde onwenselijke karaktertrekken hebben, zoals nervositeit of roekeloosheid (tweede domino). Deze karaktertrekken verklaren waarom mensen onveilig handelen en waarom mechanische/fysische gevaren bestaan; deze laatste vormen de middelste domino, die ongevallen tot gevolg hebben (vierde domino), en tenslotte letsel (vijfde domino).

Een beperking van de sequentiële benadering is dat deze niet weergeeft dat ongelukken altijd het resultaat zijn van het samentreffen van factoren, iets dat in de systeembenadering die verderop wordt besproken wel wordt onderkend.

26.2.3 Ongevallen als resultaat van energie-uitwisseling

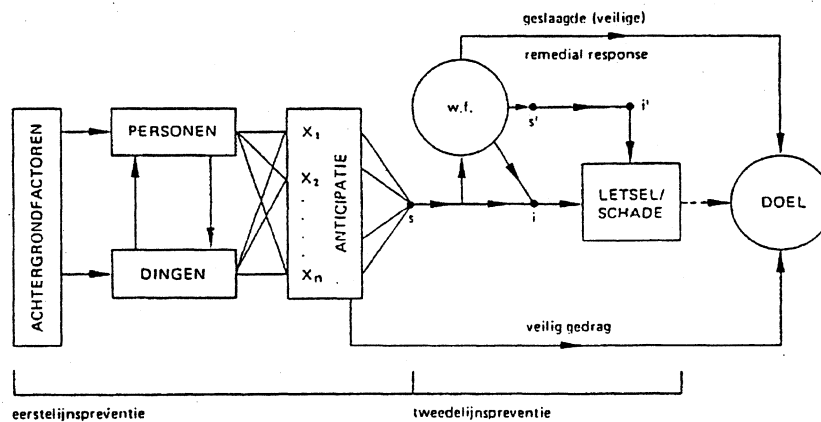
Volgens sommigen is een typisch kenmerk van ongevallen dat uitzonderlijke energie wordt uitgewisseld. Letsel wordt gezien als het resultaat van een botsing tussen een mens en een ongecontroleerde stroom van energie. Doorgaans wordt een onderscheid gemaakt tussen thermische, mechanische, chemische, elektrische en stralingsenergie. Merk op dat deze benadering weinig helpt, aangezien bij elke fysische gebeurtenis energie-uitwisseling optreedt.

26.2.4 Systeembenadering en aanverwanten

De verdienste van de systeembenadering en de daarop lijkende epidemiologische benadering is dat een ongeval wordt gezien als het resultaat van het samentreffen van mens en produkt in een bepaalde omgeving. De epidemiologische benadering stamt uit de ziektenleer, en gaat er vanuit dat ziekte het resultaat is van een verstoring in het equilibrium tussen 'host' (persoon), 'agens' (bv. bacterie) en omgeving (bv. conditie van het weefsel waar de bacterie gedijt). Evenzo bij ongelukken: dan is er een verstoring tussen de mens, het produkt en de omgeving. De systeembenadering - al eerder in dit en voorgaande vakken aan de orde geweest - is

ook regelmatig als uitgangspunt gebruikt voor het beschrijven van ongelukken. In systeemtermen wordt een ongeluk gezien als ongewenste output van het systeem, dat niet functioneert zoals het zou moeten doen. Dit laatste refereert naar het wijdverbreide idee dat ongelukken het resultaat zijn van afwijkingen, storingen of veranderingen in voorgeschreven taken/procedures of het bedoelde functioneren van een systeem.

Op het gebied van ongelukken in de privésfeer heeft Winsemius (1980) de notie dat ongelukken het resultaat zijn van storingen oftewel afwijkingen verder uitgewerkt. Hij stelt: "een ongeval is altijd een storing in het verloop van een proces dat zich binnen een systeem afspeelt" (Winsemius, 1980). Door zo'n storing kan het gewenste doel niet meer worden bereikt. In plaats daarvan treedt letsel of schade op. Winsemius geeft ook de mogelijkheid weer van ingrijpen na storing maar vóór dat de gevolgen werkelijk onoverkomelijk zijn. Dit ingrijpen noemt hij 'remedial response' (in systeemtermen heet dat feedback). Mislukt deze remedial response dan treedt alsnog de ongewenste situatie op, lukt de ingreep wel dan wordt het doel via deze omweg bereikt.



Figuur 26.3 Schema van het ongeval volgens Winsemius.

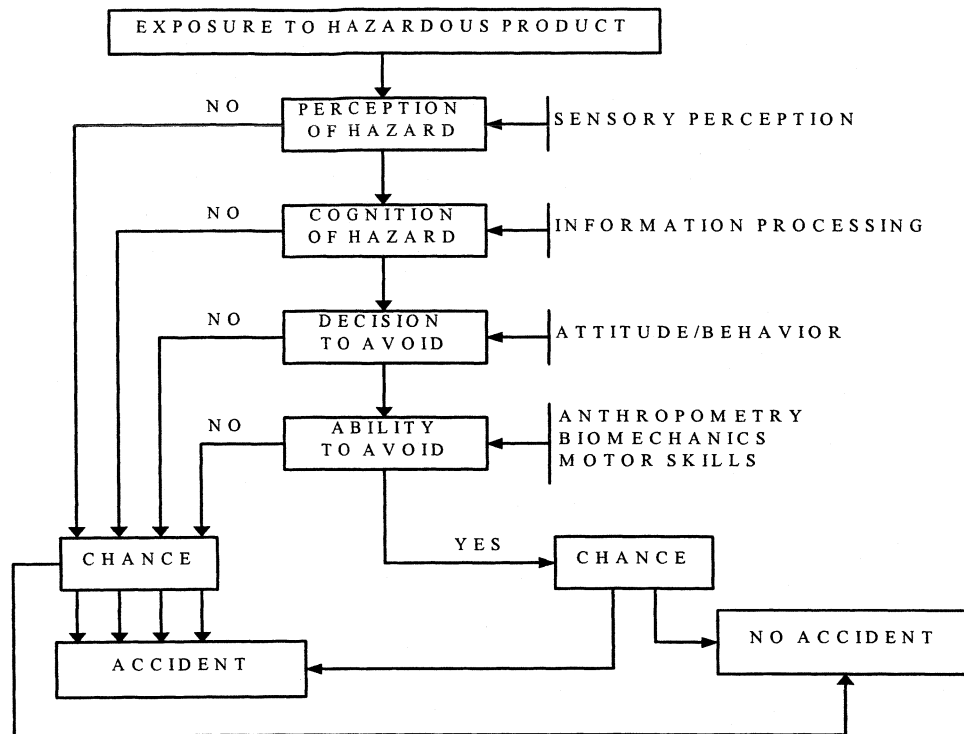
Omdat de remedial response een urgente en onoverlegde handeling is kan dit leiden tot een nieuw ongeval, met letsel of schade tot gevolg (kettingstoring). Zijn schematische weergave van een ongeval ziet er dan uit als weergegeven in figuur 26.3. In het schema zijn ook de preventiemogelijkheden weergegeven. Men ziet dat de eerstelingspreventie erop gericht is de initiële storing te voorkomen, maar dat ook een tweedelingspreventie bestaat. Dit zijn maatregelen om de gevolgen van de storing te voorkomen of te beperken, zoals een zachte mat onderaan de trap.

26.2.5 Gedragsbenaderingen

Er zijn verschillende modellen ontwikkeld die het gedrag van mensen net voor en tijdens een ongeluk proberen te beschrijven. Veel theorieën en modellen (voornamelijk ontwikkeld voor het bestuderen van industriële ongevallen) leggen de nadruk op de informatieverwerking van het individu. Enerzijds kan de reactie op een afwijking uit de omgeving betekenen dat de sterk voorgeprogrammeerde taakuitvoering wordt onderbroken en dat wordt overgeschakeld naar een omgevingsgerichte (of een stimulus-respons beheerste) wijze van bedienen. Anderzijds kan een fout in het herkennen van een afwijking en in het aanpassen voortkomen uit informatie-overbelasting, d.w.z. teveel informatie moet verwerkt worden in een bepaalde tijd. Het informatieverwerkingsproces speelt zich af in een aantal fasen: percipiëren, herkennen, inschatten/plaatsen, beslissen en uitvoeren. Een fout in één van deze

schakels leidt tot een slecht aangepaste respons en als gevolg daarvan tot een vergroot risico voor ongevallen (Kjellèn, 1984).

Ramsey (1985) introduceert een informatieverwerkings-/beslissingsmodel dat is toegespitst op ongelukken met consumenten producten, zie figuur 26.4. Blijkbaar weet Ramsey zich niet zo goed raad met het produkt: de enige rol die het produkt krijgt toebedeeld is een blokje dat als het ware op het eind nog even bovenaan het figuur is geplakt.

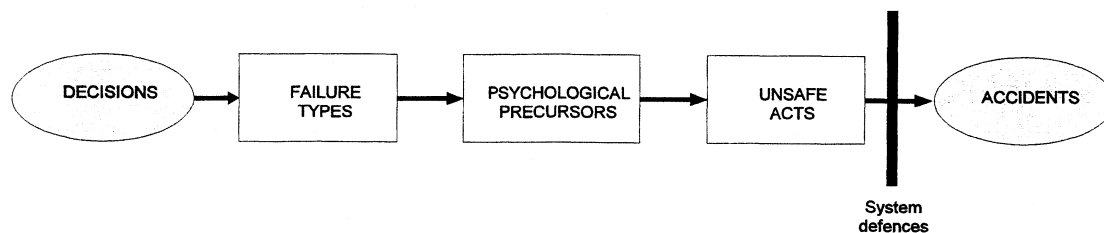


Figuur 26.4 "Accident sequence model" van Ramsey (1985). Dit model geeft verschillende niveau's van interactie met een gevaarlijk produkt, en mogelijkheden voor de gebruiker om de kans op een ongeluk te beïnvloeden.

Een aanvulling op het informatieverwerkingsmodel is ontwikkeld door Rasmussen (1985). Hij onderscheidt een skill-based, rule-based en een knowledge-based niveau bij de mens-product interactie. Afhankelijk van de situatie zal de mens op een van deze niveaus met het produkt omgaan. Dit model is uitgebreid behandeld in hoofdstuk 13: "Cognitieve aspecten van de mens-product interactie".

Binnen de veiligheidswereld heeft het beschrijven, classificeren en verklaren van menselijke fouten (oftewel: menselijk falen, 'human error') grote vlucht genomen. Een gangbare basis voor het classificeren van fouten is het Rasmussen model. Een 'slip', dit is een actie die anders uitpakt dan bedoeld, is een fout op skill-based niveau. Een 'mistake', i.e. wanneer de intentie ongeschikt is voor het doel, vindt plaats op rule- en knowledge-based niveau. Verondersteld wordt dat het bestuderen van menselijke fouten inzicht oplevert in het optreden van ongelukken. De aanname is dan dat de voorlopers van menselijke fouten dezelfde zijn als die van ongelukken, een aanname die vooralsnog niet ondersteund wordt door empirische inzichten. Nog los van het beschuldigend karakter van termen als 'fouten' en menselijk 'falen', woedt nog steeds de discussie over de vraag in hoeverre het bestuderen van 'human error' wat tastbaars kan opleveren.

De laatste tijd is er meer aandacht ontstaan voor de rol van besluitvorming bij het optreden van ongevallen. Zo'n mensgerichte theorie, waarin de toedracht van ongevallen wordt teruggevoerd naar de besluitvormers (managers, wetgevers, ontwerpers), is die van Wagenaar & Reason (1990). Figuur 26.5 is een vereenvoudigde versie van dit model van de historie van een ongeval; iedere stap in de sequentie biedt aanknopingspunten voor preventie.



Figuur 26.5 Model van de historie van ongevallen (Wagenaar en Reason, 1990).

De eindgebeurtenis is het ongeval. Ongelukken worden altijd veroorzaakt door onveilige handelingen. Dit betekent niet dat ongevallen expres worden veroorzaakt, of dat de uitvoerder van deze handelingen zich bewust is van gevaar: in het merendeel van de ongevallen kunnen mensen niet overzien hoe hun handelingen bijdragen aan een ongeval. Beveiligingen (defences) dienen te voorkomen dat onveilige handelingen tot ongelukken leiden (denk bijvoorbeeld aan een overkookbeveiliging). Als een ongeval gebeurt, hebben eventueel aanwezige defences gefaald.

Onveilige handelingen worden niet zomaar uitgevoerd; ze vinden hun oorsprong in de psychological precursors, dit is de mentale toestand waarin iemand zich bevindt. Deze psychological precursors worden uitgelokt door de fysieke en organisatorische omgeving, general failure types genoemd. De general failure types worden op hun beurt gecreëerd door de besluitvormers. Volgens Wagenaar & Reason valt het meest te verwachten van preventieve maatregelen als deze zijn gericht op het voorkomen van general failure types en 'verkeerde' beslissingen.

Als voorbeeld het ongeval met het de 'Herald of Free Enterprise' te Zeebrugge in 1987. Deze veerboot liep vol met water doordat de deuren van de boot niet gesloten waren (onveilige handeling). Bij het vollopen van de boot is geen alarm afgegaan (defences inadequaat). De persoon die de deuren moest sluiten was in slaap in gevallen (psychological precursor), omdat deze diverse diensten achtereen had gedraaid (general failure type). Het vaststellen van de dienstroosters is een besluit van het management (decisions).

26.2.6 Technische benaderingen

Sommigen bestuderen ongelukken vanuit een exclusief technisch gezichtspunt. De aandacht is daarbij gericht op het technisch falen van producten. Voor de analyse van de consequenties en de oorzaken van technisch falen zijn gebeurtenissenbomen en faalbomen geregeld gebruikte hulpmiddelen.

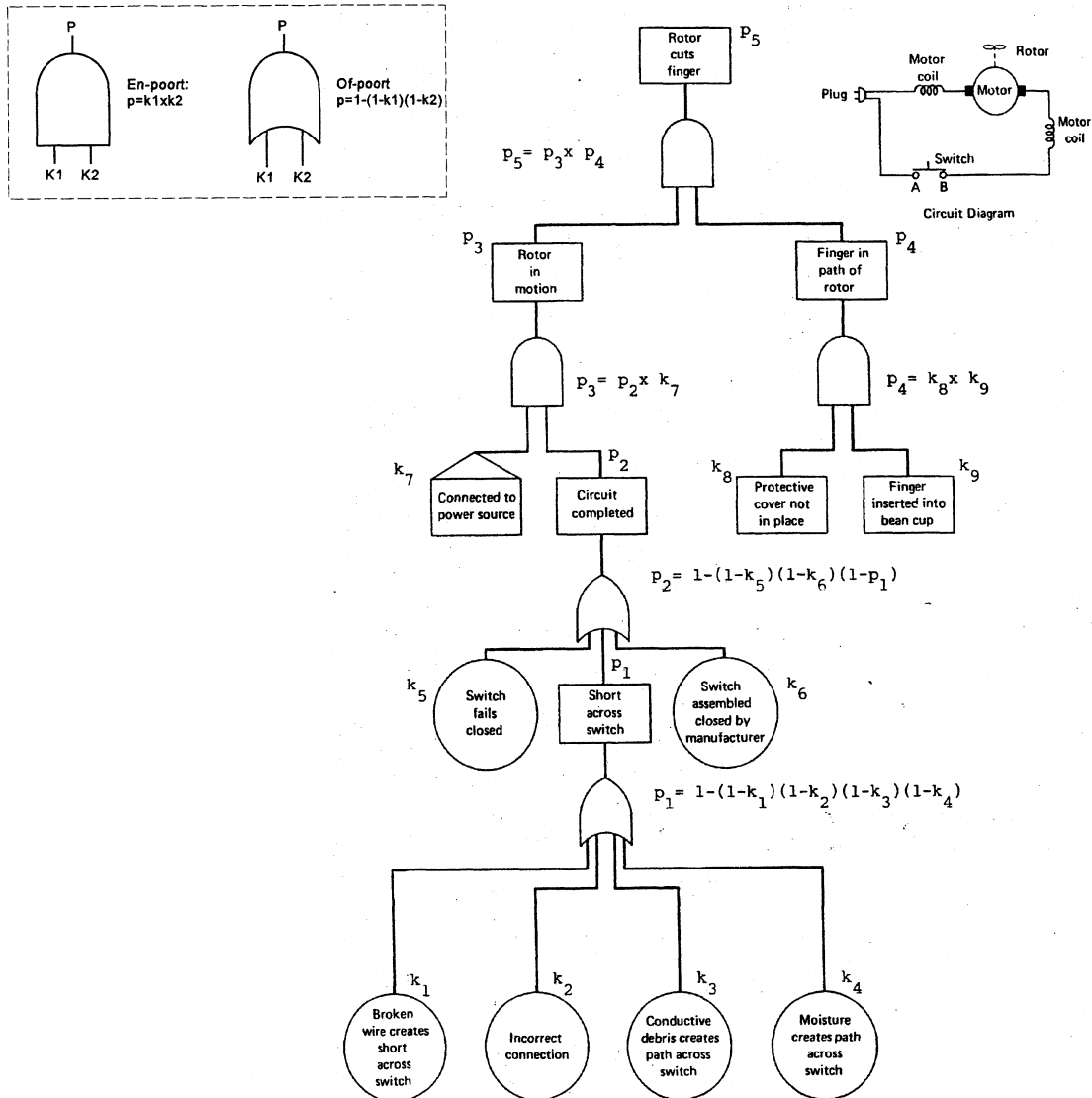
Een gebeurtenissenboom begint met een initiële gebeurtenis die vervolgens resulteert in een aantal (mogelijke) eindgebeurtenissen (ongevallen). Een faalboom daarentegen gaat uit van een (mogelijk) ongeval ('top event') waarbij de mogelijke combinaties van gebeurtenissen gezocht worden die kunnen leiden tot dat ongeval.

In een faalboom worden en-poorten en of-poorten gebruikt om het verband tussen de basisgebeurtenis(sen) en de topgebeurtenis te leggen. Leiden twee of meer oorzaken via een en-poort tot een ongeval dan moeten al die oorzaken ook samen aanwezig zijn

voordat het ongeval zal plaatsvinden. Leiden meerdere oorzaken via een of-poort tot het ongeval dan is de aanwezigheid van slechts één van die oorzaken al aanleiding tot een ongeval.

De relatie tussen de oorzaken is logisch vastgelegd en daarmee kun je rekenen. Om iets te kunnen aangeven over de kans op een ongeval (de topgebeurtenis) zijn gegevens nodig over de kans van optreden van de basisgebeurtenissen. In figuur 26.6 is aangegeven hoe uit de kans op plaatsvinden van zo'n basisgebeurtenis (k) de kans op optreden van het gevolg (p) kan worden berekend.

Meer recent wordt ook getracht om mensen in faalbomen te 'verwerken'. Over de kansen op het falen van een produkt of produktonderdeel is een en ander bekend uit onderzoek ten aanzien van levensduur en bedrijfszekerheid van produkten. Over de 'faalkans' van mensen is weinig bekend al schat men deze kans wel vele malen groter dan die van falen van het produkt. Wagenaar (1983) doet wel melding van een onderzoek waar een operator een faalkans van slechts één duizendste per maand krijgt toegeschreven maar noemt dit getal 'uiterst unrealistisch'. Bovendien rijst de vraag wat het nut is van een zeer nauwkeurige berekening van de kans op optreden van een ongeval.



Figuur 26.6 Faalboom van Norelco koffiemolen (Hammer 1980).

26.3 Waarde voor de ontwerper

Uit het voorgaande blijkt dat er in de literatuur verschillende benaderingen voor het beschrijven van ongelukken te vinden zijn, de vraag is wat een industrieel ontwerper hier nu aan heeft.

Van oudsher ligt in studies over veiligheid de nadruk op werkplek. In de privésfeer zijn duidelijk andere accenten in het omgaan met producten aanwezig dan in professionele omstandigheden (zie figuur 26.7). De ontwerper heeft weinig of geen invloed op het gedrag van de gebruiker, dus de waarde van modellen van het ongevalsproces zal vooral gezocht moeten worden in kennis van het gedrag van gebruikers.

Een belangrijk kenmerk van veel theorieën en modellen op het gebied van veiligheid in arbeids-omstandigheden is de taakstelling: daarin ligt de maatstaf besloten voor een geleverde arbeidsprestatie, in kwaliteit, kwantiteit, in gemaakte fouten enz. De taak fungeert als criterium voor het beoordelen van menselijke handelingen. De bruikbaarheid van dergelijke benaderingen voor de privésfeer lijkt beperkt.

In studies naar veiligheid ligt een eenzijdig te noemen accent op hetzij technisch/fysische kenmerken van producten hetzij psychologische/mentale kenmerken van gebruikers. In mensgerichte benaderingen, zie het figuur van Ramsey, krijgt het produkt letterlijk en figuurlijk slechts een marginale positie toebedeeld. Een gemeenschappelijk element in dergelijke benaderingen is de rol, die meestal wordt toegekend aan de gebruiker als degene die de oorzaak is van alle ellende, wat doet denken aan de klassieke brokkenmakerstheorie.

professionele omstandigheden	privé-sfeer
vaardigheid vereist; selectie, training, specialisatie mogelijk	producten voor iedereen te gebruiken, lage drempel
werktaak vloeit voort uit extern doel; legt het hoe, waar en wanneer van de activiteit in grote lijnen vast	activiteiten voorzien in behoeftebevrediging, relatief grote vrijheid hoe, waar, wanneer producten te gebruiken
human performance	product performance
grote consequenties bij fouten	gevolgen van fouten zijn vooral voor rekening van de gebruiker zelf

Figuur 26.7 Accentverschillen in de omgang met producten in kenmerken van professionele omstandigheden versus privésfeer.

In theorie is het model van Wagenaar & Reason ook toepasbaar op ongelukken in de privésfeer. Voor ontwerpers biedt een dergelijke benadering echter weinig soelaas. Ontwerpers hebben weliswaar rekening te houden met de mentale toestand waarin gebruikers kunnen verkeren bij het gebruik van hun produkt, maar kunnen daar niet of alleen beperkt invloed op uitoefenen door een (her)ontwerp. Ontwerpers van consumentenproducten zijn derhalve beperkt tot 'sleutelen' aan het eind van de keten, dat wil zeggen aan de 'onveilige handelingen' en aan de 'defences'.

26.4 Conclusie

Bijna bij alle modellen en theorieën die in de literatuur te vinden zijn ligt de nadruk op veiligheid op de werkplek. Omdat de oplossing van de problemen vaak gezocht wordt in het aanpassen van procedures, heeft de ontwerper van consumentenproducten hier niet zo veel aan.

De geconstateerde beperkingen van bestaande benaderingen maken het niet aantrekkelijk om één van deze benaderingen als uitgangspunt te nemen voor de

observatie en analyse van ongelukken met consumentenprodukten. Een geschikte manier om naar ongelukken te kijken, die wel toegespitst is op consumentenprodukten, is uitgebreid aan de orde geweest in hoofdstukken 21 tot en met 23, zie vooral figuur 22.16. Ongelukken worden dan gezien als resultaat van het technisch/fysisch functioneren van produkten. Dit functioneren is weer het resultaat van het samentreffen in tijd en plaats van produktenmerken, gebruikshandelingen en omgevingskenmerken. Welke kenmerken kunnen bijdragen aan het optreden van ongelukken, hoe je ongelukken kunt onderzoeken en hoe je tot een veiliger ontwerp kunt komen, komt aan de orde in de volgende hoofdstukken.

27 Onderzoeken van ongevallen: kwantitatief en kwalitatief

Samenvatting

Om meer te weten te komen over hoe, met welke produkten en hoe vaak ongelukken gebeuren kunnen verschillende wegen bewandeld worden. We kunnen putten uit verschillende ongevalsregistratiesystemen of er kan gezocht worden naar gedetailleerde ongevalsbeschrijvingen.

In Nederland worden door diverse instanties ongevalsgegevens verzameld en geregistreerd. Hier worden enkele bestaande registratie-systemen besproken. De belangrijkste gegevens worden vermeld. Aan het interpreteren van dergelijke gegevens zitten veel haken en ogen. Vaak is er sprake van onderregistratie. Indien wordt gewerkt met een steekproef kan er sprake zijn van onder- of oververtegenwoordiging van bepaalde slachtoffers, letsels, etc. Bovendien wordt in de verschillende registratie-systemen gewerkt met verschillende definities, zodat de systemen onderling moeilijk vergelijkbaar zijn en overlap vertonen. Ondanks dit voorbehoud kunnen ongevalsgegevens, mits ze voldoende gedetailleerd zijn en vooral als ze produktgerelateerd beschreven zijn, nuttig zijn voor de produktontwerper.

Om meer te weten te komen over de toedracht van ongevallen wordt het zogenoemde diepte-onderzoek uitgevoerd. Aan betrokken slachtoffers dan wel getuigen van een ongeval wordt gevraagd het gebeurde op één of andere wijze te reconstrueren in een telefonisch interview, in een schriftelijke vragenlijst of tijdens een onderzoek ter plaatse. Dit soort retrospectief onderzoek is gericht op beantwoorden van de vraag hoe ongevallen zijn gebeurd en welke factoren een bijdrage lijken te hebben geleverd in het optreden van deze ongevallen.

27.1 Wat is een ongeval?

Een ongeluk is altijd onverwacht, ongewenst en veroorzaakt schade of letsel.

Helaas is bij de diverse ongevallen registrerende instanties geen eenduidigheid over het begrip ongeval. Het CBS hanteert het begrip ongeval zeer ruim, het verschil bestaat vooral uit het weglaten van opzettelijk toegebracht letsel (geweld, suïcide etc.) bij de SCV. In cijfers uitgedrukt komt SCV daardoor vaak lager uit dan het CBS bij sommige categorieën. Interpreteren en vergelijken van cijfers uit verschillende bronnen is daarom een moeilijke zaak.

Hierna worden enkele gebruikte definities van ongevallen gegeven.

Definities van een bedrijfsongeval:

'Een bedrijfsongeval is een aan een volgens de Ziektewet verzekerde werknemer overkomen ongeval door of tijdens de uitoefening van zijn dienstbetrekking, waarbij zodanig letsel ontstaat dat dood respectievelijk arbeidsongeschiktheid wordt veroorzaakt.' (GAK)

'Een bedrijfsongeval (arbeidsongeval) is een ongeval van een werknemer op de loonlijst tijdens werktijd, dat verzuim tot gevolg heeft. Ongevallen die slechts een onderbreking van het werk tot gevolg hebben en waarbij het werk dezelfde dag nog hervat wordt, tellen niet mee. Ongevallen op weg naar of van het werk worden niet als arbeidsongeval gerekend. Een uitzondering wordt gemaakt voor bijvoorbeeld vertegenwoordigers of chauffeurs, bij wie het reizen onderdeel van het werk uitmaakt.' (NIA)

Definitie van een verkeersongeval:

'Een gebeurtenis op de openbare weg, die verband houdt met het verkeer waarbij tenminste één rijdend voertuig is betrokken en ten gevolge waarvan één of meerdere weggebruikers zijn overleden of gewond zijn' (CBS).

(Dus als er geen opvallend lichamelijk letsel is wordt het niet geregistreerd).

Definitie van een (privé-)ongeval:

'Een privé-ongeval is een ongeval dat plaatsvindt in en om de woning, in openbare gebouwen (school, winkel e.d.) op het trottoir en in de recreatieve sfeer (park, strand e.d.). Sportongevallen worden ook tot de privé-ongevallen gerekend. Ongevallen met de fiets of bromfiets, waarbij maar één verkeersdeelnemer betrokken is, worden ook als een privé-ongeval opgevat. (PORS)

27.2 Registratie van privé-ongevallen

Voor de ontwerper zijn gegevens over privé-ongevallen het meest van belang. We kunnen onderscheid maken tussen ongevallen met dodelijke afloop, ongevallen waarbij het slachtoffer in het ziekenhuis moet worden opgenomen en ongevallen waarbij het slachtoffer poliklinisch behandeld is.

	Doden	Ziekenhuis-opname	Spoedeisende Hulp	Huisarts-behandeling	Totaal
Verkeersongevallen	1.245	13.300	55.700	129.000	199.000
Bedrijfsongevallen	45	3.000	72.000	124.000	199.000
Privé-ongevallen	2.070	59.000	515.800	1.030.000	1.606.000
Sportongevallen	5	13.000	203.100	585.000	801.000
Letsel door geweld	175	2.480	-	-	-
„ door zelfbeschadiging	1.560	7.800	-	-	-
Totaal	5.100	98.000	*846.600	*1.755.000	*2.700.000

Bron: CBS, LMR, PORS, VIPORS. * Totaal exclusief letsel door geweld en zelfbeschadiging
Door afrondingen wijken de totalen soms af van de optellingen

Figuur 27.1 Een schatting van het jaarlijkse aantal letsels door ongevallen en geweld (Consument en Veiligheid 1996)

27.2.1 Dodelijke privé-ongevallen

Per jaar overlijden in Nederland ongeveer 2000 mensen na een privé-ongeval.

Deze ongevallen worden geregistreerd in de doodsoorzakenstatistiek van het CBS, gebaseerd op doodsoorzakenverklaringen die worden afgegeven bij het overlijden. In deze verklaringen zijn gegevens over de uitwendige oorzaak van het letsel of vergiftiging gecodeerd met een E-code en gegevens omtrent de aard van het letsel met een N-code, beide volgens het ICD-systeem. Daarnaast worden gegevens over leeftijd en geslacht van het slachtoffer en plaats van het ongeval vastgelegd.

Een beperking van deze registratie is dat de indeling vrij grof is, en dat details over de toedracht verloren gaan. Een ander bezwaar is dat er met de E-code geen onderscheid te maken is tussen een privé- en een arbeidsongeval.

In figuur 27.2 is een overzicht van dodelijke ongevallen in Nederland opgenomen. Het betreft hier alle ongevallen met uitzondering van die in het verkeer. Het aantal dodelijke ongevallen op het werk is ongeveer 45 per jaar, dus de meeste ongevallen in deze tabel

zijn privé-ongevallen.

aard van het ongeval	leeftijd						totaal
	0-4	5-14	15-24	25-44	45-64	65+	
val	5	5	4	46	78	1446	1584
verdrinking	31	17	6	16	23	18	111
vuur	10	-	6	15	7	33	71
vergiftiging	1	1	5	34	2	4	47
verstikking	26	4	4	16	14	39	103
vreemd voorwerp	-	-	-	2	1	1	4
vallend voorwerp	1	2	3	8	5	1	20
elektra	-	-	-	3	2	-	5
overig	10	9	19	49	62	92	241
totaal	84	37	43	180	186	1633	2163

Figuur 27.2 Aantal personen die in 1990 zijn overleden ten gevolge van een privé- of bedrijfsongeval naar aard van het ongeval en leeftijd van het slachtoffer (CBS, Doodsoorzakenstatistiek).

Bij de dodelijke privé-ongevallen valt het op dat de ouderen vaak vertegenwoordigd zijn. het betreft dan vooral vallen. De volgende oorzaken komen het meest voor:

- vallen: 75 % (vooral ouderen);
- verdrinken: 5 % (kinderen < 5 jaar);
- verstikken: 4 % (kinderen en ouderen);
- vuur: 3 %
- vergiftiging: 2,5 %

Om meer informatie over de toedracht van dodelijke ongevallen te krijgen is door de SCV een registratiesysteem voor dodelijke privé-ongevallen opgezet. Ten behoeve van deze registratie wordt door gemeentelijke lijkschouwers een vragenformulier ingevuld bij overlijden als gevolg van een ongeval. Op basis van deze registratie kunnen voor de verschillende leeftijdsgroepen de volgende conclusies getrokken worden (Thien 1990):

0 tot 5 jaar

Belangrijkste oorzaken zijn verdrinking, verstikking en vuur. Meestal zijn de ongevallen gebeurd tijdens het spelen met onvoldoende toezicht. Producten die een rol hebben gespeeld zijn: knikkers, lucifers, beddegoed, spenen, voedsel en stopcontacten.

5 tot 20 jaar

Ongevallen in deze leeftijdscategorie gebeuren over het algemeen wat verder van huis dan ongevallen bij de jongste leeftijdscategorie.

Verdrinking blijft de belangrijkste oorzaak, maar de ongelukken gebeuren onder andere omstandigheden dan bij de 0 tot 5-jarigen (zwembad, recreatie).

Een relatief groot deel van de ongevallen is gebeurd op een bouwplaats, een zandhoop of op een boerderij.

Uit de ongevalsbeschrijvingen is gebleken dat een deel van de ongevallen in deze leeftijdsgroep te wijten is geweest aan roekeloos gedrag.

20 tot 60 jaar

Vallen (vooral van een vaste trap) is hier de meest voorkomende oorzaak en alcohol speelt als bijkomende factor een belangrijke rol. Bij één op de drie ongevallen was sprake van overmatig gebruik van alcohol.

60 tot 70 jaar

Vallen als oorzaak van dodelijke ongevallen komt bij deze groep nog frequenter voor. Een belangrijke factor bij het optreden van ongevallen was de gezondheidstoestand van het slachtoffer. 37% had motorische, zintuiglijke of psychische stoornissen of andere gezondheidsklachten.

70 jaar en ouder

Vallen is hier bij de meeste ongevallen de oorzaak, zowel van een vaste trap als op gelijk niveau.

27.2.2 Ongevallen met ziekenhuisopname

Per jaar worden in Nederland ongeveer 60.000 mensen in het ziekenhuis opgenomen na een ongeval in de privé-sfeer. Deze gevallen worden geregistreerd via de Landelijke Medische Registratie van de Stichting Informatievoorziening voor de Gezondheidszorg.

aard van het ongeval	leeftijd						totaal
	0-4	5-14	15-24	25-44	45-64	65+	
val	1640	3471	3108	5231	5604	19483	38537
verdrinking	106	40	45	42	26	18	277
vuur	64	79	116	167	83	69	578
vergiftiging	1858	128	164	253	171	214	2788
verstikking	147	39	25	57	60	67	395
vreemd voorwerp	124	89	79	181	151	126	750
vallend voorwerp	21	45	56	141	71	28	362
elektra	4	1	11	27	5	1	49
overig	1136	2734	5874	7288	3605	3443	24080
totaal	5100	6626	9478	13387	9776	23449	67816

Figuur 27.3 Aantal ziekenhuisopnamen (exclusief overledenen) in 1990 ten gevolge van een privé- of bedrijfsongeval naar aard van het ongeval en leeftijd van het slachtoffer (SIG, Landelijke Medische Registratie).

Voor deze registratie gelden dezelfde bezwaren als voor de Statistiek van de doodsoorzaken omdat hierbij ook de E-codes gebruikt worden. Ongeveer 6.000 van deze ziekenhuisopnamen zijn het gevolg van een ongeval op het werk. Wat opvalt in figuur 27.3 is dat de groep 'overig' vrij groot is. Tot de 60 jaar is dit zeker de helft van de ongevallen. Bij nadere studie blijkt deze categorie vooral te bestaan uit:

E917 botsen tegen of niet-opzettelijk geraakt worden door voorwerpen of persoon;
 E920 ongevallen veroorzaakt door snijdende of stekende instrumenten of voorwerpen;
 E927 overinspanning en zeer inspannende bewegingen.
 Verder is ongeveer een kwart van de opnames in de leeftijdsgroep 20-60 jaar het gevolg van een ongeval op het werk.

27.2.3 Ongevallen met poliklinische behandeling

De meeste slachtoffers van ongevallen worden poliklinisch behandeld (ongeveer 800.000 per jaar) dat wil zeggen dat ze na behandeling naar huis mogen gaan.

Vanaf de tweede helft van 1983 bestaat het Privé Ongevallen Registratie Systeem (PORS) dat door de Stichting Consument en Veiligheid (SCV) is opgezet naar het voorbeeld van het Britse Home Accident Surveillance System (HASS).

De Eerste-Hulpafdelingen van veertien over het hele land verspreide ziekenhuizen registreren nauwgezet privé-ongevallen. De veertien ziekenhuizen zijn een representatieve steekproef van de ongeveer 140 algemene en academische ziekenhuizen met een continu bezette Eerste-Hulpafdeling. Elk jaar verschijnt er vervolgens een rapport van SCV, dat ook ter inzage ligt in het produktveiligheidsarchief van de vakgroep Produkt- en systeemergonomie.

De volgende gegevens worden in het PORS geregistreerd:

- korte beschrijving van de ongevalstoedracht
- leeftijd en geslacht van het slachtoffer
- vervolg van de behandeling (opname, specialistische hulp en dergelijke)
- bij ziekenhuisopname het aantal opnamedagen
- type ongeval (val van hoogte, vergiftiging en dergelijke)
- tijdstip en datum van behandeling
- plaats waar het ongeval is gebeurd
- activiteit van het slachtoffer ten tijde van het ongeval
- produkten/gebruiksvoorwerpen die bij het ongeval betrokken waren
- soort letsel
- deel van het lichaam dat is verwond.

De opgenomen ongevallen in PORS zijn produkt-gerelateerd beschreven en in zoverre dus voor het achterhalen van bij een ongeval betrokken produkt nuttig. Over de uiteindelijke toedracht van het ongeval: 'Hoe is het nu precies gekomen' is aan de hand van de PORS-gegevens meestal weinig te zeggen. Dan dient PORS als de basis voor verder onderzoek.

In figuur 27.4, 27.5 en 27.6 zijn ongevallen die in het PORS geregistreerd zijn naar plaats van het ongeval, activiteit en type ongeval weergegeven.

Het type ongevallen die hier het sterkst naar voren komen zijn:

- val op gelijk niveau 37,2 %;
- object 29,8 %;
- val van hoogte 17,3 %.

plaats van het ongeval	leeftijd						totaal
	0-4	5-14	15-24	25-44	45-64	65+	
in/om huis	37.000	29.000	37.000	67.000	38.000	34.000	241.000
straat/trottoir	11.000	32.000	30.000	31.000	20.000	19.000	143.000
sportaccomodatie	1.000	38.000	72.000	59.000	9.000	700	179.000
overig	7.000	30.000	19.000	18.000	11.000	12.000	69.000
onbekend	6.000	15.000	20.000	24.000	11.000	7.000	84.000
totaal	62.000	144.000	178.000	200.000	89.000	71.000	744.000

Figuur 27.4 Privé-ongevallen naar plaats waar het ongeval zich voordeed en leeftijd (PORS, 1991).

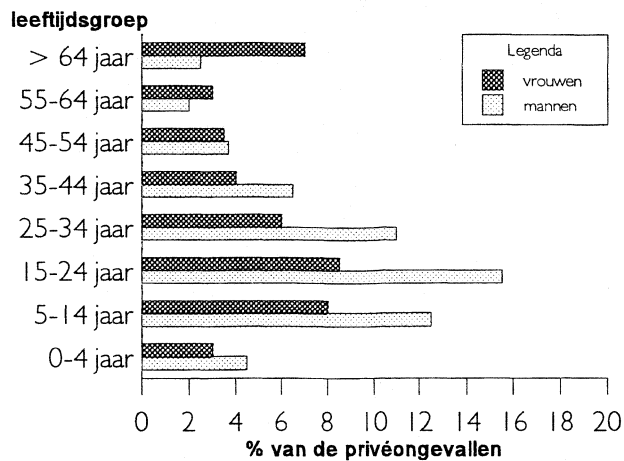
aktiviteit	leeftijd						totaal
	0-4	5-14	15-24	25-44	45-64	65+	
sport	1.000	48.000	79.000	71.000	14.000	1.000	214.000
spelen	32.000	41.000	5.000	3.000	1.000	300	83.000
vervoer	7.000	13.000	17.000	13.000	8.000	7.000	66.000
overig	8.000	20.000	34.000	50.000	32.000	27.000	170.000
onbekend	14.000	22.000	42.000	62.000	34.000	36000	211.000
totaal	62.000	144.000	178.000	200.000	89.000	71.000	744.000

Figuur 27.5 Privé-ongevallen naar activiteit ten tijde van het ongeval en leeftijd (PORS, 1991).

type ongeval	leeftijd						totaal
	0-4	5-14	15-24	25-44	45-64	65+	
val gelijk niveau	19.000	54.000	65.000	72.000	35.000	46.000	291.000
val van hoogte	15.000	31.000	26.000	27.000	16.000	14.000	129.000
object	18.000	39.000	52.000	63.000	26.000	8.000	206.000
persoon/dier	5.000	15.000	25.000	24.000	6.000	2.000	78.000
overig	5.000	5.000	9.000	13.000	5.000	2.000	40.000
totaal	62.000	144.000	178.000	200.000	89.000	71.000	744.000

Figuur 27.6 Privé-ongevallen naar type ongeval en leeftijd (PORS, 1991).

In figuur 27.7 is de leeftijdsopbouw weergegeven. Wat hierbij opvalt is dat jonge mensen (vooral mannen) sterk zijn vertegenwoordigd. Indien een produkt betrokken is bij een ongeval is dit via PORS op twee manieren terug te vinden: het produkt kan direct of indirect aanleiding zijn geweest tot een ongeval òf het produkt veroorzaakte het letsel. De tien meest voorkomende produktgroepen zijn te vinden figuur 27.8.



Figuur 27.7 Procentuele verdeling van privé-ongevallen naar leeftijd en geslacht van het slachtoffer.

produkt	leeftijd						totaal
	0-4	5-14	15-24	25-44	45-64	65+	
vloer (binnen)	14.000	17.000	14.000	19.000	10.000	32.000	107.000
bestrating	6.000	25.000	20.000	20.000	12.000	23.000	106.000
sportartikelen	1.000	31.000	26.000	25.000	9.000	2.000	96.000
vervoer	12.000	17.000	20.000	17.000	7.000	9.000	82.000
bodemgesteldheid	4.000	17.000	12.000	12.000	4.000	4.000	52.000
trap of treden	5.000	4.000	7.000	13.000	6.000	7.000	41.000
woninginrichting/ sanitair	9.000	6.000	4.000	8.000	4.000	8.000	38.000
(huis-)dieren	2.000	6.000	8.000	12.000	5.000	3.000	37.000
schoeisel	0	4.000	8.000	7.000	400	300	19.000
serviesgoed/ keukenartikelen	600	1.000	7.000	7.000	2.000	1.000	19.000

Figuur 27.8 De tien meest voorkomende produktgroepen die betrokken waren bij een privé-ongeval, naar leeftijd van het slachtoffer (PORS, 1991).

Opmerking: met het interpreteren van een dergelijke 'Top-10' van produktgroepen is voorzichtigheid geboden aangezien een andere classificatie van produkten wellicht tot een heel andere 'Top-10' van produktgroepen zal leiden.

Met de interpretatie van deze tabel moet voorzichtig worden omgesprongen. Sommige produkten vertegenwoordigen namelijk een hele groep verwante produkten zodat een wijziging in indeling van deze groepen aanzienlijke veranderingen in de volgorde teweeg kan brengen. Bovendien gaat het hier om absolute getallen. Een heel ander inzicht zou kunnen ontstaan als de produkten gerelateerd konden worden aan penetratiegraad en gebruiksfrequentie en/of -duur in de Nederlandse huishoudens.

Europese Gemeenschap

Het 'European Home and Leisure Accident Surveillance System (EHLASS), in 1986 door de EG geïntroduceerd, is bedoeld voor het verzamelen van informatie over privé- en recreatieongevallen bij Eerste-Hulpafdelingen van ziekenhuizen. De opzet is deels gebaseerd op het PORS. Voor elk land binnen de EG is een eigen EHLASS opgezet (Hoyinck en Mulder, 1992).

Voor geïnteresseerden is het mogelijk om meer specifieke gegevens uit het gegevensbestand van PORS te verkrijgen. In overleg met de aanvrager bekijkt de SCV welke selectie-criteria gehanteerd kunnen worden. In principe wordt f 125,- per uur (exclusief B.T.W.) in rekening gebracht (inlichtingen: SCV, Sector Epidemiologie, Amsterdam, 020-5114511).

27.2.4 Informatiebronnen

Op het gebied van de veiligheid/onveiligheid van produkten en situaties is veel informatie te vinden bij de Stichting Consument en Veiligheid in Amsterdam.

Behalve de hiervoor genoemde computer-uitdraai met ongevalsgegevens heeft de SCV een goed bijgehouden documentatiecentrum betreffende privé-veiligheid met literatuur uit de hele wereld.

Naast deze op veiligheid gerichte stichting zijn er natuurlijk ook algemene consumentenbelangen-organisaties die uitspraken doen over de veiligheid van produkten: Consumentenbond, ANWB, ENFB en vele andere.

Onderdeel van het Ministerie voor Welzijn, Volksgezondheid en Cultuur (WVC) is de hoofdafdeling Produktveiligheid waar men ook de aandacht gericht heeft op consumentenprodukten en dan vanuit de optiek van de regelgeving (met name: Warenwet).

Het toezicht op de Warenwet valt onder de verantwoordelijkheid van de Inspectie Gezondheidsbescherming (IGB), voorheen de Keuringsdienst van Waren. De diensten in 's-Gravenhage en 's-Hertogenbosch zijn gespecialiseerd in produktveiligheid.

Voor verkeersveiligheid is de meest aangewezen ingang de SWOV (Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid) in Leidschendam. En voor de bedrijfs sfeer is er in Amsterdam het Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden (NIA) met uitgebreide bibliotheek en een staf deskundigen.

Klachten over produkten komen ook vaak terecht bij leveranciers en fabrikanten van desbetreffende produkten.

27.3 Reconstructie van ongevallen met consumentenprodukten

27.3.1 Diepte-onderzoek naar ongevallen met produkten

De Stichting Consument en Veiligheid besluit tot diepte-onderzoek, nadat op basis van PORS-gegevens is gesignaleerd dat een bepaald produkt of een bepaald type ongeval nadere aandacht verdient. De in het PORS geregistreerde slachtoffers, die een ongeval hebben gehad dat binnen het betreffende aandachtsgebied valt, worden schriftelijk benaderd en verzocht mee te doen.

Diepte-onderzoek kan bestaan uit (een combinatie van) schriftelijke vragenlijsten, mondelinge interviews, telefonische ondervraging of observatie ter plaatse. De resultaten van diepte-onderzoeken worden gepubliceerd; de rapporten zijn verkrijgbaar bij SCV. Tot dusver zijn door de SCV de volgende diepte-onderzoeken naar ongevallen met produkten gedaan: huishoudtrappen, kettingzagen, cirkelzagen, trimtoestellen, reinigen van ramen, verdrinkingen bij kinderen, beknellingen tussen deuren, autoportieren en fietsspaken, vuurwerk en accidentele vergiftigingen.

In het buitenland bestaan met SCV vergelijkbare instanties, waaronder:

- Home Accident Surveillance System (HASS), verzorgd door het Department of Trade and Industry (DTI) (Groot Brittannië);
- Consumer Product Safety Commission (CPSC) (U.S.A.): de CPSC heeft, naast het signaleren van problemen met de veiligheid van produkten, ook wettelijke bevoegdheden, vergelijkbaar met die van de Nederlandse Inspectie Gezondheidsbescherming. Verspreid door het land heeft de CPSC werknemers, die onderzoek ter plaatse doen bij slachtoffers, die zijn geregistreerd in het National Electronic Injury Surveillance System (NEISS). Gegevens verzameld door de CPSC zijn openbaar en (tegen betaling) op te vragen.

In een evaluatie van de ontwerprelevantie van de resultaten van diepte-onderzoek verricht door instanties zoals SCV en de CPSC, kwam het volgende naar voren:

- gegevens uit telefonische of schriftelijke vragenlijsten zijn over het algemeen te globaal: over het produkt, de gebruikshandelingen en de omgeving wordt alleen globale informatie verkregen bij deze twee dataverzamelmethodeën;
- hoewel dataverzameling in onderzoeken ter plaatse uitgebreid is opgezet, worden de gegevens doorgaans in kwantitatieve zin beschreven. Inzicht in de toedracht levert dit niet op;
- diepte-onderzoeken zijn over het algemeen beperkt tot één bepaalde categorie produkten of type ongevallen. Over ongevallen met niet tot deze categorieën behorende produkten zijn geen, of alleen sporadisch, gegevens beschikbaar.

Gezien het gebrek aan gegevens en de beperkingen van beschikbare gegevens is de Vakgroep Produkt- en systeemergonomie zelf met onderzoek gestart. Binnen dit onderzoek is een methode ontwikkeld voor verzamelen uitgebreide ongevalsgegevens, die toepasbaar zijn bij het (her)ontwerpen van produkten.

Hierna wordt beschreven op welke wijze(n) ongevalsgegevens kunnen worden verkregen, die zoveel mogelijk zijn toegespitst op de toepasbaarheid bij het (her)ontwerpen van produkten.

27.3.2 Verzamelen van ongevalsgegevens

Inleiding

Onderzoek naar ongevallen is geen kwestie van: 'Erop af en gewoon vragen.' Wat je onderzoekt en hoe je dat doet kan sturend zijn voor de resultaten van een onderzoek, met als mogelijk gevolg dat niet-effectieve preventieve maatregelen worden genomen.

Eerst wordt ingegaan op kenmerken, die mogelijk relevant kunnen zijn voor het optreden van ongevallen met consumentenprodukten. Daarna meer over de vraag hoe ongevallen te onderzoeken en over de moeilijkheden die daarbij om de hoek komen kijken.

Het type onderzoek, waar het hier om gaat, is gericht op het beantwoorden van de vraag hoe ongevallen zijn gebeurd en welke factoren een bijdrage hebben geleverd in het optreden van deze ongevallen.

Wat onderzoeken?

Zoals eerder beschreven, wordt de kans op ongevallen gezien als een aspect van het functioneren van produkten. In technisch/fysische zin is dit functioneren het resultaat van het samentreffen in tijd en plaats van produktkenmerken, gebruikshandelingen en omgevingskenmerken. Fysieke en mentale kenmerken van het slachtoffer zijn relevant voor zover ze van invloed zijn op gebruikshandelingen en de keuze van omgevingskenmerken.

Bij een ongeval is er letsel opgetreden tijdens gebruik. In onderzoek naar ongevallen gaat

het er om te achterhalen waar en hoe een produkt is gebruikt voorafgaand aan het ontstaan van letsel. Daarmee is echter nog niet aangegeven welke kenmerken van het produkt, het gebruik, de omgeving en de gebruiker belangrijk zijn om te onderzoeken. Op basis van literatuur op het gebied van veiligheid en op basis van voorgaand onderzoek, zoals onderzoek naar ongevallen en gebruiksonderzoek, is een overzicht gemaakt van kenmerken van het produkt, het gebruik, de omgeving en de gebruiker, die mogelijk relevant zijn voor het optreden van ongevallen met consumentenprodukten. Hieronder volgt een overzicht van deze mogelijk relevante kenmerken, ingedeeld naar gebruik, produkt, omgeving en gebruiker. Het overzicht geldt voor consumentenprodukten in het algemeen en valt uiteraard toe te spitsen op één groep of categorie produkten.

<i>Produkt</i> gewichtverdeling scherpe delen of bramen hete oppervlakken bewegende delen elektrische spanning afmeting, textuur en plaatsing van handgrepen produktgrafiek staat van onderhoud, defecten	<i>Omgeving</i> plaats van handeling / werkvlak inrichting (werk)ruimte omstanders / helpers bewerkt materiaal andere produkten licht geluid temperatuur weersomstandigheden
<i>Gebruikshandelingen</i> verrichte handelingen/bewegingen volgorde handelingen/bewegingen lichaamshouding bedieningshanden uitgeoefende kracht blikveld	<i>Gebruiker</i> fysieke/mentale toestand (t.t.v. ongeval) ervaring (met produkt) gebruiksgewoonten kleding/schoeisel bekendheid met risico's antropometrische kenmerken

Figuur 27.9 Overzicht mogelijk relevante kenmerken.

Een overzicht van mogelijk relevante kenmerken kan nooit volledig zijn, net zo min als beweerd kan worden dat alle relevante gegevens zijn verzameld. Ongevallen zijn per definitie unieke gebeurtenissen, en dit brengt met zich mee dat tijdens een onderzoek nieuwe mogelijk relevante kenmerken naar voren kunnen komen. In de methode van onderzoek moet ruimte worden gelaten om op deze 'nieuwe' dingen in te kunnen springen.

Dit brengt ons op een volgend punt: hoe ongevallen te onderzoeken?

27.3.3 Hoe ongevallen onderzoeken?

Een uitgebreide literatuurstudie en een vergelijkende studie naar de consequenties die de gebruikte methode van onderzoek heeft voor vertekening in ongevalsgegevens is te vinden in Weegels (1992). In het kort volgt hier belangrijke aandachtspunten in een ongevalsonderzoek.

Methode van dataverzamelen

Uit een vergelijking van verschillende methoden van onderzoek naar ongevallen, kwam naar voren dat in een onderzoek op de plaats van het ongeval verreweg de meest uitgebreide gegevens worden verkregen; in een telefonische/schriftelijke vragenlijst wordt alleen globale informatie verkregen over het produkt, het gebruik en de omgeving. Wat mensen zeggen komt niet altijd - of misschien zelfs meestal niet - overeen met wat ze doen. Nog afgezien van de moeilijkheid om in woorden uit te drukken hoe een produkt is gebruikt, is het raadzaam het gebruik van produkten te observeren en niet alleen af te

gaan op wat mensen zeggen.

Het vastleggen van gegevens op band (geluid en video) levert meer gedetailleerde en ook extra gegevens op boven het maken van foto's en het op schrift stellen van observaties; het op schrift stellen van observaties impliceert een schifting en interpretatie van gegevens. Video- of geluids-opnamen kunnen meerdere keren bekeken en beluisterd worden; dit is handig als je nog niet precies weet wat belangrijke zaken zijn. Een directe registratie van gegevens verdient zodoende de voorkeur.

Manier van vragen

De organisatie van een interview, in termen van open of gesloten vragen stellen, kan consequenties hebben voor de uitkomsten.

In een open interview zijn de onderwerpen die aan de orde moeten komen niet vastgelegd. Het slachtoffer is dan vrij in de onderwerpen die deze ter sprake wil brengen; de interviewer is afhankelijk van wat het slachtoffer relevant vindt en dat kan verschillen van wat de onderzoeker wil weten. Zo zijn slachtoffers vaak geneigd breed uit te weiden wat er allemaal gebeurde na het ongeval (bv. de dokter) en niet wat daaraan vooraf ging. In een gesloten vragenlijst zijn de volgorde van vragen, de formulering van de vragen en de antwoordcategorieën vastgelegd. In dit geval kom je alleen iets te weten over wat je van tevoren bedacht hebt; in verkennend onderzoek, waarbij inzicht in de mogelijk relevante factoren in ieder geval ten dele ontbreekt, is dat niet handig. Gebruik maken van antwoordcategorieën heeft het voordeel dat de gegevens snel te verwerken zijn; respondenten kunnen echter niet altijd 'hun ei kwijt' in de vooraf opgestelde categorieën. In zowel open interviews als gesloten vragenlijsten wordt het risico gelopen mogelijk relevante zaken over het hoofd te zien; de keuze voor hetzij open interview, hetzij gesloten vragenlijsten is daarom niet aantrekkelijk.

Aangeraden wordt een open interview te combineren met een aandachtspuntenlijst, die kan worden gebruikt als geheugensteun voor de interviewer. In deze lijst komen de door de onderzoeker relevant geachte kenmerken te staan.

Een interview beginnen met het afvuren van vragen kan sturend zijn voor de onderwerpen die een respondent ter sprake brengt; het is daarom beter de respondent eerst vrij te laten in het vertellen van diens verhaal. Pas als de respondent is uit-verteld wordt overgegaan naar een vragenlijst of aandachtspuntenlijst.

Mensen dingen in de mond te leggen, dat wil zeggen suggestieve vragen te stellen, zoals 'Werd u afgeleid?', moet worden vermeden.

Verder is het oppassen geblazen met doorvragen over details, zoals hoe dingen precies waren. Hoewel deze details uiterst belangrijk kunnen zijn, is het goed mogelijk dat een slachtoffer zich deze details niet herinnert; als de interviewer doorvraagt, gaat het slachtoffer wellicht gissen om toch een antwoord te geven. Deze aanbeveling is niet in overeenstemming met hetgeen in gangbare interviewcursussen wordt geleerd: daar wordt aangespoord juist door te vragen op details.

Vertekening door geheugenprocessen

In dit soort retrospectief onderzoek loop je tegen de moeilijkheid aan dat gesteund moet worden op het geheugen van het slachtoffer. Uit de literatuur is bekend is dat geheugenprocessen en percepties het beeld dat het slachtoffer heeft van het gebeurde kunnen vertekenen. Deze vertekening is niet terug te draaien, maar wel te beperken door slachtoffers snel op te zoeken en het vooral niet erger te maken door de manier van ondervragen.

Een gebeurtenis wordt regelmatig uit het geheugen opgehaald, bijvoorbeeld bij het doorvertellen van het gebeurde. Telkens wordt de gebeurtenis gereconstrueerd in termen van wat is waargenomen. Aan deze waarnemingen wordt de interpretatie van het waarom

van het ongeval toegevoegd. Na verloop van tijd valt niet te onderscheiden wat feitelijk is gebeurd en wat er omheen is gedacht. Op deze wijze kunnen mensen in alle eerlijkheid een onjuist verslag doen van gebeurtenissen. De invloed van deze herhaalde reconstructie van het gebeurde blijft beperkt, wanneer zo snel mogelijk na het ongeval het interview wordt afgenomen. Het ophalen van gegevens uit het geheugen wordt vergemakkelijkt bij reconstructie van het ongeval door het slachtoffer te laten voordoen hoe deze het produkt ten tijde van het ongeval hanteerde en door het interview af te nemen op de plaats van het ongeval. Opgemerkt wordt dat het niet altijd mogelijk is om slachtoffers te laten voordoen hoe ze het produkt gebruikten; sommige slachtoffers zijn bijvoorbeeld bang voor een herhaling van het ongeval.

Samenvatting

Samenvattend zijn de meest uitgebreide en zo min mogelijk vertekende gegevens over ongevallen te verkrijgen op de volgende wijze(n):

- zo snel mogelijk naar het slachtoffer toe gaan;
- onderzoek doen op de plaats van het ongeval;
- reconstructie maken op de plaats van het ongeval, door het slachtoffer te laten voordoen hoe deze het produkt hanteerde ten tijde van het ongeval;
- afnemen van een open interview, waarbij een aandachtspuntenlijst als back-up wordt gebruikt;
- het slachtoffer eerst vrijlaten in het vertellen van diens verhaal, dan pas overgaan naar het stellen van vragen;
- registreren van reconstructie en interview met behulp van video- en geluidsapparatuur;
- produkt meenemen voor inspectie.

Onderzoek op de plaats van het ongeval, het analyseren van video-opnamen en het uitwerken van geluidsbandopnamen, is doorgaans tijdrovend. Bovendien blijkt achteraf vaak, dat niet alle verzamelde gegevens relevant zijn. In verkennend onderzoek, waarbij inzicht in de (ir)relevantie van factoren of kenmerken ontbreekt, verdient het toch aanbeveling in beginsel zo uitgebreid mogelijk gegevens te verzamelen. Immers, voor zover over kenmerken geen gegevens zijn verzameld, kan achteraf niet altijd meer worden nagegaan of deze kenmerken ertoe doen.

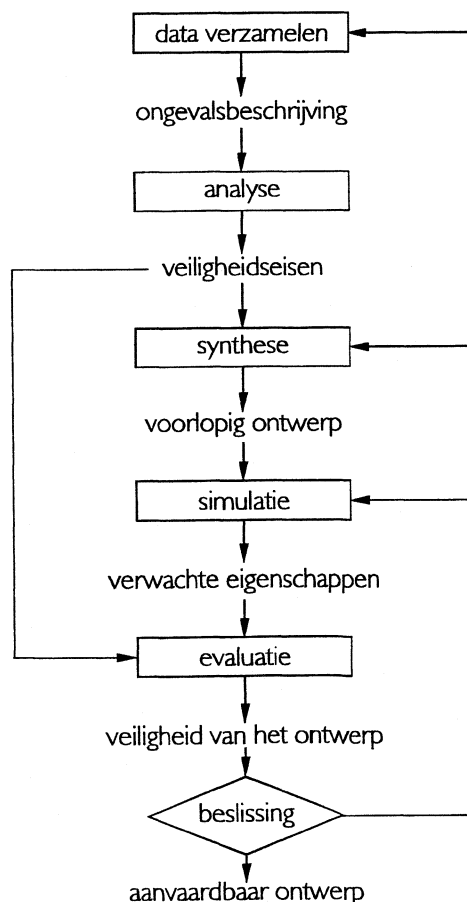
28 Produktveilig ontwerpen

Samenvatting

In de IO-opleiding wordt aandacht besteed aan produktveiligheid om te voorkomen dat het daadwerkelijk gebruik van ontworpen produkten resulteert in ongelukken. Om het risico voor toekomstige gebruikers te beperken is het noodzakelijk dat de ontwerper vanaf de eerste concepten rekening houdt met veiligheidsaspecten van het produkt. Op deze manier kan een zo veilig mogelijk produkt worden gerealiseerd tegen een acceptabele kostprijs. Indien er pas aan veiligheid gedacht wordt in een stadium waar het produkt reeds vastligt of, nog erger, al op de markt is, zijn maatregelen over het algemeen veel duurder. Als het nodig is de consument te waarschuwen via de media kan dit bovendien het imago van het bedrijf schaden (zie voorbeelden van waarschuwingen van fabrikanten in dagbladen in de bijlage).

Het is heel moeilijk, zo niet onmogelijk, algemene richtlijnen voor een veilig ontwerp te geven. In dit hoofdstuk wordt daarom een methode beschreven waarmee veiligheid in het ontwerpen geïntegreerd kan worden, zodat voor ieder produkt rekening kan worden gehouden met veiligheid.

28.1 Methode produktveiligheid



Figuur 28.1 Methode produktveilig ontwerpen.

Om bij het ontwerpen van produkten rekening te houden met (on)veiligheid wordt een methode gepresenteerd die is geënt op de basiscyclus van het ontwerpen (Roozenburg en Eekels, 1991). Het komt erop neer dat het ontwerpproces doorlopen wordt, en er bij elk onderdeel aangegeven wordt wat gedaan moet worden om aan het eind een zo veilig mogelijk produkt te realiseren (zie figuur 28.1).

Er is sprake van een iteratief proces: op basis van analyse van de beschikbare informatie wordt een oplossing gegenereerd, deze wordt getoetst aan het programma van eisen. Deze cyclus wordt net zo lang herhaald tot het produkt volgens de ontwerper voldoende veilig is. De methode start met het verzamelen van gegevens. Het doel is om zoveel mogelijk inzicht te krijgen in mogelijke ongelukken met het te ontwerpen produkt. Deze activiteit is onderdeel van de informatie-fase van het ontwerpproces.

Het verloop van de volgende stappen (analyse, synthese, simulatie en evaluatie) is vergelijkbaar met het ontwerpen, behalve dat het accent hier op veiligheid ligt. In de evaluatie wordt het ontwerp getoetst aan veiligheidseisen en kan er een uitspraak over de veiligheid van het ontwerp gedaan

worden. In de laatste stap wordt beslist of het produkt voldoende veilig is. Zo ja, dan is er sprake van een aanvaardbaar ontwerp. Zo nee, dan wordt het proces opnieuw doorlopen. In de volgende paragrafen worden de verschillende elementen nader toegelicht.

28.2 Informatie verzamelen

De aanpak in deze fase is afhankelijk van de beschikbare informatie over ongelukken met het te ontwerpen produkt. Er zijn verschillende situaties denkbaar:

- het is een bestaand produkt waar al ongelukken mee gebeurd zijn;
- het is een bestaand produkt waarmee (nog) geen ongelukken gebeurd zijn;
- het is een nieuw produkt waar nog niets over bekend is.

De meest nuttige informatie is die over werkelijk gebeurde ongelukken. Daarnaast is het zinvol te kijken naar de manier waarop in bestaande produkten rekening gehouden is met veiligheid. In het geval dat er geen ongevalsgegevens voorhanden zijn kan door gebruiksonderzoek inzicht verkregen worden in mogelijke gevaren van het produkt. Bij een nieuw produkt zal dan eerst een model of prototype van het produkt beschikbaar moeten zijn. De ontwerper kan bij het ontwerpen van een nieuw produkt ook inzicht in mogelijke gevaren krijgen door te kijken naar het gebruik van bestaande produkten die een vergelijkbare functie hebben.

28.2.1 Ongevallen met produkten

Bij het verzamelen van gegevens over ongevallen met consumentenprodukten kunnen we onderscheid maken tussen geaggregeerde data en gedetailleerde data.

Geaggregeerde data zijn gecompileerde gegevens in ongevalsstatistieken en registratiesystemen. Bekende voorbeelden zijn het Privé Ongevallen Registratie Systeem (PORS), Statistiek der Doodsoorzaken, Landelijke Medische Registratie (LMR). Voor de ontwerper van een specifiek produkt zijn deze gegevens over het algemeen niet of slechts beperkt bruikbaar.

Bij het ontwerpen van produkten zijn vooral gedetailleerde gegevens over de toedracht van ongevallen met het produkt van belang. Deze gegevens kunnen op de volgende manier verkregen worden:

- door reconstructie van ongevallen,
- uitvoeren van gebruiksonderzoek,
- bestuderen van beschikbare literatuur met ongevalsbeschrijvingen,
- verzamelen van kranteberichten en
- bestuderen van klachten bij de Advies- en klachtenlijn.

Er zijn twee voorbeelden van een uitgebreide ongevalsbeschrijving in de tekst opgenomen om een indruk te geven welke factoren zoal een rol kunnen spelen. Voor een uitgebreide beschrijving van de werkwijze bij het reconstrueren van ongevallen wordt verwezen naar hoofdstuk 27.

28.2.2 Bestaande oplossingen

In bestaande produkten is meestal ook aandacht aan veiligheid besteed. Bij een herontwerp moeten deze veiligheidsvoorzieningen kritisch bekeken worden. De stand van de techniek is soms vastgelegd in veiligheidsnormen maar kan ook worden nagegaan aan de hand van het bestaande marktaanbod. Het is van belang er achter te komen welke veiligheidsvoorzieningen reeds aangebracht zijn op de bestaande produkten en welk gevaar eraan ten grondslag heeft gelegen.

In een aantal gevallen zijn er eisen vastgelegd in produktveiligheidsnormen of in wettelijke bepalingen (zie ook hoofdstuk 29). Indien er voor het te ontwerpen produkt een wet of norm is dient de ontwerper daar rekening mee te houden. De eisen die in produktveiligheidsnormen of wettelijke bepalingen genoemd zijn kunnen meestal

rechtstreeks in het P.v.E. opgenomen worden.

Elektrische houtschaaf

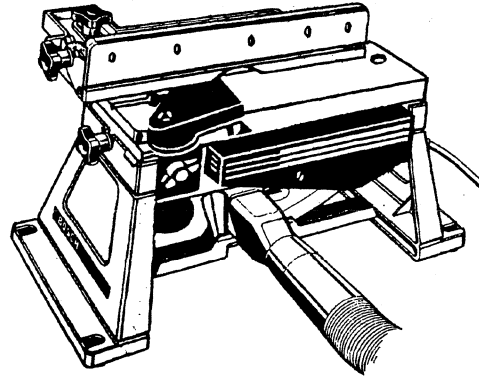
R, een man van 63 jaar, stond in de schuur een stukje hout te schaven. De schuur is ingericht als werkplaats. R had in huis een schouw afgebroken en moest een klein stukje hout hebben voor het afmaken van de plint. Hij had net gegeten (om twaalf uur) toen hij aan de slag ging met het stukje hout voor de plint.

Het stukje hout zaagde hij eerst op maat (ongeveer 10 bij 6 centimeter). Daarna wilde hij het stukje hout schaven. Het schaven deed hij met een elektrische schaaaf in een stationaire opstelling.

Hij duwde het stukje hout met beide handen richting messen. Met zijn duimen duwde hij het plankje voort. Op het moment dat het werkstuk bij de messen aanbeld was, werd het gegrepen en sloeg het weg.

R gleed van het hout af en kwam met beide middelvingers in de draaiende messen terecht. Het topje van zijn rechter middelvinger was vanaf de nagelriem geamputeerd. Het topje van zijn linker middelvinger zat nog vast maar hing er los bij. Tussen de beschermkap en de schaaaf zet R meestal een latje om de beschermkap opzij te houden; als de beschermkap over de messen heen valt kan je volgens R niet goed zien wat je doet. Ten tijde van het ongeluk had R de beschermkap ook opzij gezet.

Normaal schaaft R eerst het hout voordat hij het op maat zaagt. Deze keer had R eerst het hout op maat gezaagd, iets wat hij nog nooit eerder zo had gedaan. R schaafde een stukje multiplex van ongeveer 10 x 6 cm met een dikte van 0.9 cm. Het hout was droog en had geen knoesten.



28.3 Analyse

In de analyse-fase worden de gewenste functies van het produkt vertaald in ontwerpcriteria of eisen die aan het produkt gesteld kunnen worden.

28.3.1 Analyse van ongevallen

Om te komen tot zinvolle veiligheidseisen moet vastgesteld worden welke kenmerken van de geconstateerde ongevallen met het produkt relevant zijn.

In het algemeen kan gesteld worden dat een kenmerk relevant is indien bij afwezigheid van dat kenmerk het ongeval niet gebeurd was. Bij de case van de schaafmachine (zie tekstkader) is het schaven van een te kort stukje hout wel een relevant kenmerk voor dit ongeval, het blokkeren van de beschermkap niet. Het ongeluk was namelijk even goed gebeurd als de kap op z'n plaats gezeten had.

Dit betekent niet dat het geen belangrijk gegeven is: het nut van de kap is zeer twijfelachtig als deze geblokkeerd wordt.

Zoals in hoofdstuk 22 beschreven is wordt het functioneren van een produkt bepaald door de volgende factoren:

- produktenmerken,
- gebruiksacties in samenhang met het produkt en
- de situatie waarin het produktgebruik zich afspeelt.

Om de geconstateerde ongevallen te voorkomen kunnen de produktenmerken zodanig worden aangepast dat ongeacht de handelingen van de gebruiker het ongeval niet meer kan plaatsvinden, of dat gebruikshandelingen worden afgedwongen waarmee de situatie binnen veilige grenzen blijft.

Keukenmachine

R, een vrouw van 69 jaar, wilde 's middags alvast de salade voor het avondeten maken. Het fijnmalen van de ingrediënten wilde ze met de keukenmachine doen.

R had de ingrediënten voor de salade al in stukken gesneden. De keukenmachine zette ze op het werkblad van de keukenkast. Voor het fijnmalen van de ingrediënten wilde ze het sikkelmes gebruiken.

Om de beide messen zitten blauwe hoesjes, die de vorm hebben van het mes. R haalde het sikkelmes uit de kom. Het sikkelmes had R met links vast, de hoesjes eraf halen deed R met rechts. Het eerste hoesje ging er vrij gemakkelijk af. Het tweede hoesje zat nogal strak om de messen heen. Daarom haalde ze deze als laatste eraf. Terwijl ze het hoesje eraf trok, viel het sikkelmes uit haar handen. Volgens R schoot ze uit, omdat het hoesje knelde.

In een poging het sikkelmes met haar rechterhand op te vangen, raakte één van de messen de bovenkant van haar ringvinger. Daarbij werd een pees doorgesneden.

Volgens R was er niks gebeurd als ze aan het aanrecht had gestaan:

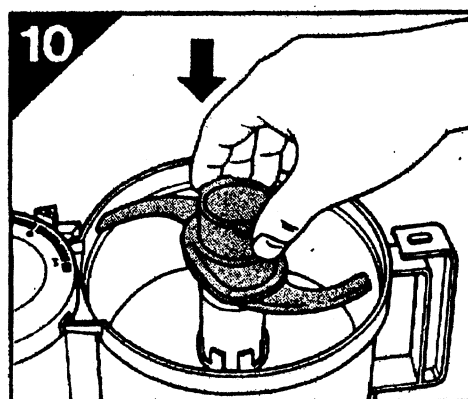
'Want kijk, sta je bij het aanrecht, dan sta je er dichterbij, dan valt ie weer terug in dat ding (d.i. de kom) zelf.'

Het sikkelmes viel direct richting grond, het kwam niet eerst op het werkblad terecht. Het mes raakte haar hand ter hoogte van de laden van de keukenkast. Het hoesje had R bij het grijpen nog vast.

R had geen sneetjes of wondjes aan haar handen. R droeg een ring; deze hinderde R niet. R droeg een jurk met lange mouwen. Aan haar voeten had ze pantoffels.

R had geen idee dat dit kon gebeuren. R wist wèl dat de messen scherp waren.

R zegt dat ze altijd heel voorzichtig de hoesjes eraf haalt. Ze is sowieso altijd voorzichtig met dit soort dingen.



Voor het programma van eisen betekent dit dat er de volgende eisen uit gebeurde ongevallen kunnen worden gedestilleerd:

- de produktenmerken zijn zodanig dat bij de bewuste handeling in die specifieke situatie geen ongeval kan gebeuren;
- de produktenmerken zijn zodanig dat de bewuste handeling in die situatie niet of zeer onwaarschijnlijk zal voorkomen.

In het eerste geval worden de gevaarlijke produktenmerken aangepakt, in het tweede geval worden de handelingen van de gebruiker beïnvloedt.

Een voorbeeld van het beïnvloeden van gebruikshandelingen is het herontwerp van de haardroger van Mauro (Mauro 1978, zie de reader van ide 130). Uit de analyse van ongevallen bleek dat het mis ging als de haardroger in een vochtige ruimte gebruikt werd. De haardroger werd in een doos ingebouwd, die aan de wand bevestigd kon worden, zodat de gebruiker de droger niet in de hand hoefde te houden en daardoor minder risico liep.

Uit het bovenstaande blijkt dat het nodig is te weten welke gebruikshandelingen en welke omgevingsvariabelen van invloed zijn op het optreden van een ongeluk.

28.4 Synthese

De volgende stap is de synthese, waarin ontwerpvoorstellen of concepten ontwikkeld worden. Om ongevallen met het produkt te voorkomen kan de ontwerper zich bedienen van een aantal oplossingsstrategieën. Het is aan te bevelen met de eerste strategie te beginnen. Als deze niet mogelijk is of op praktische bezwaren stuit, kan de volgende strategie worden geprobeerd. De verschillende strategieën kunnen ook tot complementaire oplossingen leiden.

a. Gevarenbron verwijderen

De meest effectieve manier om ongevallen te voorkomen is het wegnemen van de gevarenbron. Het gevaar van snijden kan worden voorkomen door het verwijderen van scherpe randen. Dit is eenvoudig als de gevaarlijke onderdelen verder geen functie hebben. Indien het gevaar inherent is aan de functie van het produkt kan dit alleen weggenomen worden als een ander principe gekozen wordt om deze functie te vervullen. Het gevaar om gegrepen te worden in een mechanische overbrenging (tandwiel of ketting) kan voorkomen worden door een hydraulische of elektrische overbrenging te kiezen.

b. Gevarenbron terugdringen

Als de gevarenbron niet verwijderd kan worden, maar de functie ook vervuld kan worden door minder gevaarlijke eigenschappen, is dit een mogelijkheid om letsel te voorkomen of in ieder geval te beperken. Voorbeelden hiervan zijn het toepassen van laagspanning in elektrische dekens of in kinderspeelgoed, het beperken van de hoeveelheid medicijnen per verpakking, het minder scherp maken van messen in een keukenmachine etc. Het is in dit geval wel belangrijk dat de 'veilige' belasting van de gebruiker bekend is. Bij elektrisch gevaar is dit bekend, maar over de toelaatbare mechanische belasting van het menselijk lichaam is nog niet zoveel bekend (Viano et al., 1990). Op het gebied van de verkeersveiligheid is heel veel gedaan aan het terugdringen van het gevaar dat ontstaat door plotseling vertragen of versnellen bij botsingen. Aan de ene kant door de maximale vertraging te verminderen, bijvoorbeeld door een kreukelzone in de auto in te bouwen. Aan de andere kant door toepassing van autogordels.

c. Gevarenbron isoleren

Indien het niet mogelijk is de gevarenbron te verwijderen of terug te dringen tot een acceptabele waarde, moet voorkomen worden dat personen in aanraking kunnen komen met de gevarenbron. Hiervoor bestaan verschillende mogelijkheden:

- Afschermen gevaarlijke delen van het produkt.
Hierbij kan gedacht worden aan omkasting van bewegende delen. Indien het voor de functie van het produkt nodig is om op bepaalde momenten de beveiliging te omzeilen is het ook mogelijk een selectieve afscherming te realiseren. Een voorbeeld daarvan is de kinderveilige verpakking: de stof in de verpakking is gevaarlijk voor jonge kinderen, maar voor de functie is het noodzakelijk dat volwassenen de stof kunnen bereiken. De selectieve afscherming bestaat uit een sluiting die wel door volwassenen maar niet door kinderen geopend kan worden. Een groot probleem bij afscherming is het al dan niet moedwillig verwijderen van de omkasting. Een effectief middel om te voorkomen dat het produkt zonder afscherming gebruikt wordt is het opnemen van veiligheidsschakelaars of 'interlocks'. Hiermee wordt de energietoevoer van het apparaat onderbroken als de afscherming verwijderd is. Een voorbeeld is de veiligheidsschakelaar op de deur van een magnetron, die het apparaat uitschakelt als de deur geopend wordt.
- Buiten bereik plaatsen van gevaarlijke delen.
Een strategie die heel goed gebruikt kan worden voor produkten die aan de wand of het plafond bevestigd zijn (bv. een plafondventilator), of produkten waarop de gebruiker een min of meer vaste positie heeft (bv. een fiets). In het geval van de bestaande plafondventilator wordt aanbevolen deze minstens 230 cm boven de vloer te hangen (zie bijlage 13). Kennelijk wordt hierbij geen rekening gehouden met een uitgestoken arm van een volwassen persoon!

d. Deactiveren van de gevarenbron vóór er letsel kan optreden

Indien het onmogelijk is het gevaar af te schermen omwille van de functie van het produkt

moet er een beveiliging worden gerealiseerd die ervoor zorgt dat de gevarenbron afgeschakeld wordt als het gevaar reëel wordt. Voorbeelden hiervan zijn:

- kettingrem op een motorkettingzaag die geactiveerd wordt als de zaag tegen de gebruiker dreigt te slaan;
- dodemansknop op een sneeuwscooter;
- waakvlambeveiliging en trekonderbreking op aardgastoestellen.

e. Optimaliseren van gebruik/bediening

Naast de genoemde strategieën kan door middel van een goede bediening van het produkt de kans op een ongeval beperkt worden. Als het produkt makkelijk gehanteerd kan worden is de kans dat de gebruiker de controle over het produkt verliest minimaal en door plaatsing van handgrepen en bedieningsmiddelen kan de kans op aanraking van gevaarlijke delen verminderd worden.

f. Toevoegen produktinformatie

Als laatste mogelijkheid kan het gedrag van de gebruiker beïnvloed worden door informatie op of bij het produkt. Dit kan in de vorm van produktgrafiek of waarschuwingen op het produkt zelf, maar ook door aanwijzingen voor veilig gebruik in de gebruiksaanwijzing of op de verpakking.

Voor de uitvoering van waarschuwingstekens kan het FMC-systeem gebruikt worden (FMC, 1985). Normen op dit gebied zijn:

ISO 3864: 1984, Safety colours and safety signs

ISO 7000: 1989, Graphic symbols for use on equipment - Index and synopsis.

ISO/IEC Guide 37:1983, Instructions for use of products of consumer interest.

Meer informatie hierover is te vinden in hoofdstuk 15 van dit diktaat.

In het algemeen kan gesteld worden dat de oplossingsstrategieën zoals die hier genoemd zijn van a naar f een afnemende effectiviteit hebben. Van de eerste kan het meeste effect verwacht worden. Het verwijderen van het gevaar is natuurlijk altijd de beste oplossing. De laatste strategie heeft zoveel zwakke kanten dat er nooit alleen op vertrouwd kan worden:

- sommige gebruikers kunnen niet lezen (kinderen, analfabeten)
- mensen kunnen de aanwijzing vergeten of kwijtraken
- men kan de boodschap verkeerd begrijpen
- men kan de aanwijzing negeren.

De eerst genoemde strategieën zijn meestal moeilijker te realiseren of in ieder geval duurder. De ontwerper zal de kosten van maatregelen moeten afwegen tegen het te verwachten effect.

Andere soorten acties als: beïnvloeding van gebruiksgedrag door middel van scholing of training, verandering van de gebruiksomgeving door wettelijke verplichtingen, etc. kunnen als niet relevant voor de produktontwerper terzijde worden geschoven.

28.5 Simulatie en evaluatie

Het doel van de hiervoor beschreven werkwijze is het ontwerpen van een veilig produkt. Of het doel is bereikt kan in eerste instantie worden nagegaan door toetsing aan het programma van eisen, met name aan die eisen die te maken hebben met de gebruiksv veiligheid van het produkt. Omdat deze eisen waren voortgekomen uit een herkend gevaar, zijn we met deze toetsing alleen niet klaar. Immers, het produkt dat als uiteindelijk resultaat is ontstaan heeft andere kenmerken (p) en kan nieuwe gevaren met zich meebrengen en moet daarop dan ook nader worden beschouwd. Het hele proces dient opnieuw te worden doorlopen, het gesignaleerde, niet aanvaardbare gevaar moet

worden geanalyseerd.

Omdat het hier om de evaluatie van een nieuw produkt gaat zal men niet kunnen putten uit ongevalsgegevens. Als het voorlopig ontwerp bekend is kan met behulp van een model van het produkt de gebruikssituatie gesimuleerd worden. Afhankelijk van het niveau van uitwerking kunnen hieruit voorspellingen gedestilleerd worden over het functioneren van het produkt, dus ook over de veiligheid. Deze voorspellingen zullen met zekere reserve moeten worden benaderd.

29 Produktveiligheidswetgeving en -normen

Samenvatting

De oudste in ons land bekende wetten hebben betrekking op de verkeersonveiligheid. Ze dateren van enige honderden jaren geleden. Systematische aandacht op dit terrein ontstaat eigenlijk pas deze eeuw naar aanleiding van de groei van het wegverkeer. Dan is er al sprake van een zich sterk uitbreidende wetgeving inzake veiligheid in arbeidsomstandigheden, in gang gezet ten tijde van de tweede Industriële Revolutie. In de twintigste eeuw genomen maatregelen, gericht op de privé-sector, betreffen in eerste instantie bescherming tegen ondeugdelijk voedsel, later wordt dit uitgebreid naar gebruiksproducten, dit naar aanleiding van ongelukken die volgden op de mechanisering van huishoudelijke arbeid en op de komst van elektrische toestellen in de huishouding.

29.1 Arbeidsomstandigheden

De belangstelling voor onveiligheid onder arbeidsomstandigheden komt primair voort uit economische motieven: goede gezondheid bevordert arbeidsprestaties, ongevallen kosten geld. Allengs ontstaat daarnaast gehoor voor overwegingen van humane of maatschappelijke aard, zoals de onaanvaardbaarheid van schrijnende misstanden bij vrouwen- en kinderarbeid.

De eerste in ons land uitgevaardigde wetten ter beperking van neveneffecten van het industrieel produceren - de Stoomwet (1869) en de Fabriekswet (1875) - zijn uitsluitend gericht op bescherming van omwonenden tegen hinder en gevaar, afkomstig van fabrieken. Uit die tijd dateert ook de eerste Veiligheidswet (1895), een pakket technische voorschriften voor werkplaatsen en fabrieken. Vanaf begin deze eeuw neemt het aantal wettelijke regelingen toe, mede onder invloed van de opkomende vakbeweging.

Een meer recente ontwikkeling betreft de zogenaamde ARBO-wetgeving (gefaseerd ingevoerd vanaf 1985) bestaande uit wetten en regelingen voor een specifieke werksituatie of te gebruiken werktuigen. De ARBO-wet heeft betrekking op veiligheid, gezondheid en welzijn in verband met de arbeid, waarbij de zorg daarvoor geregeld is als een verantwoordelijkheid van werkgevers en werknemers samen.

Door de invoering van de ARBO-wet zijn de rechten van de werknemer vergroot, met name waar het gaat om het overleg met de arbeidsinspectie zonder inmenging van de werkgever. Verder zijn wetsartikelen ingevoerd die betrekking hebben op onder meer de melding en registratie van ongevallen en beroepsziekten, voorlichting en onderricht, geneeskundig onderzoek en de verplichte instelling van een eigen veiligheidsdienst door bedrijven met vijfhonderd werknemers of meer.

29.1.1 Verkeer

Wetgeving op dit terrein heeft betrekking op weg-, spoorweg-, scheepvaart- en luchtverkeer. Het meest illustratief is de regelgeving ten behoeve van veiligheid in het wegverkeer.

Gerichte aandacht voor de wegverkeersveiligheid ontstond eind vorige eeuw bij de opkomst van de fiets als vervoermiddel: er gebeurden ongelukken. In onze eeuw komt daar de enorme groei bij van het gemotoriseerd verkeer, vooral na de Tweede Wereldoorlog. Aanvankelijk bestaan regels uit plaatselijke verordeningen en lokale politievoorschriften. In 1906 treedt het Motor- en Rijwielreglement in werking. Uitgangspunt in deze periode is de bescherming van de niet gemotoriseerde verkeersdeelnemer. Gemotoriseerde weggebruikers blijven op dit punt buiten beschouwing. Een hardnekkig misverstand bij de wetgever is (geweest) dat onveiligheid in

het verkeer voor verreweg het grootste deel valt toe te schrijven aan onverantwoordelijkheid, roekeloosheid, onvoorzichtigheid, kortom fouten van weggebruikers. In de jaren '50, als de Wegenverkeerswet met het Wegenverkeersreglement in werking treedt (1951), is deze zienswijze nog steeds herkenbaar in de aanpak van de verkeersproblematiek:

- technici ontwerpen verkeerssystemen;
- via onderwijs, voorlichting, propaganda wordt mensen het gewenste verkeersgedrag voorgehouden, passend in het technische systeem;
- door bestraffing van onaangepast gedrag dragen politie en justitie ertoe bij dat alles in goede banen verloopt.

De jaarlijks toenemende aantallen verkeersslachtoffers leidden in die tijd tot symptoombestrijding door overhaaste beslissingen om de ergste nood te ledigen. Pas de laatste decennia is er sprake van een kentering in denken, mede door toedoen van de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV), die in 1962 is opgericht. Deze Stichting wijst erop 'dat verkeersongevallen meestal complete gebeurtenissen vormen waarin de verkeersdeelnemer, het voertuig en de weg als onderling met elkaar verband houdende hoofdfactoren vrijwel altijd een rol spelen'.

29.1.2 De privé-sector

De oudste wetgeving op dit gebied stamt van begin vorige eeuw en weerspiegelt de bemoeienis van de overheid met de bescherming van omwonenden tegen ongewenste invloeden van bedrijven en fabrieken (stank, schade, overlast). Pas begin deze eeuw komt de eerste wettelijke bescherming tot stand tegen ondeugdelijke produkten: krachtens de Fosforluciferwet mag witte fosfor niet meer worden verwerkt. Onder invloed van toenemende industriële activiteiten komt in 1919 de Warenwet tot stand. Dit is een zogenoemde raamwet, met als doel via afzonderlijke besluiten per produktsoort het menselijk lichaam te beschermen tegen schadelijke invloeden van waren oftewel produkten. In 1934 wordt de invloed van de Veiligheidswet uitgebreid naar het huishoudelijk gebruik van produkten. In 1938 stelt de overheid via de Elektriciteitswet eisen aan de veiligheid van elektrische toestellen. Na de Tweede Wereldoorlog wordt veiligheid één van de belangrijkste aandachtspunten in de activiteiten van de dan opkomende consumentenbeweging. Naast onder meer het recht op gezondheid, op bescherming van economische belangen, op voorlichting/vorming en op vertegenwoordiging, is het recht op veiligheid formeel erkend als één der grondrechten van de consument (VN, 1985). Recente ontwikkelingen in ons land betreffen de uitbreiding van het werkingsgebied van de Warenwet, als gevolg van de EU-richtlijn inzake algemene produktveiligheid.

29.2 Wetgeving en ontwerpen

De overheid tracht, door middel van wettelijke bepalingen, te voorkomen dat er voor gebruikers kans op letsel of schade kan ontstaan. Deze wetten kunnen betrekking hebben op het produkt, maar ook op het gedrag van de gebruiker. In tegenstelling tot het verkeer of op het werk is in de privé-sfeer controle op naleving van een bepaald gewenst gebruiksgedrag praktisch uitgesloten zodat wettelijke voorschriften over gedrag geen zin hebben. Bevordering van produktveiligheid zal het meest effectief zijn door beïnvloeding van het produkt.

Een wet kan een preventieve en/of een repressieve werking hebben:

- preventief: het voorkomen van onveilige situaties;
- repressief: sancties bij overtreding; schuldvraag.

Bij de wetgeving produktveiligheid ligt het accent op het preventieve aspect. De wetten, die voor het ontwerpen van belang zijn, leggen voorwaarden vast waaraan produkten moeten voldoen: Warenwet, Elektriciteitswet, Wet op Gevaarlijke Werktuigen, Wet op Gevaarlijke Stoffen, Bestrijdingsmiddelenwet en Wet op de Geneesmiddelenvoorziening. Repressieve wetgeving is te vinden in de produktaansprakelijkheidswetgeving, deze regelt de schadevergoeding als er een ongeval met een produkt gebeurt is.

29.3 Wetgeving produktveiligheid

29.3.1 Inleiding

In de Europese richtlijn inzake algemene produktveiligheid is bepaald dat de nationale overheden ervoor moeten zorgen dat er alleen veilige produkten op de markt kunnen komen. In Nederland zijn in de volgende wetten voor de produktontwerper mogelijk belangrijke bepalingen opgenomen:

- de Warenwet;
- de Elektriciteitswet;
- de Wet op gevaarlijke werktuigen.

29.3.2 De Warenwet

Voor produktveiligheid is dit de wet met de grootste reikwijdte en ook voor de ontwerper het meest belangrijk.

De Warenwet bestaat al sinds 1919 maar is in 1988 ingrijpend gewijzigd. De oude wet richtte zich in de eerste plaats op levensmiddelen. De nieuwe Warenwet heeft in principe betrekking op alle roerende zaken (Art 1, lid 1). Dit betekent dat vrijwel alle produkten die in huis worden gebruikt onder deze wet vallen. De Warenwet dient niet alleen de veiligheid, maar ook de eerlijkheid in handel.

De kern van de wet wordt bepaald door artikel 18 aanhef en sub c, hierin wordt bepaald dat het verboden is:

'waren, niet zijnde eet- of drinkwaren, naar hun aard bestemd of geschikt om in de sfeer van de particuliere huishouding te worden gebruikt, te verhandelen, waarvan degene die de waren verhandelt, weet of redelijkerwijs moet vermoeden dat zij bij het gezien hun bestemming te verwachten gebruik bijzondere gevaren kunnen opleveren voor de gezondheid of veiligheid van de mens'.

In dit artikel komen 3 belangrijke elementen aan de orde nl.:

- het gaat om bijzondere gevaren, dus niet om gevaren die inherent zijn aan de functie van het produkt;
- bij het gezien de bestemming te verwachten gebruik;
- de verhandelaar moet hebben kunnen weten of vermoeden dat het gevaar aanwezig was.

Een voorbeeld van de toepassing van dit artikel:

De Rijkskeuringsdienst van Waren trad op tegen een ondernemer die gasaanstekers importeerde en verhandelde in de vorm van speelgoedauto's. De handelaar kan verwachten dat de aanstekers als speelgoed gebruikt gaan worden en zodoende gevaar op kunnen leveren voor kinderen.

Verder is het verboden produkten te verhandelen of aan te prijzen

'met gebruikmaking van vermeldingen of voorstellingen met betrekking tot de veiligheid van de waar of de uitwerking van de waar op de gezondheid van de mens, die, doordat zij onjuist zijn of een onjuiste indruk wekken, tot gevolg kunnen hebben dat de veiligheid of gezondheid van de mens in gevaar wordt gebracht.' (Art 19 en 20 Warenwet)

Het is dus verboden informatie op of bij het produkt te verschaffen die de gebruiker kan misleiden of een vals gevoel van veiligheid kan geven. Er wordt echter niet geëist dat de voor het gebruik van het produkt noodzakelijke informatie wordt verstrekt.

29.3.3 Eisen aan produkten

De Warenwet is een zogenoemde raamwet. Dit betekent dat in de wet zelf slechts algemeen geformuleerde eisen gesteld zijn die nader ingevuld worden in algemene maatregelen van bestuur. De eisen die gesteld worden aan de produkten (hoedanigheidseisen) zijn veelal uitgewerkt in uitvoeringsbesluiten. De Warenwet kent een aantal uitvoeringsbesluiten die met betrekking tot consumentenprodukten van belang zijn:

- Besluit kinderveilige verpakkingen huishoudchemicaliën (11 december 1984, Stb. 688). Art.2 : *'De in artikel 1 bedoelde verpakking moet voldoen aan de door het NNI uitgegeven norm 1740 van maart 1983'*.
- Aërosolenbesluit (23 februari 1978, Stb 116). Art.3 en verder.
- Asbestbesluit (18 juli 1983, Stb 418). Art.1 lid 1: *'Asbest bevattende artikelen mogen slechts asbestvezels bevatten die ieder voor zich blijvend gebonden zijn'*.
- Cosmeticabesluit (3 april 1980, Stb 256). Art. 2 lid 1: *'Kosmetica mogen bij gebruik overeenkomstig de bestemming geen gevaar opleveren of kunnen opleveren voor de gezondheid van personen. Nader regeling is mogelijk d.m.v. lijsten met stoffen die wel of niet zijn toegestaan.'*
- Besluit draagbaar klimmaterieel (29 januari 1986, Stb 86). Art.2: *'Draagbaar klimmaterieel moet: voor wat betreft aard, samenstelling en andere eigenschappen van het gebezigde materiaal deugdelijk zijn en een zodanige constructie hebben dat het gevaar voor de gebruiker om letsel op te lopen, dat bij gebruik van klimmaterieel aanwezig is, door de uitwendige staat, de stabiliteit of de sterkte van het draagbare klimmaterieel niet wordt vergroot.'*
- Gasslangbesluit (28 mei 1963, Stb 235). Art.2: eisen voor deugdelijkheid en samenstelling, starre verwijzing naar normen NEN 5658, NEN 3277 en NEN 5654.
- Verpakkingen- en gebruiksartikelenbesluit (1 oktober 1979, Stb 558). Eisen gesteld aan artikelen waarin voedingsmiddelen verpakt worden en waarmee voedingsmiddelen genuttigd worden.
- Helmenbesluit (28 augustus 1975, Stb 517). Goedkeuringsmerk voor helmen voor bromfietzers of motorrijders.
- Redding- en zwemvestenbesluit (6 juli 1982, Stb 469). Art.3: eisen aan constructie, o.a. prestatie-eisen.
- Siervoorwerpenbesluit (17 oktober 1981, Stb 684). Art.1: lijst van vloeistoffen die niet mogen worden toegepast.
- Speelgoedbesluit (10 december 1985, Stb 751). O.a. art. 2 lid 1: *'Speelgoed moet zodanig zijn geconstrueerd dat het bij redelijkerwijs te verwachten gebruik voor de gezondheid niet schadelijk kan zijn.'*
- Textielartikelenbesluit (19 juli 1974, Stb 512). Art.17a: *'In textielartikelen die bestemd zijn om in contact te komen met de huid zoals kleding, onderkleding en linnengoed, mag tri(2,3-dibroompropyl)-fosfaat in het geheel niet aanwezig zijn en mogen tris(aziridinyl)-fosfineoxide en polybroom bifenylen niet aanwezig zijn voorzover zulks geen brandbeschermende kleding betreft.'*

- Vulselbesluit (27 september 1983, Stb 556). Art. 6 en 11: Eisen voor verontreiniging.
- Vuurwerkbesluit (26 juli 1982, Stb 488). Art.2: *'Vuurwerk mag bij het ontbranden slechts een zodanige explosiedruk veroorzaken dat deze een geluidsniveau oplevert met een piekwaarde van niet meer dan 150 dB (lin)'*.
- Spaanplaatbesluit (26 augustus 1986, Stb 517). Art.3: *'Spaanplaat, met uitzondering van spaanplaat in meubelen en spaanplaat die kennelijk is bestemd om bedrijfsmatig in meubelen te worden verwerkt, mag niet meer dan 10 mg formaldehyde per 100 g plaatmateriaal bevatten, gemeten volgens de door het CEN uitgegeven norm EN 120 van januari 1984.'*
- Besluit imitatieproducten (6 juli 1989, Stb 253). Art.2.1: *'Het is verboden imitatieproducten die gevaar kunnen opleveren voor de veiligheid of de gezondheid van de mens, te vervaardigen, te verhandelen of binnen Nederlands grondgebied te brengen.'*
- Besluit kinderbedden en -boxen (1 februari 1990, Stb 106). Diverse eisen aan uitvoering van deze producten.

29.3.4 Informatie eisen

Naast eisen aan het produkt zelf wordt soms ook een informatieplicht opgelegd. In de volgende besluiten is een bepaling opgenomen waardoor de fabrikant wordt verplicht de consument te waarschuwen:

- Aërosolenbesluit. Art.6.
- Asbestbesluit. Art.1.3: bij be- of verwerking van de artikelen in acht te nemen voorzorgsmaatregelen.
- Cosmeticabesluit. Art.2.b en art.4.e: het plaatsen van gebruiksvoorwaarden en waarschuwingsteksten.
- Besluit draagbaar klimmaterieel. Art.3: handleiding en gebruiksaanwijzing.
- Redding- en zwemvesten besluit. Art.4: voorzijde ('front') en gebruiksaanwijzing in Nederlandse taal op het reddingvest. Handleiding (onderhoud- en bewaarvoorschriften) bij produkt geleverd.
- Speelgoedbesluit. Art.19: Lid 3: waarschuwing voor gevaar bij gebruik door kinderen beneden 4 jaar. Lid 4: waarschuwing voor bijzonder gevaar.
- Besluit kinderveilige verpakkingen huishoudchemicaliën. Art.3: aanduiding voor het openen en hersluiten van de verpakking.
- Wasmiddelenbesluit. Art.3.1.a: aanduiding op desinfecterende- of deodorantzeep: *'Niet gebruiken voor kinderen beneden 3 jaar. Vermijden van overdadig gebruik.'*
- Besluit kinderbedden en -boxen. Aanwijzingen voor (de)montage en instelling onderdelen in relatie tot klimvaardigheid kind. Waarschuwing voor gevaren, met name voor beknellingsgevaar door de toepassing van te kleine matrassen.

29.3.5 Urgentiemaatregelen

Het toezicht op o.a. de Warenwet is opgedragen aan de controle-ambtenaren van de Rijkskeuringsdienst van Waren. In de Warenwet is echter niet een meldingsplicht voor de ondernemer opgenomen. Wel is er een inlichtingenplicht opgenomen om desgevraagd alle medewerking te verlenen en inlichtingen te verschaffen aan controle-ambtenaren. Het niet voldoen aan deze verplichting is een strafbaar feit.

Wanneer bekend is dat gevaarlijke produkten verhandeld zijn, worden stappen ondernomen om verdere verhandeling te voorkomen. Dit wordt bereikt door verhandelingsverbod op te leggen of de vergunning voor het verhandelen van het produkt in te trekken. Om te voorkomen dat de produkten opnieuw op de markt gebracht worden kunnen de voorraden in beslag worden genomen en eventueel worden vernietigd.

Nadat de verhandeling van de gevaarlijke producten is stopgezet moet het gevaar dat uitgaat van de reeds verhandelde producten worden beperkt. De bezitters van deze producten moeten worden gewaarschuwd. Hiertoe is in de Warenwet een waarschuwingsplicht opgenomen. De minister kan '*...degene die de desbetreffende waar verhandelt of heeft verhandeld, gelasten om de bezitters dan wel de vermoedelijke bezitters van die waar onverwijld en op doeltreffende wijze op de hoogte te stellen van het gevaar*' (Art 21).

Een uitbreiding van de waarschuwingsplicht in de richting van een werkelijke recall-plicht is in de Warenwet vooralsnog niet opgenomen. Het vermoeden bestaat dat de vrees voor negatieve publiciteit en aansprakelijkheids-claims vrijwillige recalls zal stimuleren. Uit advertenties uit de dagbladen blijkt nu reeds dat fabrikanten vrijwillig overgaan tot deze stappen (zie bijlage 13 met advertenties gevaarlijke producten, Altrex, Prenatal).

29.3.6 Het Elektricitetsbesluit

Op het gebied van de gebruiksveiligheid beperkt het elektricitetsbesluit zich tot één gebod: geëist wordt dat producten:

'overeenkomstig de regels van goed vakmanschap die in de Europese Gemeenschap gelden, zodanig zijn vervaardigd, dat zij bij juiste installatie, gebruik overeenkomstig de bestemming en voldoende onderhoud geen gevaar opleveren' (Art. 2 Elektricitetsbesluit).

De elementen die hierin een belangrijke rol spelen zijn:

- juiste installatie
- gebruik overeenkomstig de bestemming
- voldoende onderhoud

Voor wat betreft de invulling van deze elementen wordt verwezen naar normen. Als het produkt aan de veiligheidsnormen voldoet en volgens de norm is geïnstalleerd bestaat het vermoeden dat aan artikel 2 van het Elektricitetsbesluit is voldaan.

Elektrotechnische producten worden van een keurmerk voorzien indien ze zijn samengesteld volgens de overeenkomstige normen. Het Ministerie van Economische Zaken heeft de N.V. tot Keuring van Elektrotechnische Materialen (KEMA) aangewezen producten te keuren en van een certificaat van overeenstemming te voorzien.

29.3.7 Wet op gevaarlijke werktuigen

Deze wet is in de eerste plaats is gericht op producten die gebruikt worden voor professionele toepassingen. Maar omdat producten uit de professionele sfeer steeds vaker door de doe-het-zelver gebruikt worden kan deze wet ook voor consumentenproducten gelden.

Onder gevaarlijke werktuigen wordt verstaan:

'Bij algemene maatregel van bestuur aan te wijzen technische voortbrengselen waarmee de veiligheid in gevaar kan worden gebracht of schade aan de gezondheid kan worden berokkend' (Art 1).

Binnen deze wet kunnen voorschriften worden vastgesteld waaraan gevaarlijke werktuigen en beveiligingsmiddelen moeten voldoen met betrekking tot:

- aard, soort, eigenschappen van de behandeling van het materiaal;
- constructie;
- beveiliging;
- op een gevaarlijk werktuig of een beveiligingsmiddel aan te brengen kenteken.

Verder heeft men binnen het kader van deze wet de mogelijkheid om bij bepaalde producten een keuring voor te schrijven.

29.4 Wetgeving produktaansprakelijkheid

29.4.1 Inleiding

Produktaansprakelijkheid is: 'De aansprakelijkheid voor schade die door een onveilig produkt is toegebracht aan een persoon, of aan een andere zaak dan het produkt zelf'. Als iemand schade ondervindt door het toedoen van een ondeugdelijk produkt kan hij/zij proberen de schade te verhalen op de fabrikant. In Nederland is, net als in andere Europese landen, de produktaansprakelijkheid geregeld conform de Europese Richtlijn.

29.4.2 Nederlandse wetgeving produktaansprakelijkheid

In Nederland is november 1990 het Burgerlijk Wetboek op het punt van de produktaansprakelijkheid ingrijpend gewijzigd, conform de EG-richtlijn van 1985, Burgerlijk Wetboek Boek 6, titel 3, afdeling 3, Artikel 185-193 (Maeijer en Scheltema, 1995).

Voorheen was het zo dat een consument moest aantonen dat de producent van een gebrekkig produkt een onrechtmatige daad had gepleegd voor hij aansprakelijk gesteld kon worden. Nu is de zaak omgekeerd: de producent moet kunnen aantonen dat hij niet aansprakelijk is voor de schade die door een gebrek in zijn produkt is veroorzaakt. De hoofdregel van de Wet produktaansprakelijkheid luidt:

'De producent is aansprakelijk voor de schade veroorzaakt door een gebrek in zijn produkt'

De belangrijkste elementen uit dit artikel worden in deze paragraaf nader uitgelegd. Voor welke vormen van *schade* bestaat de aansprakelijkheid, wie kan als *producent* worden aangemerkt, wanneer is sprake van een *produkt* en wanneer is er sprake van een *gebrek*.

Schade

De producent is aansprakelijk voor twee vormen van schade:

- schade door dood of lichamelijk letsel;
- schade toegebracht aan een andere zaak dan het produkt zelf.

Bij de laatste schadevorm gelden twee beperkingen:

- de beschadigde zaak moet voor de privésfeer zijn bestemd en daar ook hoofdzakelijk voor zijn gebruikt;
- de toegebrachte schade moet minstens f 1.263,85 (= 500 ECU) groot zijn.

Producent

In het kader van produktaansprakelijkheid kan als producent worden aangemerkt:

- de fabrikant van het produkt;
- de fabrikant van een onderdeel van het produkt;
- de producent van een in het produkt verwerkte grondstof;
- de leverancier die zich als producent voordoet doordat hij zijn eigen naam of merk op het produkt heeft aangebracht;
- de importeur die het produkt van buiten de EG heeft ingevoerd.

De wet is zodanig opgesteld dat elk van deze 'producenten' aansprakelijk gesteld kan worden voor de gehele schade. De één kan niet naar de ander verwijzen. De producent die eenmaal een schade heeft vergoed kan wel proberen op een andere producent verhaal te nemen.

Indien niet kan worden vastgesteld wie de producent van het produkt is, wordt de leverancier ervan als producent beschouwd. De leverancier kan echter wel naar een

ander verwijzen. Hij kan aan aansprakelijkheid ontkomen door binnen een redelijke termijn de herkomst van het produkt bekend te maken.

Produkt

In de zin van de Wet produktaansprakelijkheid zijn produkten:

- roerende zaken (b.v. gebruiksartikelen, levensmiddelen, geneesmiddelen e.d.);
- bestanddelen van roerende zaken en onroerende zaken (bv. onderdelen van gebruiksartikelen, in een gebouw aangebrachte installaties e.d.);
- elektriciteit.

De wet maakt een uitzondering voor landbouwprodukten die nog geen eerste bewerking hebben ondergaan.

Gebrek

Een producent is slechts aansprakelijk voor de schade veroorzaakt door een gebrek in zijn produkt. Een produkt vertoont een gebrek indien het niet de veiligheid biedt die de gebruiker ervan mag verwachten.

Voorwaarden voor aansprakelijkheid

De voorwaarden waaraan de consument moet voldoen om een producent aansprakelijk te stellen zijn:

- hij/zij moet kunnen aantonen dat er schade is;
- er moet sprake zijn van een gebrekkig produkt;
- er moet een oorzakelijk verband bestaan tussen het gebrek en de schade.

Uit de tekst blijkt dat de schuld van de producent geen voorwaarde is voor aansprakelijkheid. We spreken daarom van 'risico-aansprakelijkheid'.

De producent kan aan een schadeclaim ontkomen indien hij kan aantonen dat:

- hij het produkt niet in omloop heeft gebracht;
- het gebrek nog niet bestond toen hij het in omloop bracht;
- het produkt niet met commercieel oogmerk of ter uitoefening van een beroep in omloop is gebracht;
- het gebrek een gevolg is van dwingende overheidsvoorschriften;
- het op grond van de techniek op het moment van op de markt brengen onmogelijk was het gebrek te ontdekken;
- indien het de producent van een onderdeel betreft, het gebrek is te wijten aan het ontwerp van het produkt waar het onderdeel in is verwerkt.

Soms worden produkten niet met de nodige voorzichtigheid gebruikt. Zelfs indien een produkt onveilig is kan het daarom onredelijk zijn om de producent voor alle schade aansprakelijk te stellen. De Wet produktaansprakelijkheid bepaalt voor dit soort situaties dat de aansprakelijkheid van de producent kan worden verminderd of opgeheven.

De consument moet binnen drie jaar nadat de schade is opgetreden gaan procederen.

Tien jaar nadat het schadeveroorzakende produkt is de handel is gebracht vervalt elk recht op schadevergoeding.

29.4.3 Het Amerikaanse systeem

In de Verenigde Staten kan een ongeval met een gebrekkig produkt al gauw leiden tot ongemeen hoge schadeclaims. Wel moet opgemerkt worden, dat de verschillen in produktaansprakelijkheidswetgeving in de VS per staat groot zijn. Zo kon het gebeuren, dat er na de vliegcrash in Tenerife, een massale trek van nabestaanden naar Florida plaatsvond, vanwege een gunstige wetgeving aldaar. Het systeem van rechtspraak in de VS verschilt van dat in de Europese landen. Vooral de volgende verschillen zijn belangrijk:

- het systeem van juryrechtspleging, dat 'dichter bij het slachtoffer staat';
- de koppeling van het advocatenhonorarium aan de hoogte van de schadevergoeding ('no cure, no pay' dan wel 'contingency fee');
- het toekennen van vergoeding voor geestelijke schade (naar het schijnt zelfs voor dieren);
- het toekennen van hoge schadevergoeding als straf ('punitive damages'), daardoor wordt er in een civiel proces een strafrechtelijk element ingevoerd;
- het vrijwel ontbreken van enige sociale zekerheid.

Deze factoren leiden ertoe dat de uitgekeerde bedragen soms extreem hoog zijn. De werkelijke schade kan zo vele malen overtroffen worden door het uitgekeerde bedrag. De Amerikaanse advocaten gaan dan ook niet op zoek naar degene die het meest aansprakelijk lijkt, maar naar de meest draagkrachtige schakel in de keten van de betrokkenen. Zo werd eens een man, die in een telefooncel stond te telefoneren, verwond door een dronken automobilist, die de telefooncel ramde. De advocaat van het slachtoffer sprak niet de automobilist aan, maar de fabrikant van de telefooncel, op grond van het feit, dat de telefooncel bestand had moeten zijn tegen alle invloeden van buitenaf, inclusief een aanstormende auto. De telefooncelfabrikant was een stuk kapitaalkrachtiger dan de dronkaard.

Het voorgaande beschouwend, is het te begrijpen, dat de premies voor de aansprakelijkheidsverzekeringen de afgelopen tijd zeer sterk gestegen zijn in de VS. Voor de Westeuropese exporteurs naar de VS is het moeilijk dit soort verzekeringen af te sluiten. Voor hen gelden de volgende voorwaarden:

- punitive damages zijn niet te verzekeren;
- er wordt geen milieuansprakelijkheid geaccepteerd;
- een 'product-recall' is onverzekerbaar.

Alle Amerikaanse staten kennen twee soorten aansprakelijkheid; de schuldaansprakelijkheid (vgl. de onrechtmatige daad) en de risicoansprakelijkheid. Net als de EU-landen verwijderd de VS zich steeds meer van het schuldbegrip als basis voor de produktaansprakelijkheid, in de richting van de risicoansprakelijkheid.

Het gaat er dus veelal om of een produkt een gebrek vertoont of niet. Dat de producent daar niets aan kon doen doet niet ter zake. De producent hoeft in de VS niet eens de veroorzaker te zijn van het gebrek om aansprakelijk gesteld te worden.

De fabrikant kan zich in vele staten niet beroepen op de stand van de techniek c.q. de wetenschappelijke kennis op het moment dat het produkt op de markt werd gebracht. Dit wordt het 'state of the art defence' genoemd (ook wel het ontwikkelingsrisico). Dus, hoewel de fabrikant zou kunnen bewijzen dat hij het gebrek aan het produkt niet kon constateren op het moment, dat het op de markt werd gebracht, kan hij zijn aansprakelijkheid niet ontlopen.

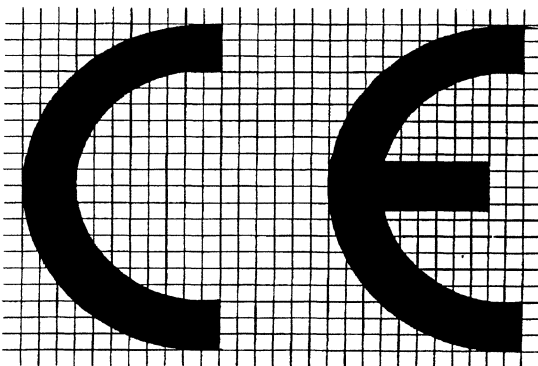
Een ander belangrijk begrip ter verdediging van de belangen van de producent is 'eigen schuld' (van de consument). Als de consument onzorgvuldig met het produkt is omgegaan, kan er sprake zijn van eigen schuld en is de fabrikant niet aansprakelijk. Verdediging op grond van eigen schuld is niet mogelijk, als het gebrek aan het produkt vergelijkenderwijs veel erger is dan de eigen schuld van de consument. Zo reed eens een man, na consumptie van een forse hoeveelheid alcohol, met hoge snelheid langs de Rocky Mountains toen plotseling het stuur van zijn Volkswagen blokkeerde en hij van de weg raakte. 'Eigen schuld' zei Volkswagen, dan had je maar niet zoveel moeten drinken. Dit verweer werd verworpen omdat het defect aan de auto zo ernstig was, dat verwijten aan het adres van de automobilist hierbij in het niet vielen.

Erg groot was het lef van iemand die zijn auto ombouwde tot een 'dragster', door er een 1500 pk motor in te zetten en er twee gigantische tractorwielen aan te hangen. Hij won

zijn race echter niet, integendeel, zijn achterwiel brak integraal van de as en hij raakte met grote snelheid van de baan. Vervolgens werd General Motors aangeklaagd wegens het leveren van een gebrekkige as. Het Hof hield de eiser echter voor dat er in dit geval toch echt sprake was van 'misuse'.

Uit het voorgaande blijkt, dat de kijk op aansprakelijkheid in de VS anders is dan in Europa. Laten we tot slot het geheel iets relativiseren. Voorbeelden van extreem hoge uitkeringen nemen af. In de VS realiseert men zich dat zo niet kan worden doorgegaan. De hoge kosten van schadeclaims en verzekeringspremies tasten de internationale concurrentiepositie van Amerikaanse ondernemingen aan. De angst, dat nu na doorvoering van de EG-richtlijn, Amerikaanse situaties in Europa ontstaan, lijkt ongegrond te zijn. Daarvoor zijn er teveel juridische, economische en sociaal-culturele verschillen.

29.5 CE-markering



Figuur 29.1 Het CE-merk

Voor produkten waarvoor een EU-richtlijn bestaat, geldt de verplichting van de CE-markering. Hiermee geeft de producent aan dat het produkt voldoet aan de eisen van veiligheid, gezondheid, milieu en consumentenbescherming, zoals gesteld in de van toepassing zijnde EU-richtlijnen. Ook produkten die buiten de EU zijn gemaakt, moeten voorzien zijn van een CE-markering alvorens ze worden toegelaten tot de Europese markt. De CE-markering is als het ware een paspoort voor produkten om tot de EU-markt te worden toegelaten.

Gebieden waarvoor nu al een EU-richtlijn bestaat, en waarvoor de CE-markering dus verplicht is, zijn:

- Speelgoed
- Eenvoudige drukvaten (bv. expansievat voor de CV)
- Bouwprodukten (ook DHZ-bouwmaterialen)
- Elektromagnetische compatibiliteit
- Machines
- Persoonlijke beschermingsmiddelen
- Gastoestellen
- Randapparatuur voor telecommunicatie
- Pleziervaartuigen
- Elektrotechnische produkten
- Medische hulpmiddelen
- Aktieve medische implantaten (bv pacemakers)
- Gastoestellen
- Weegtoestellen
- Explosieven

Verder zijn er nog verschillende EU-richtlijnen in ontwikkeling.

Verhandelaren (producenten, groothandel of detailhandel) van de betrokken produkten

zonder CE-markering kunnen gedwongen worden de verkoop te staken. Ook lopen zij het risico dat de voorraad in beslag wordt genomen.

De CE-markering geeft alleen aan dat het produkt aan de gestelde minimumeisen voldoet en is daarom geen kwaliteitskeurmerk.

De CE-markering mag niet worden aangebracht op produkten waarvoor dit niet wettelijk verplicht is gesteld.

Procedures voor het aanbrengen van de CE-markering

Afhankelijk van de grootte van het risico gelden verschillende procedures. Voor een pacemaker geldt een zwaardere procedure dan voor een stuk speelgoed. Welke keuringsprocedure gevolgd moet worden, staat beschreven in de desbetreffende EU-richtlijn (en eventueel het warenwetbesluit).

In principe komt het erop neer dat, als de veiligheidsrisico's gering zijn, de producent zelf een verklaring mag afgeven dat het produkt voldoet aan de gestelde eisen en via die weg de CE-markering mag aanbrengen op het produkt. De producent heeft dan wel de plicht een dossier bij te houden waaruit blijkt dat het desbetreffende produkt is vervaardigd volgens de EU-richtlijnen of Europese normen. De eenvoudigste manier om aan de eisen te voldoen, is doorgaans het produkt te produceren volgens de vastgestelde geharmoniseerde normen.

Voor produkten met grotere risico's voor de gebruiker is een officieel keuringsrapport nodig van een door de nationale overheid aangewezen instantie (*notified body*). Pas met een certificaat van een dergelijke instelling mag de CE-markering worden aangebracht. In plaats van de veelal kostbare produktkeuring is het ook mogelijk het produktieproces en de bedrijfsvoering te laten keuren. Dit heet het keuren van een kwaliteitssysteem

29.6 Normalisatie

29.6.1 Inleiding

Normalisatie of standaardisatie is het vastleggen van afspraken over de uitvoering van produkten en produktie-processen. Normen komen tot stand door samenwerking tussen fabrikanten, gebruikers en overheid. Het toepassen van normen geschiedt op basis van vrijwilligheid.

Met normalisatie worden de volgende doelen nagestreefd: het bevorderen van uitwisselbaarheid, de kwaliteit, de veiligheid en rationalisatie van produkten.

In Nederland wordt de normalisatie gecoördineerd door het Nederlands Normalisatie Instituut (NNI). Dit instituut start de normcommissies op, ondersteunt het werk van deze commissies en zorgt voor de produktie en de verspreiding van de normen. In andere landen zijn vergelijkbare instituten: DIN (Duitsland), AFNOR (Frankrijk), BSI (Groot Brittannië), ASTM (Verenigde Staten). Het internationaal overkoepelend orgaan is de ISO. In verband met de Europese eenwording worden nationale normen in Europa steeds meer verdrongen door Europese normen, die ontwikkeld worden door het Comité Européen de Normalisation (CEN).

Op het gebied van veiligheid van gebruiksprodukten bestaan reeds vele normen.

Voorbeelden zijn normen voor kinderverzorgingsprodukten, speelgoed, eet- en drinkgerei, ladders en trappen, meubilair, keukens.

Zowel Nederlandse als Internationale Normen zijn te koop of gratis in te zien bij het NNI te Delft.

29.6.2 Normen en produktveiligheid

Met de doelen die met normalisatie nagestreefd worden kan de veiligheid van produkten op verschillende manieren bevorderd worden:

Uitwisselbaarheid

Afspraken over de bediening van produkten kan voorkomen dat de gebruiker bij het omschakelen van het ene naar het andere produkt vergissingen maakt. Een voorbeeld is de plaatsing van de bedieningselementen in een personenauto, iemand die voor het eerst in een bepaald merk en type auto rijdt zal daar minder moeite mee hebben als de bedieningselementen op een standaard manier geplaatst zijn. Naarmate produkten langer bestaan zijn er meer mogelijkheden tot standaardisatie van de bediening.

Kwaliteit

Verhoging van de kwaliteit van produkten leidt tot minder vaak falen van produkten. Ongevallen die te wijten zijn aan het falen van een produkt kunnen op deze manier voorkomen worden.

Veiligheid

Door eisen in de norm op te nemen die zijn gericht op gevaarlijke produkteigenschappen kan de veiligheid van produkten direct worden beïnvloed. Er zijn normen die uit het oogpunt van veiligheid tot stand zijn gekomen. Een voorbeeld van zo'n norm is de NEN-EN 71 'Veiligheid van Speelgoed', waarin wordt beschreven hoe speelgoed moet worden uitgevoerd zodat er, buiten het gevaar dat inherent is aan het gebruik, zo min mogelijk risico's optreden voor kinderen.

29.6.3 Verwijzing naar normen vanuit wetten

Bij de Elektriciteitswet stond vermeld dat bepaalde details worden vastgelegd in normen. Voor onderdelen van Warenwetbesluiten geldt dit eveneens. Het opstellen van een norm, beschreven in een normblad, duurt (veel) minder lang dan het uitvaardigen van een wet. Het Normalisatie Instituut is op dit punt slagvaardiger dan de wetgever. De wetgever kan in wetten op twee manieren naar normen verwijzen:

- starre verwijzing: er wordt in de wet verwezen naar een bepaalde norm, van een bepaalde datum;
- glijdende verwijzing: er wordt verwezen naar een normnummer, bij wijziging van de norm geldt automatisch het nieuwe voorschrift.

Literatuur (hoofdstuk 26 t/m 29)

PORS 1991

Privé Ongevallen Registratie Systeem. Uitgegeven door de Stichting Consument en Veiligheid. Amsterdam. 1993

Winsemius W. 1980.

Het ongevalsgebeuren. In: Preventie van ongevallen bij kinderen. Red. G.A. de Jonge, W.H.J. Rogmans en W. Winsemius. Stafleu's Wetenschappelijke Uitgeversmaatschappij b.v. Alphen a/d Rijn/Brussel.

Thien, W.M.A.H. 1990.

Dodelijke ongevallen. Resultaten van een registratie. Stichting Consument en Veiligheid. Amsterdam.

FMC, 1985.

Product safety sign and label system. FMC Corporation, Santa Clara, California.

Hale, A.R and A.I. Glendon, 1987.

Individual behaviour in the control of danger. Elsevier Amsterdam.

Hammer, W., 1980.

Product Safety Management and Engineering. Prentice Hall, Englewood Cliffs, U.S.

Heinrich, H.W., D. Peterson en N. Roos, 1980.

Industrial accident prevention. McGraw Hill, New York.

Hoyinck, S.G. en S. Mulder, 1992.

Surveillance systems on home and leisure accidents in europe. Report nr 128, SCV, Amsterdam

Kjellèn, U., 1984.

The deviationconcept in occupational accidentcontrol: 1 Definition and classification; 2 Data collection and assessment of significance. Accident Analysis and Prevention, 16, pp. 289-323.

Leeuwen, K. van, 1990.

Juridische aspecten van produktveiligheid. Kluwer, Deventer.

Letho, M. and G. Salvendy, 1991.

Models of accident causation and their application: Review and reappraisal. Journal of Engineering and Technology Management, no 8, 173-205.

Maeijer, J.M.M. en Scheltema, M. (red), 1995

Kluwer college bundel 95-96 - Wettteksten. Kluwer, Deventer, 1995.

Mauro, C., 1978.

Can hairdriers be safer? Research says 'yes'. Industrial Design, 25, pp. 38-43.

- Mulder, S., 1989.
Schatting van het aantal ongevallen in Nederland. Intern rapport nr. 39, Stichting Consument en Veiligheid, Amsterdam.
- Mulder, S., 1990.
Overzicht van het aantal ziekenhuisopnamen en het aantal overledenen ten gevolge van niet-verkeersongevallen. Intern rapport nr. 62, Stichting Consument en Veiligheid, Amsterdam.
- Mulder, S., 1991.
PORS 1990. Stichting Consument en Veiligheid, Amsterdam.
- Rasmussen, J., 1985.
Trends in human reliability analysis. *Ergonomics*, 28, pp. 1185-1195.
- Reason, J., 1990.
Human Error. Cambridge University Press
- Roozenburg, N.F.M. en J. Eekels, 1991.
Produktontwerpen, structuur en methoden. Lemma, Utrecht.
- Viano, D.C. et.al., 1990.
Injury biomechanics research: An essential element in the prevention of trauma. *Journal of Biomechanics*, Vol 22, No 5, p 403-417.
- VN, 1985.
United Nations General Assembly, 106th plenary meeting A/Res/39/248.
- Wagenaar, W.A. 1983
Menselijk falen. *Nederlands Tijdschrift voor de Psychologie*, 38(1983), p. 209-222.
- Wagenaar, W.A. and J.T. Reason, 1990.
Types and tokens in road accident causation. *Ergonomics*, vol. 33, no 10-11, p. 1365-1375.
- Weegels, M.F. (1992), *Validiteit van ongevalsgegevens*. Delft: Technische Universiteit Delft, Faculteit van het Industrieel Ontwerpen.

30 Statistiek in de ergonomie

30.1 Beschrijvende statistiek

30.1.1 Inleiding

Bij het ontwerpen van producten voor mensen dient rekening te worden gehouden met maten, krachten, houdingen en bewegingen van de doelgroep. De doelgroep kan duidelijk omschreven zijn, bijvoorbeeld bij het ontwerpen van een stoel voor bejaarden. In veel gevallen bestaat echter onduidelijkheid omtrent de doelgroep, bijvoorbeeld bij het ontwerpen van een fietszadel, waar zowel kinderen als volwassenen, en zowel mannen als vrouwen gebruik van maken.

Ergonomische gegevens kunnen soms worden verkregen uit bestaande tabellenboeken; anders zal een eigen onderzoek moeten plaatsvinden. Bovendien moeten de verzamelde gegevens vaak bewerkt en geïnterpreteerd worden, alvorens ze kunnen worden toegepast.

Teneinde uit de enorme hoeveelheid beschikbare gegevens de juiste te kunnen selecteren, of op de juiste wijze het onderzoek te kunnen opzetten, dient de ontwerper de volgende criteria in het oog te houden:

1. Welke gegevens zijn relevant voor de bedoelde toepassing?
2. Zijn de gegevens representatief voor de beoogde doelgroep?
3. Zijn de gegevens nauwkeurig genoeg?
4. Welk strategie met betrekking tot maatvoering wordt nagestreefd (grote, middel en kleine maten)?

De laatste jaren is een groot aantal statistische softwarepakketten op de markt verschenen. Dit maakt statistische methoden toegankelijker en gemakkelijker toepasbaar. Een groot gevaar schuilt echter in dit ontstane gemak. Men hoeft nauwelijks meer enige notie te hebben van de onderliggende statistische theorieën en aannames. "De computer geeft altijd wel een antwoord". Er zijn zelfs programma's, die de gebruiker min of meer dicteren op welke knoppen men moet tikken. Zonder kennis en begrip van de basis van de statistiek is het **VOLSTREKT ONVERANTWOORD** om statistiek te gebruiken. In dit hoofdstuk wordt enige basale kennis gegeven, zodat binnen de randcondities, zoals die in de loop van het betoog worden gedefiniëerd, verantwoord met de aangereikte methoden kan worden gewerkt. Voor meer gespecialiseerde statistiek dient men zich te wenden tot professionele statistici.

30.1.2 Enkele grondbegrippen

Alvorens wat dieper op enkele relevante aspecten van de ergonomische statistiek in te gaan worden eerst een paar grondbegrippen behandeld, zoals de grafische weergave van meetresultaten, schalen waarop de gegevens worden weergegeven, en het begrip klassen.

Grafische weergave van waarnemingen

Wanneer in een ergonomisch onderzoek een aantal waarnemingen is gedaan, staan die zelden zo gerangschikt dat men een interpreteerbaar beeld van de uitkomsten kan krijgen. Door het doen van metingen, of observaties, wil men nu eenmaal eventuele trends of onderlinge samenhangen trachten te vinden. Daarvoor is het handig de waarnemingen weer te geven in grafieken. Drie in de ergonomie veel gebruikte grafieken worden hier besproken: het staafdiagram, het histogram en de puntenwolk.

Staafdiagram

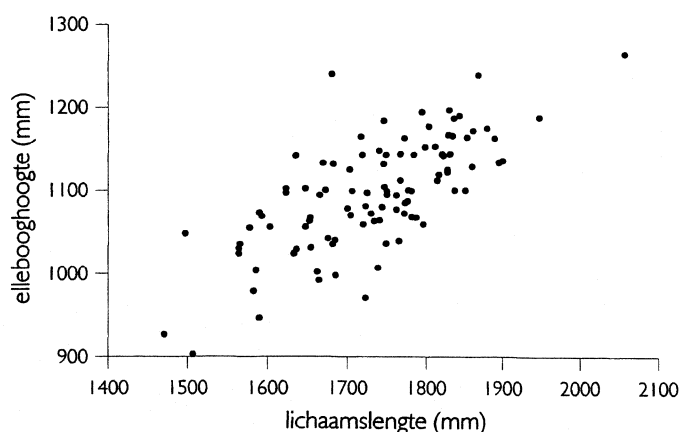
Een staafdiagram is een diagram waarbij de waarnemingen zijn gegroepeerd in categorieën of klassen. Elke klasse wordt weergegeven als een kolom. De lengte van een specifieke kolom komt overeen met het aantal waarnemingen in die klasse. Een staafdiagram geeft dus de verdeling van de frequenties binnen verschillende klassen weer, en vormt daarom een discrete frequentieverdeling. De som van alle kolomlengtes is gelijk aan het totaal aantal waarnemingen. De kolommen kunnen verticaal of horizontaal worden weergegeven (afhankelijk van de lengte van de beschrijving van de klasse). Een staafdiagram betreft een categorisch systeem van *kwalitatieve* kenmerken. Het aantal waarnemingen, dat in een bepaalde (nominale) klasse valt, wordt geturfd. De staven worden gewoonlijk los van elkaar weergegeven. Voorbeeld: Het aantal gehandicapten ingedeeld naar het type handicap (figuur 30.2).

Histogram

Bij een histogram worden waarnemingen van een *kwantificeerbare* grootte ingedeeld in een aantal equidistante klassen met goed gedefinieerde klassegrenzen. In het geval van waarnemingen op een continue schaal moeten dan afrondingscriteria worden gedefinieerd: de metingen worden gediscrètiseerd. Vervolgens wordt geturfd hoeveel waarnemingen in elke klasse vallen. Een essentieel verschil met het staafdiagram is dat hier de breedte van de kolommen een rol speelt; dit is in het staafdiagram niet het geval. Bij een histogram worden de kolommen tegen elkaar aan weergegeven. Voorbeeld: het aantal (of percentage) mensen dat in één van een aantal gewichtsklassen valt (figuur 30.5). Het is duidelijk dat het aantal kolommen hier bepalend is voor de klassebreedte en dus voor het aantal waarnemingen, dat in een specifieke klasse terecht komt. N.B: Soms zijn de buitenste klassen een vergaarbak voor alles wat boven of onder een bepaalde waarde valt (met name gebeurt dit wel bij waarnemingen met grote uitschieters). Aan het eind van deze § wordt de berekening van een geschikte klassebreedte besproken.

Het spreidingsdiagram of de puntenwolk

Als de waarnemingen bestaan uit getallenparen (x,y) kan een spreidingsdiagram worden samengesteld. In een spreidingsdiagram worden de waarnemingen als punten getekend. De x-coördinaat van ieder punt is de waargenomen x-waarde en de y-



Figuur 30.1 Spreidingsdiagram van fictieve waarden voor combinaties van lichaamslengte en ellebooghoogte

coördinaat de waargenomen y-waarde. Voorbeeld: in figuur 30.1 zijn de resultaten van een onderzoek weergegeven, waarin de onder meer de ellebooghoogte en de lichaamslengte van 100 proefpersonen werden vastgesteld. Horizontaal is de lichaamslengte weergegeven en verticaal de ellebooghoogte. Uit een spreidingsdiagram kan men, met enige ervaring, een eerste indruk verkrijgen omtrent spreidingen van de onderzochte variabelen en eventuele samenhangen of correlaties. Opgemerkt dient te worden dat het bereik van de assen zodanig wordt gekozen dat de meetpunten een zo groot mogelijk deel van de assen bestrijken.

Schalen, discrete en continue frequentieverdelingen

We hebben al gezien, dat de frequentieverdeling van geklassificeerde meetresultaten kan worden weergegeven als een histogram. De som van de lengtes van alle kolommen is gelijk aan het aantal waarnemingen. Als echter het aantal waarnemingen zeer groot of (theoretisch) zelfs naar oneindig nadert en de klassebreedte erg klein wordt, gaan de kolommen over in een vloeiende lijn. Daarbij wordt de klassebreedte dus eigenlijk gelijk aan nul. Dan gaan de uiteinden van de kolommen over in een vloeiende curve. De discrete frequentieverdeling is overgegaan in een continue frequentieverdeling.

Een continue frequentieverdeling $f(x)$, welke een verdelingsfunctie wordt genoemd, wordt altijd zodanig genormeerd dat het totale oppervlak onder de curve gelijk aan 1 is:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1$$

De interpretatie van een continue frequentieverdeling gaat ook iets anders dan die van een discrete frequentieverdeling. Aangezien we met een continue schaal te maken hebben, en de variabele-as dus oneindig veel waarden bevat, is de kans op het voorkomen van een bepaalde waarde van de onderhavige variabele namelijk vrijwel gelijk aan nul. Daarom wordt gerekend met de kans, dat een variabele in een bepaald interval, bijvoorbeeld tussen x_1 en x_2 , terecht komt:

$$P(x_1 < x < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx$$

De waarde van deze integraal is gelijk aan dat oppervlak onder curve van de frequentieverdeling, dat tussen x_1 en x_2 ligt.

Schalen

De volgende schalen worden onderscheiden: nominaal, ordinaal, interval en absoluut.

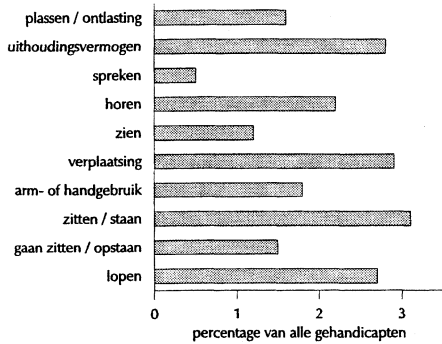
De nominale schaal

Classificaties van dingen, personen of karakteristieken (kortweg: objecten) worden soms uitgevoerd op basis van symbolen, die geen aanduiding van volgorde of grootte in zich bergen. Indien deze symbolen worden gebruikt om de groepen, waartoe de verschillende objecten behoren, te definiëren, vormen deze symbolen een nominale schaal. Een cumulatieve verdeling heeft hier vanzelfsprekend geen enkele betekenis. Voorbeeld: Het percentage mensen met ernstige lichamelijke beperkingen naar aard van de beperking (figuur 30.2). Deze aard van de beperking is weergegeven op een nominale schaal.

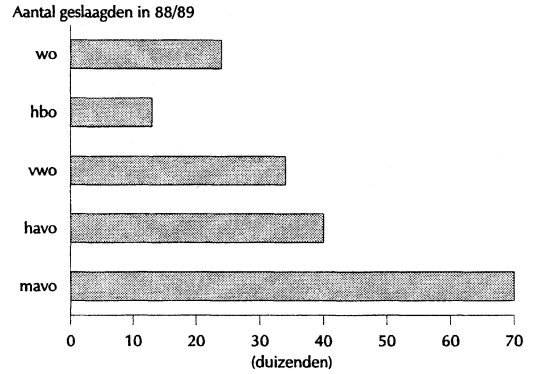
De ordinale schaal

Indien de boven vermelde objecten zodanig aan elkaar gerelateerd zijn, dat binnen de schaal het symbool > (groter dan) betekenis heeft in de zin van meer, groter, moeilijker, lichter, enz., kunnen ze in een volgorde worden geplaatst. Dan vormen de symbolen nummers op een ordinale of rangorde schaal. Afstanden op de schaal hebben geen numerieke betekenis.

Voorbeeld: Het aantal geslaagde studenten naar onderwijsniveau (figuur 30.3). De opleidingen kunnen in volgorde worden doorlopen, en daarom worden weergegeven op een ordinale schaal.



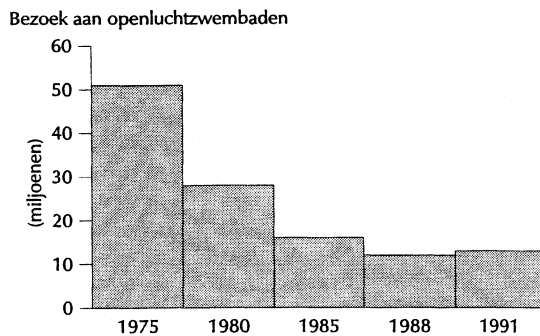
Figuur 30.2 Aantal mensen met een bepaalde handicap. De handicap is op een nominale schaal weergegeven, en het aantal mensen met deze handicap op een verhoudings-schaal.



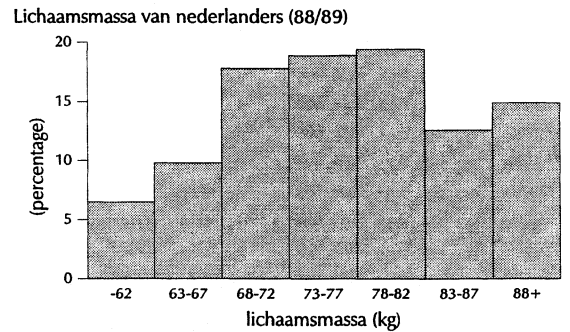
Figuur 30.3 Het aantal geslaagden naar type onderwijs. Het type onderwijs is op een rangorde schaal weergegeven, en het aantal geslaagden op een verhoudings-schaal.

De interval schaal

Wanneer de schaal alle karakteristieken heeft van de ordinale schaal, en bovendien de afstanden of verschillen tussen de nummers betekenis hebben, wordt gesproken van een interval schaal. Een interval schaal heeft één constante maateenheid en een willekeurig nulpunt, waardoor de verhouding van twee willekeurige punten op die



Figuur 30.4 Bezoekers aan openlucht-zwembaden in de jaren 1975 tot 1991. De jaartallen zijn weergegeven op een interval-schaal, en de aantallen bezoekers op een verhoudings-schaal.



Figuur 30.5 Het percentage mensen met een bepaalde lichaamsmassa. Zowel de lichaamsmassa als het percentage zijn op een verhoudings-schaal weergegeven.

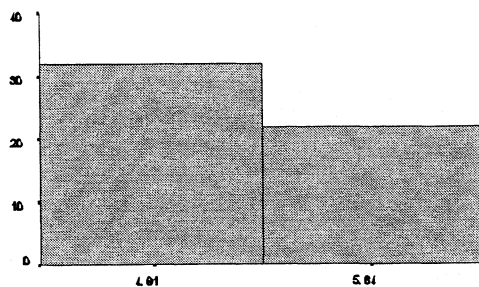
schaal afhangt van de gebruikte maateenheid.

Voorbeeld: Het aantal bezoeken aan een zwembad in de jaren 1975 tot 1991 (figuur 30.4). De jaren zijn weergegeven op een intervalschaal.

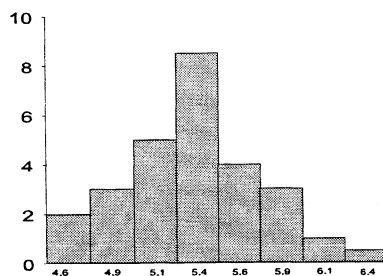
De verhoudings- of ratioschaal

Indien een schaal de eigenschappen van een interval schaal heeft, maar bovendien een echt nulpunt als oorsprong, wordt gesproken van een verhoudingsschaal. De verhouding van twee willekeurige punten op deze schaal is onafhankelijk van de gebruikte maateenheid.

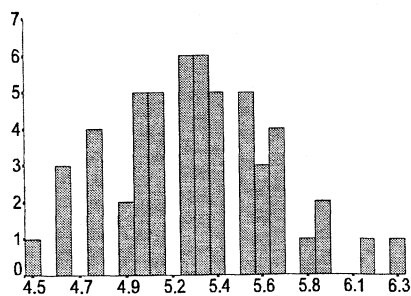
Voorbeeld: De verdeling van het lichaamsgewicht van de Nederlandse bevolking (figuur 30.5). Het gewicht is weergegeven op een verhoudingsschaal.



Figuur 30.6 Bij een te kleine klassebreedte is het nauwelijks mogelijk een indruk over centrale tendens en spreiding tekrijgen.



Figuur 30.7 Als het aantal klassen ongeveer gelijk is aan de wortel uit het aantal observaties, krijgt men in het algemeen een redelijke indruk over centrale tendens en spreidingsmaat.



Figuur 30.8 Bij een te kleine klassebreedte ontstaat een te genanceerd beeld; het wordt moeilijk een indruk van de belangrijkste statistische grootheden te krijgen.

Klassen

Wanneer een aantal kwantitatieve waarnemingen is gedaan, staan deze meestal vrij onoverzichtelijk in een of andere tabelachtige structuur. De eerste taak is dan een

zodanige ordening aan te brengen, dat de frequentieverdeling van de waarnemingen zichtbaar wordt. Vaak gebeurt dit door een histogram. Daarbij worden de waarnemingen ingedeeld in klassen. Alle waarnemingen, die in één klasse terecht komen, worden dan als gelijk beschouwd. Het aantal waarnemingen in de verschillende klassen vormt de hoogte van een kolom in het histogram. Om een geschikt histogram te krijgen, dat een inzicht geeft in het verloop van de gemeten waarden, bestaat de vuistregel dat het aantal te vormen klassen ongeveer gelijk is aan de wortel uit het aantal waarnemingen; de klassebreedte is dus gelijk aan de spreidingsbreedte (grootste min kleinste waarde) gedeeld door het aantal klassen. Maakt men de klassebreedte te klein dan ontstaat een te genuanceerd beeld ten koste van de overzichtelijkheid. Bij een te grote klassebreedte kan men nauwelijks meer een indruk krijgen over bijvoorbeeld de centrale tendens. In figuren 30.6 tot en met 30.8 zijn histogrammen weergegeven van 54 waarnemingen van een of andere variabele met telkens een ander aantal kolommen. De wortel uit 54 is ongeveer gelijk aan 7 à 8. Het is duidelijk te zien, dat de tweede grafiek (met, volgens de vuistregel, zeven kolommen) de beste informatie geeft over de globale tendens.

30.1.3 Parameters die een populatie beschrijven

Centrale tendensen: modus, mediaan, rekenkundig gemiddelde

In het algemeen heeft een frequentieverdeling van een variabele een gebied, waar die variabele meer voorkomt dan elders. Dit gebied is gewoonlijk min of meer centraal gelegen, waarbij de frequentie afneemt naarmate de afstand tot dit gebied groter wordt. Voor de centrale tendens worden in de ergonomische praktijk drie maten gebruikt: de modus, de mediaan en het rekenkundig gemiddelde.

Modus

In het geval van een nominale schaal heeft het begrip centraliteit natuurlijk geen betekenis. Daarom wordt dan gewerkt met de modus van de verdeling. De modus is eenvoudig die klasse, die de meeste waarnemingen bevat. Vanzelfsprekend kan de modus ook worden gebruikt in het geval van de hogere schalen dan de nominale. In 30.2 is de modus de klasse met 'zitten/staan problemen'.

Mediaan

In het geval dat de waarnemingen op een ordinale of hogere schaal kunnen worden weergegeven, wordt als centrale tendens de mediaan genomen. De mediaan is de middelste waarde van de geordende waarnemingen, en halveert dus het oppervlak onder de curve van de frequentieverdeling. In een steekproef met n geordende waarnemingen $x_{(i)}$ ($i = 1 \dots n$) is de mediaan M gelijk aan:

$$M = x_{(m)} \quad \text{met} \quad m = \frac{n + 1}{2}$$

voor een even aantal waarnemingen, en:

$$M = \frac{x_{(m)} + x_{(m+1)}}{2} \quad \text{met} \quad m = \frac{n}{2}$$

voor een oneven aantal. Verder is de mediaan niet erg gevoelig voor extreme waarden (ga dit na).

Rekenkundige en populatiegemiddelden

Het rekenkundig gemiddelde van een aantal waarnemingen is het quotiënt van de som van hun waarden en hun aantal. Het rekenkundig gemiddelde van een steekproef wordt aangeduid met het symbool \bar{x} . Voor het populatiegemiddelde wordt het symbool μ gebruikt. Dus, wanneer n de grootte van een steekproef, en N de grootte van een populatie voorstellen, worden \bar{x} en μ als volgt gedefinieerd:

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad \text{en} \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Indien een steekproef in klassen van gelijke breedte is weergegeven, wordt het rekenkundig gemiddelde berekend als:

$$\bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k f_i m_i$$

waarin f_i de frequentie van de klasse i voorstelt, m_i het klassemidden van de klasse i , en k het aantal kolommen.

Spreidingsmaten: spreidingsbreedte, standaardafwijking, quantielen

Om de variabiliteit van de waarde van een populatiegrootte te kunnen kwantificeren is een aantal spreidingsmaten ontwikkeld: de spreidingsbreedte, variantie en standaardafwijking en quantielen met afgeleide grootheden.

Spreidingsbreedte

Bij de beschouwing over klassebreedtes is de spreidingsbreedte al genoemd. De spreidingsbreedte (w) is gedefinieerd als het verschil tussen de hoogste en de laagste waarde.

Quantielen

Het concept van de mediaan kan worden uitgebreid naar die waarden van de onderhavige variabele, die de totale frequentie in een aantal gelijke delen verdelen. We kunnen bijvoorbeeld die drie waarden voor de variabele vaststellen, die de totale frequentie in vier gelijke delen verdelen, waarbij de middelste vanzelfsprekend de mediaan is. In dit geval spreken we van kwartielen. Worden er negen waarden vastgesteld, die de totale frequentie dus in tien gelijke delen verdelen, dan worden zij decielen genoemd. Zo is ook gemakkelijk de betekenis van het veelbegruikte begrip "percentielen" te begrijpen.

De waarde, waaronder een fractie α van alle waarnemingen ligt, wordt het fractiel P_α genoemd. Bijvoorbeeld het fractiel P_{90} staat voor die waarde van de variabele waar beneden 90% van alle waarden ligt, en wordt ook wel het 90^{ste} percentiel genoemd.

Standaardafwijking en variantie

De standaardafwijking en de variantie zijn de meest gebruikte spreidingsmaten, aangezien ze een grote rol spelen in vele statistische manipulaties. De variantie van een populatievariabele x is gedefinieerd als:

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)^2$$

In het geval van een steekproef wordt de variantie gedefinieerd als

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

De wortels uit de varianties σ_x^2 en s_x^2 zijn de standaardafwijkingen van de populatie en van de steekproef. Aangezien bij het nemen van een steekproef de waarde voor μ onbekend is, wordt deze geschat met \bar{x} . Daardoor wordt één waarneming afhankelijk en daalt het aantal vrijheden ook met één (daarom wordt bij de steekproefvariantie gedeeld door de steekproefomvang min één). De formule van de variantie van een steekproef kan worden geschreven als

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 2x_i\bar{x} + \bar{x}^2) = \frac{1}{n-1} (\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2)$$

Variatiecoëfficiënt

Teneinde de spreiding van verschillende (lichaams-)dimensies onderling vergelijkbaar te maken, wordt vaak gebruik gemaakt van de variatiecoëfficiënt V:

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

De meeste antropometrische maten (behoudens die voor volumina, krachten en bewegingen) hebben een V tussen 3 en 10, zie figuur 30.9 voor enkele voorbeelden.

Dimensie	v	gemiddelde v per klasse	Dimensie	v	gemiddelde v per klasse
<i>Lange lengtematen:</i>			<i>Breedtematen</i>		
lich. lengte	3,48	3,69	heupbreedte zittend	5,94	5,92
zithoogte	3,57		schouderbreedte	5,15	
ooghoogte, zittend	4,01		elleboog-elleboog	7,16	
<i>Korte lengtematen</i>			<i>Dieptematen</i>		
schouder-elleboog		4,58	borstdiepte	7,65	8,79
onderarm-hand	4,92		middeldiepte	10,80	
bil-knie	4,46		buik-bildiepte	8,33	
kniehoogte zittend	4,42				
voetlengte	4,66		<i>Omvangsmaten</i>		
handlengte	4,45		borstomvang	6,18	6,83
	4,59		middelomvang	8,81	
		bil-buikomvang	5,77		
			kuitomvang	6,56	

Figuur 30.9 Variatiecoëfficiënten van enkele antropometrische maten (Roebuck et al., 1975).

30.1.4 Frequentieverdelingen

Een frequentieverdeling geeft weer hoe groot de frequentiedichtheid is voor verschillende waarden van een variabele. We kunnen oorspronkelijke en afgeleide variabelen onderscheiden. De verdeling van oorspronkelijke variabelen, bijvoorbeeld antropometrische maten, benaderen vaak de normale verdeling. Afgeleide variabelen, zoals de standaardafwijking van een steekproef, hebben vaak een andere verdeling. In deze paragraaf worden enkele, in de ergonomische statistiek vaak voorkomende, frequentieverdelingen besproken.

Enige veel voorkomende frequentieverdelingen

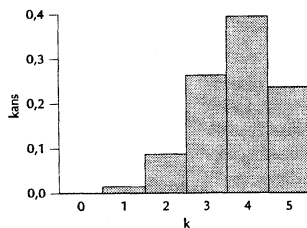
Binomiale verdeling

Vaak komt het voor, dat een populatie kan worden beschreven in twee relevante klassen, bijvoorbeeld man en vrouw, geschoold en ongeschoold, met en zonder voorkennis. Dan zal iedere observatie (x_i) van zo'n populatie terecht komen in één van twee discrete categorieën. Een dergelijke populatie heet een binaire of dichotome populatie. Laten we voor het gemak aannemen, dat de twee categorieën worden beschreven met één of nul. Veronderstel verder dat de kans op één ($P[x_i = 1]$) gelijk is aan p , en de kans op nul ($P[x_i = 0]$) gelijk is aan $q = 1 - p$:

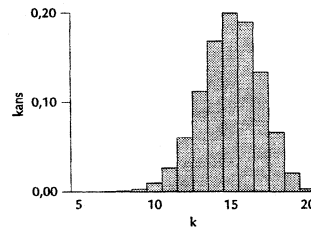
$$p = P[x_i = 1] \quad \text{en} \quad q = 1 - P[x_i = 0]$$

Als nu een aantal (n) observaties van deze populatie worden gedaan, wordt de kans dat k observaties gelijk zijn aan één, en dus $n - k$ observaties gelijk aan nul, gegeven door de binomiale verdeling. Waarden voor $P[y = k]$ staan getabelleerd in de tabel in de bijlage.

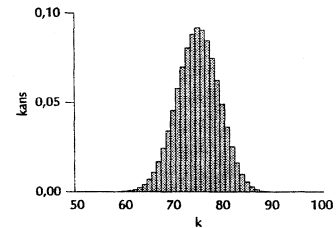
Voorbeeld: neem aan, dat in een bedrijf driekwart van de werknemers vrouw is (dus: $p = \text{kans op vrouw} = 0,75$). Er moet een onderzoek gaan plaatsvinden naar krachtoefening. Daartoe wordt een willekeurig gekozen groep medewerkers geselecteerd. Figuren 30.10 tot en met 30.12 geven aan hoe groot de kans op een aantal (x) vrouwen is bij verschillende groepsgroottes ($n = 5, 20, 100$). Vanzelfsprekend ligt in elk van deze diagrammen de modus in de buurt van $pN = \frac{3}{4}N$.



Figuur 30.10 Kans op k vrouwen bij $n = 5$.



Figuur 30.11 Kans op k vrouwen bij $n = 20$.

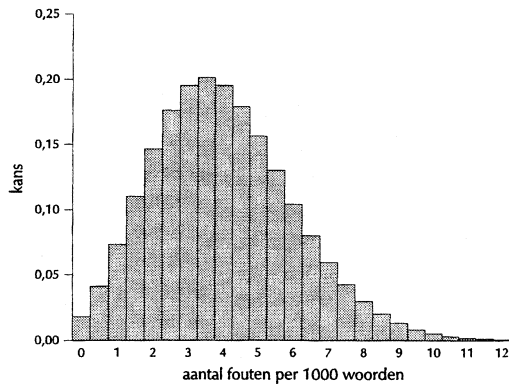


Figuur 30.12 Kans op k vrouwen bij $n = 100$.

Poisson-verdeling

Soms is de kans op een gebeurtenis erg klein, bijvoorbeeld de kans dat met een bepaald product een ongeluk gebeurt, het aantal typfouten door een ervaren typiste, bliksemingslag, enz. Dit heeft tot gevolg dat pas na langere tijd, of in wat grotere steekproeven de betreffende gebeurtenis een redelijk aantal keren zal plaatsvinden. Stel, bijvoorbeeld, dat een typiste gemiddeld vier foute toetsaanslagen maakt bij het typen van duizend woorden. Gaan we de fouten tellen, dan zullen we soms geen fouten aantreffen, wat vaker twee, drie, vier of vijf, en weer minder vaak 6 of meer fouten. Als deze fouten willekeurig optreden (dus er is geen neiging om op het einde van de werkdag, of na een telefonade met haar vriend meer fouten te maken) dan bestaat er een formule, die de kans geeft op elk aantal mislagen per duizend woorden. Indien, in het algemeen, de gemiddelde gebeurtenisdichtheid gelijk is aan λ (dus in het geval met de typiste is $\lambda = 4$), dan wordt de kans op k observaties per eenheid (de eenheid is in ons geval "duizend woorden") gegeven door de Poisson-verdeling. In figuur 30.13 zijn de kansen op het optreden van een aantal (k) mislagen per duizend woorden grafisch weergegeven. In de bijlage is de tabel van de cumulatieve

Poisson-verdeling weergegeven.

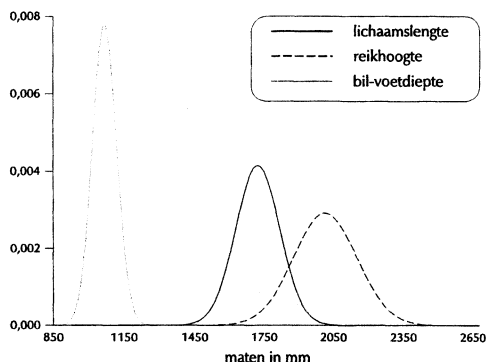


Figuur 30.13 Poisson-verdeling van het aantal fouten per duizend woorden, indien gemiddeld vier fouten per duizend woorden optreden.

Normale verdeling

In de statistische analyse is de belangrijkste verdeling de gauss- of de normale verdeling. De normale verdeling is met name zo interessant, omdat de meeste antropometrische variabelen bij benadering normaal zijn verdeeld. Dit is een gevolg van het feit, dat als de waarde van een verschijnsel wordt verstoord door een groot aantal externe factoren, deze waarde normaal zal zijn verdeeld, waarbij de verdelingsfuncties van de betreffende storende factoren geen invloed hebben! De normale verdeling is symmetrisch ten opzichte van gemiddelde μ .

Het is natuurlijk ondoenlijk tabellen te maken voor iedere waarde van μ en variantie σ^2 . Daarom wordt een normaal verdeelde grootheid x omgerekend naar de standaard-normaal verdeelde grootheid $z = (x - \mu) / \sigma$, waarin $\mu = 0$ en $\sigma = 1$.



Figuur 30.14 De verdelingsfuncties van drie verschillende normaal verdeelde grootheden. Zowel het gemiddelden als de standaardafwijkingen verschillen. De linkercurve heeft een laag gemiddelde en een lage standaardafwijking. Met toenemende waarde voor gemiddelde nemen in dit geval ook de standaardafwijkingen toe (omdat de variatiecoëfficiënten in dezelfde orde van grootte liggen).

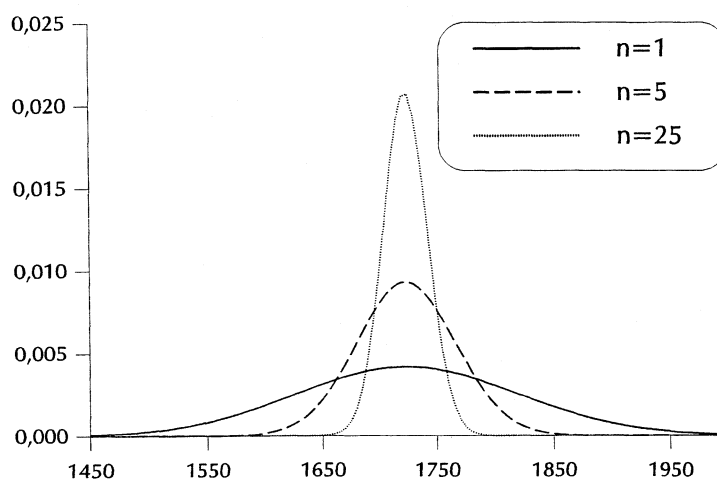
Van de standaard-normale verdeling zijn de linker overschrijdingskansen als een cumulatieve verdeling in tabelvorm weergegeven (bijlage).

In figuur 30.14 zijn enkele voorbeelden van normale verdelingen met verschillende μ en σ weergegeven (bron: Dined-tabel). De middelste curve geeft de lichaamslengte van Nederlanders als een normale verdeling met gemiddelde $\mu = 1723$ mm en

standaardafwijking $\sigma = 96$ mm. De linkercurve geeft de bil-voetdiepte in zittende houding met $\mu = 1068$ mm en $\sigma = 51$ mm. De rechtercurve de reikhoogte staand met $\mu = 2015$ mm en $\sigma = 137$ mm. Het is duidelijk te zien, dat de curves verschillen in centrale tendens (μ) en in spreiding (σ). In het vervolg wordt een normale verdeling met μ en σ^2 aangeduid als $N(\mu; \sigma^2)$.

Hoe wordt nu de tabel voor de standaard normale verdeling gebruikt? Laten we uitgaan van de kansverdeling voor de lichaamslengte: $N(1723; 96^2)$. Als we ons afvragen tussen welke grenzen zich 80% van de populatie bevindt, symmetrisch verdeeld ten opzichte van μ , dan zoeken we dus naar de grens voor de kleinste 10% en de grens voor de grootste 10%. Worden deze twee uiterste groepen uitgesloten, dan blijft de gevraagde 80% over. Aangezien de tabel cumulatief is opgesteld kunnen deze fracties direct worden afgelezen. Voor de ondergrens van 10% ($= 0.10$) wordt gevonden dat $z = -1,28$. Voor de bovengrens, de langste 10%, dus tevens de grens voor de kleinste 90%, is $z = +1,28$. De lichaamslengten, die hier bij horen, volgen uit $z = (x - \mu) / \sigma$, of $x = \mu + z\sigma$. De grenzen voor x zijn dus: $x = \mu \pm 1,28\sigma = 1723 \pm 1,28 \cdot 96$ mm. De ondergrens is dus 1600 mm en de bovengrens 1846 mm.

Beschouwen we de kansverdeling van het gemiddelde \bar{x} van een groep waarnemingen, dan is de spreiding van \bar{x} kleiner dan die van x_i . Deze spreiding neemt af met de grootte van de steekproef. Aangetoond kan worden dat de standaardafwijking van het gemiddelde van een normaal verdeelde grootheid gelijk is aan σ/\sqrt{n} , en dat \bar{x} normaal verdeeld is volgens $N(\mu; \sigma^2/n)$.



Figuur 30.15 De kansverdelingen voor het gemiddelde van de lichaamslengten van volwassen Nederlanders voor $n=1$, $n=5$ en $n=25$ proefpersonen. Duidelijk is te zien dat σ kleiner wordt met toenemende n . Vanzelfsprekend wordt de curve ook hoger, omdat het totale oppervlak onder de curve gelijk aan 1 is en de kansdichtheid rond $x = \mu$ groter wordt.

Voorbeeld: in figuur 30.15 zijn de kansverdelingen gegeven voor het gemiddelde van de lichaamslengte van volwassen Nederlanders voor 1, 5 en 25 proefpersonen. Duidelijk is te zien dat σ kleiner wordt met toenemende n . Ook wordt de curve hoger en de kansdichtheid rond $x = \mu$ groter.

Hoe groot is nu de kans dat we, in elk van deze steekproeven, een uitkomst voor \bar{x} krijgen, die groter is dan $1723 + 40 = 1763$ mm?

Daartoe worden, omdat de tabel is gebaseerd op de standaard normale verdeling, eerst de z-waarden berekend.

$$z_1 = \frac{(1723+40) - 1723}{96} = 0.417$$

$$z_2 = \frac{(1723+40) - 1723}{96/\sqrt{5}} = 0.932$$

$$z_3 = \frac{(1723+40) - 1723}{96/\sqrt{25}} = 2.083;$$

Vervolgens worden in de tabel de overschrijdingskansen opgezocht:

$$P((\bar{x} - \mu)/\sigma > z_1) = 1 - 0.663 = 0.337 = 34\%$$

$$P((\bar{x} - \mu)/\sigma > z_2) = 1 - 0.824 = 0.176 = 18\%$$

$$P((\bar{x} - \mu)/\sigma > z_3) = 1 - 0.981 = 0.019 = 2\%$$

De kans op overschrijding van de waarde 1763 mm neemt inderdaad drastisch af met n .

Chi-kwadraatverdeling

Met de χ^2 -verdeling (ν =aantal vrijheden) wordt beschreven hoe de standaardafwijking s van een steekproef, getrokken uit een populatie met $N(\mu; \sigma^2)$ varieert. Het blijkt dat vs^2/σ^2 isomoor ("isomoor aan ..." betekent: heeft dezelfde verdeling als ...) is met de χ^2 -verdeling. De verwachtingswaarde van de chi-kwadraat verdeling, en dus het gemiddelde, is gelijk aan ν (de verwachtingswaarde E van de stochastische grootte x is gedefinieerd als $E(x) = \int x f(x) dx$ voor continu verdeelde grootheden en als

$E(x) = \sum f(x_i)x_i$). Deze verdelingsfunctie is ook cumulatief getabelleerd. De χ^2 -verdeling wordt in twee verschillende vormen getabelleerd: als χ^2 en als $\chi^2_\nu = \chi^2/\nu$. In de bijlage is de tabel voor χ^2 gegeven.

Voorbeeld. Volgens de Dined tabel is de lichaamslengte van volwassen Nederlanders verdeeld volgens $N(1723; 96^2)$ mm. Stel nu dat we van zes willekeurige proefpersonen uit deze populatie de lichaamslengte meten en vervolgens de standaardafwijking berekenen. Hoe groot is nu de kans, dat $s^2 > 3\sigma^2$?

Oplossing: het aantal vrijheidsgraden $\nu = n - 1 = 5$; als $s^2 > 3\sigma^2$, dan geldt ook: $vs^2/\sigma^2 > 15$.

In de tabel vinden we dat de onderschrijdingskans voor $\chi^2 = 15$ bij 5 vrijheidsgraden gelijk is aan 0.99, of 99%. De kans dat $s^2 > 3\sigma^2$ is dus $1 - 0.99 = 0.01$ of 1%.

Student's t-verdeling

Bij de bespreking van de normale verdeling is de kansverdeling van het gemiddelde van een groep van n waarnemingen aan de orde geweest. Daar werd σ bekend verondersteld. Maar als σ onbekend is, en ook geschat moet worden uit de waarnemingen, is de waarde van $t = (\bar{x} - \mu)/(s/\sqrt{n})$ niet standaard-normaal verdeeld. Aangetoond kan worden dat deze variabele isomoor is met de Students-verdeling (of de t_ν -verdeling) welke symmetrisch is ten opzichte van nul, en één parameter heeft: het

aantal vrijheidsgraden $v=n-1$.

De t_v -verdeling, die is getabelleerd in de tabel (bijlage 14) lijkt op de normale verdeling, maar heeft een lagere top en dikkere staarten. Voor grote waarden van n ($n > 30$) mag de t_v -verdeling worden vervangen door de standaard normale verdeling $N(0;1)$.

Voorbeeld: om een voor 90% betrouwbare schatting te krijgen van de gemiddelde lichaamslengte van volwassen Nederlanders nemen we een willekeurige steekproef van tien mensen. Stel dat de gemiddelde lengte gelijk blijkt te zijn aan 1800 mm, en de standaard-afwijking van de steekproef gelijk aan 90 mm. We weten dat $(\bar{x}-\mu)/(s/\sqrt{n})$ isomoor is met de t_v -verdeling. In tabel vinden we de 95%-grens bij $v=10-1=9$: $t_9(0,95) = +1,83$. Daar de t_v -verdeling symmetrisch is ten opzichte van $t=0$, is dus $t_9(0,05) = -1,83$. Dus:

$$-1,83 < \frac{\bar{x}-\mu}{s/\sqrt{n}} < +1,83 \quad \text{of} \quad \bar{x}-1,83 \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x}+1,83 \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$1745 \text{ mm} < \mu < 1855 \text{ mm}$$

F-verdeling

Soms is het nodig de varianties s_1^2 en s_2^2 van twee steekproeven te vergelijken en vast te stellen of zij uit dezelfde populatie s^2 komen. Indien dit inderdaad het geval is, geldt dat de verhouding van de varianties s_1^2/s_2^2 isomoor is met $F_{(v_1,v_2)}$ -verdeling met v_1 en v_2 vrijheden.

Voorbeeld: twee onderzoekers nemen uit een populatie mensen elk een steekproef om de lichaamslengte te bepalen. Onderzoeker A meet 5 mensen (dus $v_A=4$) en onderzoeker B meet 21 mensen (dus $v_B=20$). Beide berekenen de variantie s^2 . Tussen welke grenzen zal de verhouding s_B^2/s_A^2 zich met bijvoorbeeld 90% zekerheid bevinden?

Om de 90%-grenzen voor s_B^2/s_A^2 vast te stellen zoeken we in de 95%-tabel van de cumulatieve $F(20,4)$ -verdeling eerst de maximale waarde: 5,80. Dus: 95% van alle uitkomsten zullen kleiner zijn dan 5,80. Voor de ondergrens moet een kunstgreep worden toegepast, aangezien de tabel slechts voor grote onderschrijdingskansen is samengesteld. Wanneer $s_B^2/s_A^2 > x$, dan $s_A^2/s_B^2 < 1/x$. We hebben dus de 95% overschrijdingskans omgezet naar de 95% onderschrijdingskans, maar wel met verwisseling van de vrijheden v_A en v_B . In dezelfde 95%-tabel zoeken we nu $F(4,20)$ op: 2,87. Er mag dus worden geschreven: als $s_A^2/s_B^2 < 2,87$; dan $s_B^2/s_A^2 > 1/2,87 = 0,35$. De grenzen voor s_B^2/s_A^2 zijn blijkbaar: $0,35 < s_B^2/s_A^2 < 5,80$.

Linker, rechter en tweezijdige overschrijdingskansen

In deze paragraaf wordt nog eens ingegaan op overschrijdingskansen en hoe er mee wordt gewerkt.

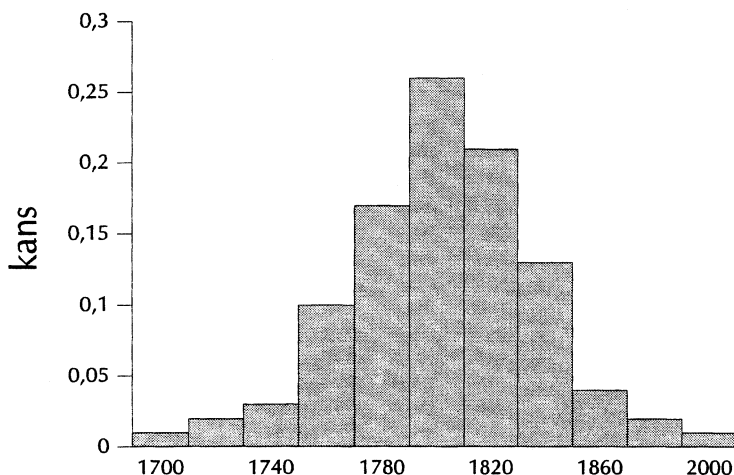
Er worden drie verschillende overschrijdingskansen onderscheiden: de linker, de rechter en de tweezijdige overschrijdingskans. In het geval van een discreet verdeelde stochastische variabele x , is de linker overschrijdingskans P_L van de waarde x_1 de kans dat de waarde van x kleiner is dan of gelijk aan x_1 . De rechter overschrijdingskans P_R van de waarde x_1 de kans dat de waarde van x groter is dan of gelijk aan x_1 . De tweezijdige overschrijdingskans P_2 van de waarde x_1 is gelijk aan de som van de kansen van die waarden van x_i , die een hoogstens even grote kans als x_1 bezitten. Deze definitie is alleen zinvol voor unimodale verdelingen: eerst monotoon steigend, en na

de top monotoon dalend.

Voorbeeld: stel dat de volgende frequentieverdeling van lichaamslengten is gevonden:

x_i (mm)	1700	1720	1740	1760	1780	1800	1820	1840	1860	1880	2000
$f(x_i)$	0.01	0.02	0.03	0.10	0.17	0.26	0.21	0.13	0.04	0.02	0.01

Onderstaand histogram geeft deze waarden grafisch weer. Voor deze verdeling gelden de volgende overschrijdingskansen:



Figuur 30.16 De verdeling van de lichaamslengte volgens de tabel.

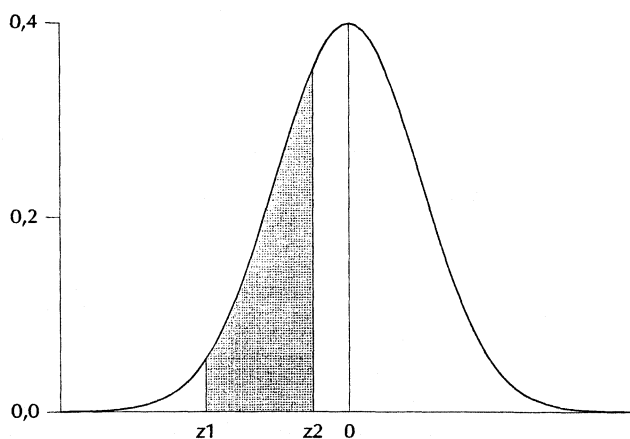
$P_L(1740)$ is de kans dat x gelijk is aan 1700, 1720 of 1740 mm. Dus:

$$P_L(1740) = 0.01 + 0.02 + 0.03 = 0.06.$$

$P_R(1840)$ is de kans dat x gelijk is aan 1840, 1860, 1880 of 2000 mm. Dus:

$$P_R(1840) = 0.13 + 0.04 + 0.02 + 0.01 = 0.20.$$

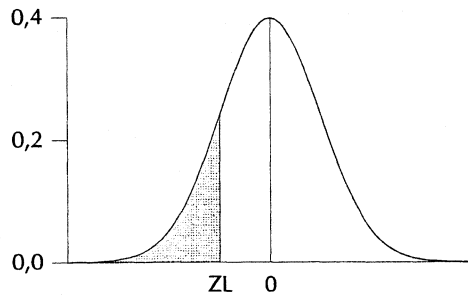
$P_2(1860)$ is de kans dat x gelijk is aan 1860, 1880, 2000 óf, daar $P(x = 1860) = 0.04$, gelijk aan 1700, 1720 of 1740 mm (omdat de kansen op deze waarden kleiner zijn dan 0.04). Dus: $P_2(1860) = 0.04 + 0.02 + 0.01 + 0.03 + 0.02 + 0.01 = 0.13$.



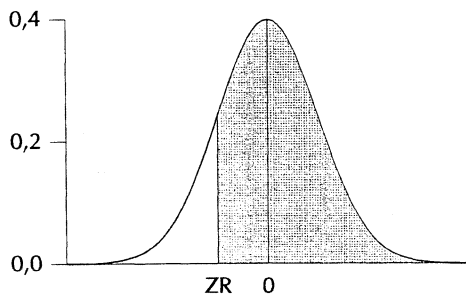
Figuur 30.17 De kans, dat de waarde van een stochastisch verdeelde grootheid z tussen z_1 en z_2 ligt, is gelijk aan het oppervlak onder de curve van de verdelingsfunctie, dat tussen de ordinaten van z_1 en z_2 ligt.

In het geval van een continu verdeelde stochastische variabele wordt iets anders te werk gegaan. De overschrijdingskansen voor een continue frequentieverdeling worden hier beschreven aan de hand van de standaard normale verdeling. Voor andere verdelingen gaat men analoog te werk. De kans $P(z_1 < z < z_2)$ is gelijk aan dat deel van het oppervlak dat tussen de ordinaten van z_1 en z_2 ligt (figuur 30.17).

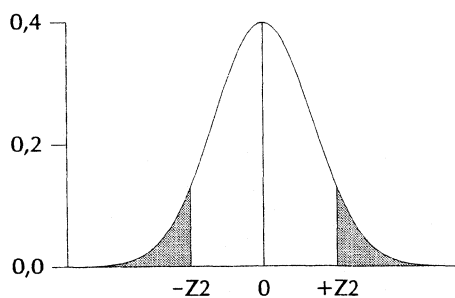
Analoog aan de discrete frequentieverdeling kunnen de linker overschrijdingskans en de rechter overschrijdingskans worden gedefinieerd: $P_L(z_L) = P(z \leq z_L)$ en $P_R(z_R) = P(z \geq z_R)$ (figuur 30.18 tot en met 30.20). Indien $z_L = z_R$ is $P_L + P_R$ vanzelfsprekend gelijk aan 1.



Figuur 30.18 De kans, dat de waarde van een stochastisch verdeelde grootheid z links van z_L ligt, de linker overschrijdingskans, is gelijk aan het oppervlak onder de curve van de verdelingsfunctie, dat links van de ordinaat van z_L ligt.



Figuur 30.19 De kans, dat de waarde van een stochastisch verdeelde grootheid z rechts van z_R ligt, de rechter overschrijdingskans van z_R , is gelijk aan het oppervlak onder de curve van de verdelingsfunctie, dat rechts van de ordinaat van z_R ligt.



Figuur 30.20 De kans, dat de waarde van een stochastisch verdeelde grootheid z links van $-z_2$ of rechts van $+z_R$ ligt, de tweezijdige overschrijdingskans van z_2 , is gelijk aan het oppervlak onder de curve van de verdelingsfunctie, dat links van $-z_2$ of rechts van $+z_2$ ligt.

De tweezijdige overschrijdingskans $P_2(z_2)$ is gedefinieerd als de kans dat de stochastische variabele z een waarde aanneemt buiten het interval tussen $-z_2$ en $+z_2$. Daar de standaard normale verdeling symmetrisch is, geldt:

$$P_2(z_2) = P(z \leq -z_2) + P(z \geq z_2) = 2P_R(z_2) = 2P_L(-z_2)$$

Voorbeeld 1. Hoe groot is de tweezijdige overschrijdingskans voor $z_2 = 1.86$?

In de tabel voor standaard normale verdeling vinden we een linker overschrijdingskans van 0.9686. Aangezien $z_2 > 0$ berekenen we hieruit eerst de rechter overschrijdingskans: $P_R(1.86) = 1 - P_L(1.86) = 1 - 0.9686 = 0.0314$.

De linker overschrijdingskans voor $z_2 = -1.86$ is, om redenen van symmetrie, ook gelijk aan 0.0314. de tweezijdige overschrijdingskans is dus gelijk aan $0.0314 + 0.0314 = 0.0628$ of 6.28%.

Voorbeeld 2. Indien op een bepaald wegtraject gemiddeld twee ongevallen per maand plaatsvinden, hoe groot is dan de kans op twee, drie of vier ongevallen in een maand?

Hier is de Poisson-verdeling van toepassing. Het gemiddelde is twee ongelukken per maand, dus $\mu = 2$. We zoeken nu in de tabel voor de *cumulatieve* Poisson-verdeling met $\mu = 2$. Voor $x = 4$ vinden we een kans van 0.9473. Dus:

$P_L(4) = P(x=0) + \dots + P(x=4) = 0.9473$. We willen echter uitsluiten: $x=0$ en $x=1$.

Daarom trekken we $P_L(1)$ hier van af. In de tabel vinden we voor $x=1$ bij $\mu=2$:

$P_L(1) = 0.4060$. Dus: $P(x=2,3,4) = P_L(4) - P_L(1) = 0.9473 - 0.4060 = 0.5413$. De kans op twee, drie of vier ongevallen is blijkbaar 54%.

30.2 Samenhang

30.2.1 Inleiding

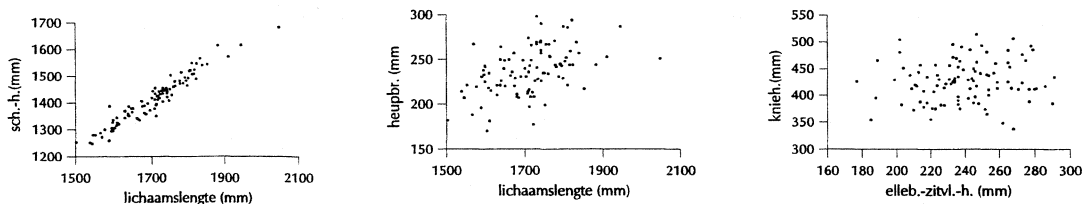
Indien we twee of meer variabelen of grootheden meten aan een proefpersoon zijn we vaak geïnteresseerd in een eventuele associatie of samenhang tussen deze grootheden. Zijn langere mensen breder? Eten grotere mensen meer dan kleine? Hebben dikkere mensen meer last van rugklachten? Hier wordt gevraagd naar de samenhang of *correlatie* tussen variabelen. Wanneer twee grootheden "dicht bij elkaar" staan (er zitten weinig storende factoren tussen), dan zal een eventuele samenhang duidelijker zichtbaar zijn dan in het geval van veel storende factoren. Zo is de lichaamslengte bijvoorbeeld sterker gecorreleerd met de schouderhoogte dan met de enkelhoogte. Indien samenhang is aangetoond kunnen we bovendien geïnteresseerd zijn in de aard of de sterkte van de samenhang. Dit soort vragen wordt beantwoord met behulp van, van de schaal afhankelijke, samenhang-analysetechnieken. Op een nominale schaal kan bijv. de Cochran-toets worden gebruikt, op een ordinale schaal de correlatie-coëfficiënt van Pearson, en op een interval- of verhoudingsschaal de parametrische regressie-analyse. We zullen ons in dit hoofdstuk bezig houden met samenhang tussen twee grootheden.

30.2.2 Samenhang tussen twee variabelen

Weergave meetresultaten

In een experiment worden waarnemingen van twee stochastische grootheden meestal eerst in een tabel genoteerd. Eventuele samenhangen zijn erg moeilijk vast te stellen uit een dergelijke tabel. Dit gaat beter met een spreidingsdiagram. Figuren 30.21 en 30.22 geven de resultaten weer van zo'n onderzoek voor honderd proefpersonen. Nu wordt zichtbaar dat de lichaamslengte en de schouderhoogte sterker aan elkaar zijn gerelateerd dan de lichaamslengte en de heupbreedte. Hoe meer deze puntenwolk een

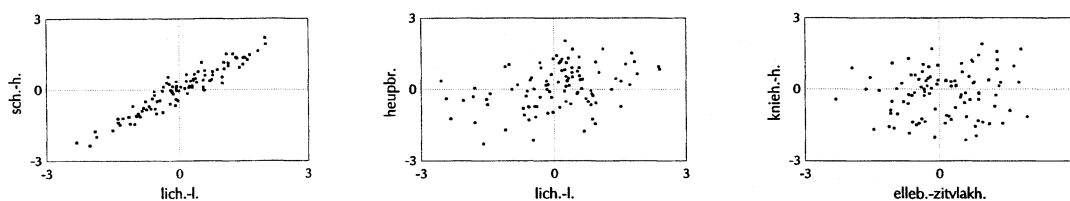
rechte lijn benadert, hoe sterker de onderlinge afhankelijkheid. De kniehoogte en de zitvlak-ellebooghoogte, beide zittend gemeten, geven een puntenwolk zoals weergegeven in de rechterfiguur. Hier is structureel verband nauwelijks te vinden. Blijkbaar zijn deze grootheden wederzijds onafhankelijk.



Figuur 30.21 De schouderhoogte, heupbreedte en kniehoogte, weergegeven als functie van de lichaamslengte en elleboog-zitvlakhoogte.

Correlatie

De in de vorige paragraaf weergegeven diagrammen kunnen beter op samenhangen worden beoordeeld, als de gemiddelden van de getallen x_i en y_i naar de oorsprong van het assenstelsel getransleerd worden en als de spreiding genormaliseerd wordt: $z_i = (x_i - \mu) / \sigma$. De drie grafieken zien dan als volgt uit:



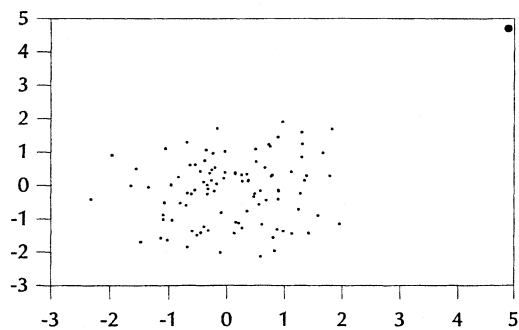
Figuur 30.22 Dezelfde methode als in figuur 30.21 maar nu genormaliseerd m.b.v. $z = (x - \mu) / \sigma$

De gemiddelden voor alle grootheden zijn nu gelijk aan nul en de standaardafwijkingen gelijk aan één geworden, zodat de samenhangen zijn te vergelijken op dezelfde schaal. In de eerste grafiek is duidelijk een samenhang te zien. In de tweede grafiek zien we dat de kwadranten rechtsboven en linksonder veel meer waarnemingen bevatten dan de andere twee. In de derde grafiek zijn de waarnemingen ongeveer gelijk verdeeld over de vier kwadranten.

Samenhang tussen de grootheden x en y wordt gekwantificeerd met behulp van de correlatiecoëfficiënt e_{xy} :

$$e_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \mu_y)^2}}$$

Indien er geen kans op verwarring bestaat worden bij ρ_{xy} de indices x en y weggelaten: ρ . De correlatiecoëfficiënt heeft maximale en minimale waarden van +1, respectievelijk -1. Wanneer er geen samenhang bestaat, verschilt ρ weinig van nul. De kans, dat de waarde van een stochastisch verdeelde grootheid z links van $-z_2$ of rechts van $+z_2$ ligt, de tweezijdige overschrijdingskans van z_2 , is gelijk aan het oppervlak onder de curve van de verdelingsfunctie, dat links van $-z_2$ of rechts van $+z_2$ ligt. Het is



Figuur 30.23 De correlatiecoëfficiënt van twee ongecorreleerde grootheden kan een significant van nul verschillende waarde aannemen door een enkele uitschieter (zie meetpunt in rechterbovenhoek).

gevaarlijk slechts de correlatiecoëfficiënt te gebruiken om conclusies te trekken omtrent eventuele samenhang. Bijv: Als twee variabelen niet gecorreleerd zijn, zoals weergegeven in figuur 30.22, maar door toeval een enkele uitschieter wordt gemeten (het meetpunt in de rechterbovenhoek in figuur 30.23), zullen we een hogere correlatiecoëfficiënt vinden, terwijl die in werkelijkheid natuurlijk niet bestaat. Een ander gevaar bestaat, wanneer twee grootheden hoog gecorreleerd zijn volgens een niet-lineaire relatie, bijvoorbeeld volgens een tweede graads polynoom. Daar de correlatiecoëfficiënt is gebaseerd op lineaire samenhang zal in dit geval een te lage samenhang worden gevonden. Trek daarom slechts conclusies over eventuele samenhang na een visuele inspectie van de meetresultaten.

Als de correlatie uit een steekproef wordt berekend, wordt ρ_{xy} geschat met de steekproef-correlatiecoëfficiënt r_{xy} :

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (v = n - 2)$$

De steekproefcorrelatiecoëfficiënt r onder $\rho = 0$ (dit betekent: het gedrag van de stochastische variabele r , als de waarde van ρ gelijk aan nul is) is cumulatief getabelleerd in de tabel in de bijlage.

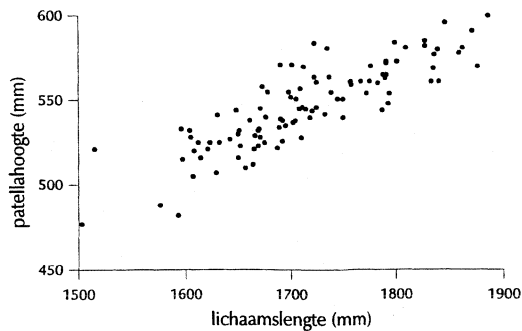
Regressie

Wanneer twee grootheden x en y gecorreleerd zijn, weet men nog niet hoe het verloop is van y als functie van x . Dit wordt onderzocht met behulp van regressieanalyse. De gebruikelijke strategie is dan dat op de volgende wijze een steekproef wordt samengesteld van n observatieparen (x, y) :

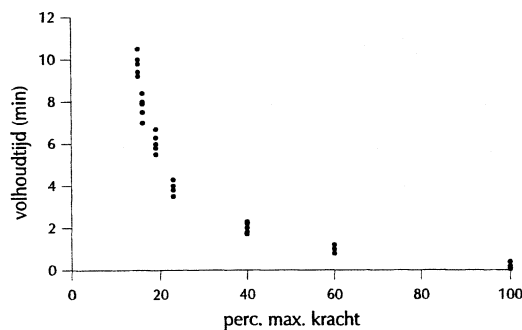
- er wordt een aantal waarden x_1, x_2, \dots, x_k van x gekozen;
- voor elke waarde x_i worden aselect n_i observaties van y verricht. Dan zijn er n_i waarnemingen bij x_1, n_2 bij x_2 , enz., waarbij geldt: $n = \sum n_i$ ($i = 1..k$).

Nu zijn er voor het verloop van de twee grootheden x en y twee mogelijkheden: een rechtlijnig en een niet-rechtlijnig verloop. In figuur 30.24 is een voorbeeld gegeven van een, op het oog, rechtlijnig verband tussen lichaamslengte en patellahoogte. In figuur 30.25 staat de volhoudtijd weergegeven als functie van het percentage maximale

krachtuitoefening. In deze grafiek is duidelijk een exponentieel verband te zien.



Figuur 30.24 De patellahoogte hangt lineair af van de lichaamslengte; de puntenwolk ligt langs een rechte lijn gegroepeerd.



Figuur 30.25 De volhoudtijd hangt exponentieel af van de maximale kracht.

Wij zullen ons eerst met de rechtlijnige (lineaire) regressie bezighouden en in een volgende paragraaf met de niet-rechtlijnige.

Lineaire regressie

De regressiecoëfficiënt geeft aan met hoeveel eenheden de afhankelijke grootte (criterium-variabele) toe- of afneemt bij een positieve verandering van de onafhankelijke grootte (predictor). Bij toename is de coëfficiënt positief en bij afname negatief.

We nemen aan dat tussen y en x het volgende verband bestaat:

$$y = \alpha + \beta x \quad \text{of}$$

$$y_j = \alpha + \beta x_j \quad \text{met } j=1,2,\dots,k$$

Hierin is β de regressiecoëfficiënt en α een constante, die het snijpunt van de regressielijn met de y -as vastlegt (intercept). Hoe kleiner nu de spreiding van y is, hoe nauwkeuriger de waarde van y bij een bepaalde waarde van de predictor x kan worden voorspeld.

Wanneer de waarden van α en β onbekend zijn, kunnen ze met behulp van een steekproef worden geschat. Een veel gebruikte methode is die der kleinste kwadraten. Hierbij wordt de som van de kwadraten van de afstanden tussen de meetwaarde en de waarde van y , die uit de regressielijn zou volgen, geminimaliseerd. Dan blijkt β te

kunnen worden geschat door:

$$b = \frac{\sum xy - n\bar{x}\bar{y}}{\sum x^2 - n\bar{x}^2}$$

De waarde van α wordt geschat door $a = \bar{y} - b\bar{x}$, zodat de regressielijn wordt geschat door

$\hat{y} = a + bx$. We kunnen dus twee y-waarden bij een bepaalde x_i onderscheiden: de meetwaarde y_i en de door regressie geschatte waarde $\hat{y}_i = a + bx_i$.

Vaak is het belangrijk de variantie σ_{yx}^2 te kennen. Dit is de variantie van y voor een bepaalde waarde van x. Deze wordt geschat door:

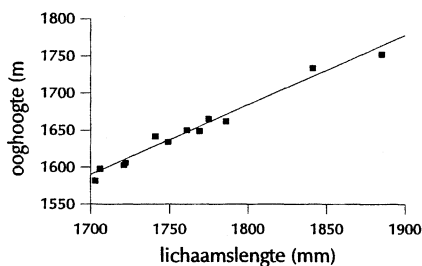
$$s_{y,x}^2 = \frac{1}{n-2} \sum_{j=1}^k \left(\sum_{i=1}^{n_i} (y_{ij} - \hat{y}_j)^2 \right)$$

waar y_{ij} de i-de waarde van de n_i waarnemingen bij x_j is.

Als de waarden voor x willekeurig verdeeld zijn over de x-as, wordt de formule voor σ_{yx}^2 :

$$s_{y,x}^2 = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Voorbeeld: als voorbeeld voor lineaire regressie dient een experiment, waarin twaalf metingen van de lichaamslengte (x) en ooghoogte (y) zijn gedaan. De resultaten (in mm) zijn weergegeven in de tabel. De tussenberekeningen, die nodig zijn voor de berekening van de steekproef-correlatiecoëfficiënt r en de steekproef-regressiecoëfficiënten a en b zijn eenvoudig uit te voeren, en staan links van de tabel vermeld.



$n = 12$
 $\sum x_i = 21159$
 $\bar{x} = 1763 \text{ mm}$
 $\sum y_i = 19777$
 $\bar{y} = 1648 \text{ mm}$
 $\sum x_i^2 = 37341261$
 $\sum y_i^2 = 32623723$
 $\sum x_i y_i = 34902469$
 $s_x^2 = 2689$
 $s_y^2 = 2968$

x	y
1841	1734
1706	1598
1775	1665
1703	1582
1722	1606
1749	1634
1761	1650
1721	1603
1786	1662
1885	1752
1769	1649
1741	1642

Figuur 30.26 De waarden van de lichaamslengte en ooghoogte uit de tabel, weergegeven als puntenwolk. Tevens is de berekende regressielijn weergegeven.

De correlatiecoëfficiënt is nu eenvoudig te berekenen: $r = 0.987$, evenals de regressiecoëfficiënten a en b: $a = 0.9393$ en $b = -8.224 \text{ mm}$. De regressielijn is dus: $y = 0.94x - 8.224$.

Niet-lineaire regressie

Als de observaties geen *lineair verband* vertonen is het vaak mogelijk de kleinste kwadraten-methode toe te passen op een polynoom van de vorm:

$y = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots$, waar de afhankelijke variabele y wordt uitgedrukt als de som van een machtreeks van de onafhankelijke variabele x met coëfficiënten a, b, c, d, \dots

Deze methode wordt geïllustreerd aan de hand van een kwadratische curve:

$y = a + bx + cx^2$. De procedure voor de kwadratische methode kan geëxtrapoleerd worden naar polynomen van elke grootte, hoewel het meestal zinloos is hoger dan orde drie te gaan.

Gelukkig bevatten vrijwel alle statistische softwarepakketten dergelijke technieken, zodat persoonlijk rekenwerk vrijwel achterwege kan blijven.

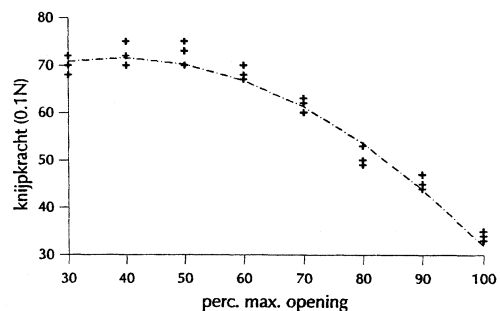
Voorbeeld: in een onderzoek is de maximale handkracht gemeten met als onafhankelijke grootheid de grootte van de handopening. Met behulp van een statistiekprogramma zijn de coëfficiënten van een tweedegraads polynoom berekend.

Na uitwerking van de resultaten blijkt de tweede graads regressielijn te kunnen worden voorgesteld door:

$$y = 56 + 0.81x - 0.0105x^2$$

perc. max. opening knijpkracht (0.1N)			
30	70	72	68
40	75	70	72
50	73	75	72
60	70	68	67
70	62	63	60
80	53	50	49
90	47	45	44
100	33	35	34

Figuur 30.27



Figuur 30.28 Maximale knijpkracht in 0.1 N als functie van de handopening. Ook is weergegeven het tweedegraads regressiepolynoom $y = 56 + 0,81x - 0.0105x^2$.

30.3 Steekproeven

30.3.1 Inleiding

Bij het ontwerpen van een produkt of een systeem gebeurt het vaak dat de ontwerper bepaalde ergonomisch relevante details niet kent. Als deze informatie ook niet in ergonomische literatuur is te vinden, zal men moeten overgaan op het doen van een onderzoek. Daarin worden door het analyseren van een steekproef de conclusies getrokken, die nodig zijn voor het ontwerpproces. Afhankelijk van wat de ontwerper wil weten zal hij een bepaald type steekproef opzetten. De vraagstelling kan

verschillende zaken betreffen:

- het vaststellen van een of meer populatie-eigenschappen (bijv. antropometrische maten, volhoudtijden, hoeveel kunnen mensen onthouden);
- het toetsen van een hypothese (bijv. zijn Belgische ouderen kleiner dan Zweedse ouderen);
- het te weten komen wat het effect is van een of meer variabelen op bepaalde aspecten van menselijk gedrag (bijv. de invloed van werkdruk op de hoeveelheid gemaakte fouten);
- het evalueren van het gebruik van een product en de gevolgen daarvan (bijv. hoe wordt een nijptang met een bepaalde vorm van het handvat gehanteerd en komen er klachten over);
- het evalueren van een systeem (bijv. hoe functioneert een telefooncentrale als er plotseling enkele mensen uitvallen).

Indien een onderzoek wordt opgezet moet eerst een relevante vraag worden gesteld:

- hoe groot is het perifere blikveld van schoolgaande kinderen;
- is het waar dat Limburgers kleiner zijn dan Friezen;
- wat is het effect van het gewicht van een hamer op vermoeidheid bij het inslaan van verschillende aantallen spijkers van verschillende grootte;
- wordt een elektrische boor met een 'ergonomisch' handvat beter gewaardeerd dan een met een gewoon handvat, en treden er elleboogklachten op bij langdurig gebruik;
- wordt de veiligheid van een kerncentrale verhoogd, als voor de operators een rusthoek in de operatorruimte ter beschikking staat.

Als de onderzoeksvraag duidelijk is worden de te onderzoeken variabelen exact gedefinieerd, én de wijze waarop deze worden gemeten en beoordeeld. Dan worden de resultaten duidelijk en overzichtelijk gepresenteerd en geanalyseerd, waarna conclusies met betrekking tot de vraagstelling kunnen worden getrokken.

Vanzelfsprekend zal vaak een pilot-experiment moeten worden gedaan om bijvoorbeeld een indruk te krijgen van de orde van grootte van de variabelen en hun bereik.

In veel gevallen zal de vraagstelling niet zo duidelijk zijn als men zou wensen. In een exploratief onderzoek kunnen de verzamelde gegevens inspiratie verschaffen om een indruk te krijgen over relevante grootheden, of over welke grootheden wellicht relevant zijn bij de interactie tussen de mens en een specifiek product. Ook over gedrag van productgebruikers kan in een exploratief onderzoek een idee worden verkregen. In hoofdstuk 24 wordt verder op deze materie ingegaan.

30.3.2 Betrouwbaarheid en validiteit

Wanneer in een onderzoek wordt vastgesteld welke variabelen zullen worden onderzocht, dient men enkele fundamentele criteria in het oog te houden:

1. Zodra bekend is wat men werkelijk te weten wil komen, moeten de variabelen ook dat weergeven, wat men werkelijk wil weten. Bovendien moet hun bereik in een relevant gebied liggen. Als men bijvoorbeeld met een laboratorium-experiment te weten wil komen wat de lage rugbelasting van verplegend personeel is bij het tillen van patiënten, moeten in het experiment zowel de houding als de gewichten vergelijkbaar zijn met die in het zieken- of verpleeghuis. Wil men, in een ander experiment, een algemeen beeld hebben van de lichaamslengte als functie van de leeftijd, dan volstaat het niet de

leeftijdsgrens van de proefpersonen vast te leggen tussen tien en twintig jaren. Ook moet men zorgen, dat belangrijke, in situ altijd optredende, ruisbronnen ook in het experiment hun invloed kunnen hebben, zodat de conclusies uit de metingen bruikbaar zijn. Samengevat: het onderzoek moet *valide* zijn.

2. Als de metingen over een langer tijdsbestek worden uitgespreid mogen de resultaten geen verschil te zien geven doordat op verschillende momenten wordt gemeten. Of, als op verschillende locaties wordt gemeten, mag de locatie zelf geen variatie aan de meting toevoegen (behalve als specifiek de invloed van tijd of locatie wordt onderzocht). De metingen dienen *reproduceerbaar* te zijn. Een statistische maat hiervoor is de test-hertestbetrouwbaarheid. Deze kan worden uitgedrukt in een correlatiecoëfficiënt. Als vuistregel wordt wel eens gehanteerd, dat wanneer deze groter is dan 0.8, de meting in het algemeen als betrouwbaar mag worden beschouwd. Zie verder hoofdstuk 24.
3. De variabelen, die worden gemeten, moeten zo weinig mogelijk beïnvloed worden door niet-relevante, in situ niet optredende ruisgenererende grootheden: de meting moet *vrij van externe invloeden* of *zuiver* zijn. Maar dit is niet altijd het geval, waardoor ruis aan de meting wordt toegevoegd.
4. De meting moet zodanig gevoelig zijn dat het te evalueren effect werkelijk kan worden vastgesteld. Bijvoorbeeld: bij het ontwerpen van een hoogtevastelling van een fietszadel kan het zinvol zijn de metingen van de beenlengte niet in eenheden van decimeters, maar in centimeters, of zelfs in millimeters uit te drukken.

Tot slot dienen de variabelen nog aan enkele praktische voorwaarden te voldoen (Meister, 1985).

- Ze moeten objectief vast te stellen zijn; subjectiviteit mag de metingen niet kunnen kleuren.
- Ze moeten te categoriseren of zelfs te kwantificeren zijn.
- Ze moeten redelijk onopvallend zijn; anders kunnen proefpersonen beïnvloed worden, zodat de resultaten gecontamineerd worden, en niet meer zuiver zijn.
- Ze moeten gemakkelijk te verzamelen zijn; als het erg veel moeite kost, of als het erg lang duurt om een meting uit te voeren, beïnvloedt dit de proefpersonen.
- Indien mogelijk moet de benodigde apparatuur niet te duur zijn; vaak is het niet eens nodig speciale data acquisitie-technieken of -apparatuur te gebruiken.

30.3.3 Opzet ergonomie onderzoek

Een ergonomie onderzoek kan in drie vormen worden uitgevoerd, afhankelijk van de onderzoeksvraag: een veld-, laboratorium- of theoretisch onderzoek. In een veldonderzoek wordt de gegevensacquisitie op de werkplek uitgevoerd. Dit bergt zowel voor- als nadelen in zich. Voordelen zijn dat het onderzoek plaatsvindt in de werkomgeving, met echte verstoringen en motivaties, waardoor de resultaten meer representatief zijn (een steekproef heet representatief, als de kenmerken van de steekproef overeenkomen met die van de populatie). Ook kan het bouwen van een simulator in het laboratorium erg duur zijn en te veel ruimte innemen. Nadelen zijn de vaak hogere kosten voor de mobiele meetapparatuur, de verstoring van de arbeidsgang en het productieproces, eventuele onveiligheid en het feit dat er vaak geen gelegenheid is de metingen te herhalen.

In een laboratoriumonderzoek worden de gegevens in een kunstmatige situatie verzameld, waarbij veelal wordt gewerkt met fysieke of met computersimulaties. Een voordeel hierbij is dat storende invloeden onder controle kunnen worden gehouden of

zelfs geëlimineerd, en dat de metingen met een grotere precisie kunnen worden uitgevoerd. Men moet zich echter iedere keer weer afvragen of dit nog wel valide resultaten geeft, en of de metingen wellicht nog eens in een klein veldonderzoek zouden moeten worden herhaald om de validiteit van de laboratoriumonderzoek te testen.

Een theoretisch ergonomisch onderzoek wordt heden ten dage nog niet vaak uitgevoerd. Mogelijke redenen hiertoe zijn, dat de ergonomie momenteel een zeer praktisch ingesteld vakgebied is, waar nog veel behoefte is aan praktisch toepasbare gegevens; maar ook dat het menselijk handelen en de, ergonomisch relevante, menselijke eigenschappen een grote mate van onvoorspelbaarheid en complexiteit in zich bergen. De huidige fase van de vele ergonomische onderzoeken bestaat dan ook uit het ontwikkelen van theorieën over mens-productrelaties aan de hand van concrete meetgegevens. Wanneer de ergonomie een hecht wetenschappelijk fundament heeft gekregen, zullen mogelijk meer theoretische onderzoeken gaan plaatsvinden.

30.3.4 Variabelen

In een experiment worden bepaalde grootheden ingesteld of gekozen, en andere grootheden gemeten of geëvalueerd. De eerste soort worden *onafhankelijke variabelen* genoemd en de tweede soort de *afhankelijke variabelen*.

Onafhankelijke variabelen

In een descriptieve studie hebben de onafhankelijke variabelen meestal betrekking op het deel van de populatie, waarvan bepaalde eigenschappen worden gevraagd. Er wordt bijvoorbeeld gekozen voor man of vrouw, voor bepaalde leeftijdscategorieën of voor mensen met een bepaalde ervaring. Nadat het onderzoek is uitgevoerd kan men, met een zekere statistische betrouwbaarheid, voorspellen welke waarden de onderzochte eigenschappen zullen hebben binnen de gekozen (deel)populatie (meten = weten). Daarom worden zij ook wel *predictors* genoemd.

In een experimentele studie, waarin een of meer variabelen op gecontroleerde wijze worden gevarieerd, kunnen enkele soorten onafhankelijke variabelen worden onderscheiden:

1. Variabelen, die betrekking hebben op de interactie (bijvoorbeeld de vorm van een handvat of knop, het type beeldscherm, maar ook aangeboden informatie).
2. Variabelen, die betrekking hebben op procedurele aspecten van het werk (bijvoorbeeld werkdruk, beloning, rusttijden, ploegendiensten).
3. Omgevingsvariabelen (bijvoorbeeld lawaai, tocht, temperatuur, verlichting).
4. Variabelen, die betrekking hebben op de mens (bijvoorbeeld leeftijd, geslacht, ervaring, opleiding).

Afhankelijke variabelen

De afhankelijke variabelen zijn die eigenschappen van en gedragskenmerken, waarvoor het onderzoek is opgezet; deze wil men te weten komen. In een descriptieve studie stellen zij met name populatie-eigenschappen voor, zoals voor een ontwerp belangrijke antropometrische maten of krachtoefeningen. Zij vormen een deel van de criteria, die de dimensionering van een ontwerp bepalen, en worden ook wel criterium variabelen genoemd. In een experimentele studie hebben zij vaak betrekking op taakuitvoering (aantal fouten, reactietijd), interactie-patronen (drukverdeling) of fysiologische grootheden (hartslag, transpiratie).

Keuze van proefpersonen

Voor het kunnen generaliseren van de resultaten van een steekproef is het van groot belang dat de gekozen proefpersonen representatief zijn voor de doelpopulatie. Dit houdt in dat de relevante populatie-eigenschappen evenredig door de proefpersonen moeten worden vertegenwoordigd, of dat wegingsfactoren worden toegepast.

Bijvoorbeeld, in een bepaalde afdeling van een staalgieterij werken mannen tussen twintig en veertig jaar. Hiervan is 20% jonger dan 25 jaar, 50% tussen 25 en 35 jaar en 30% ouder dan 35 jaar. Een steekproef uit deze populatie zal dan, om representatief voor deze populatie te zijn, dezelfde percentages uit iedere leeftijdsgroep moeten bevatten. Als de steekproefsamenstelling bijvoorbeeld zodanig is, dat in elke leeftijdscategorie evenveel proefpersonen worden getrokken, moeten weegfactoren worden gebruikt (20%, 50% en 30%). Verder moet de steekproef, indien de relevante populatie-eigenschappen specifiek zijn voor deze staalarbeiders, uit deze arbeiders worden getrokken.

Als in een experimenteel onderzoek het effect van een of andere variabele wordt onderzocht, is het niet altijd noodzakelijk de steekproef uit de doelpopulatie te trekken. Kijken we bijvoorbeeld naar de verstaanbaarheid van woorden als functie van omgevingslawaai, dan zal de trend (afname verstaanbaarheid bij toenemend lawaai) voor iedereen gelden.

Aangezien het niet om de proefpersonen zelf (individueel) gaat, maar om de variatie tussen de proefpersonen, worden zij in het algemeen willekeurig (random) gekozen. Dit houdt in dat iedereen uit de meetpopulatie dezelfde kans heeft gekozen te worden. Het is echter ook mogelijk de proefpersonen gericht te kiezen volgens een stratificatiemodel. Hierin wordt de steekproef proportioneel representatief samengesteld aan de hand van bepaalde populatie-kenmerken (geslacht, leeftijd, ervaring, enz).

Het aantal proefpersonen is altijd een punt van discussie. Bij een groot aantal proefpersonen wordt de nauwkeurigheid groter, maar meer proefpersonen betekent ook een grotere tijdinvestering, hogere kosten en een grotere verstoring van het productieproces. In het geval van geparametriseerde statistiek is het mogelijk een schatting te maken van het benodigde aantal proefpersonen als men de variantie van het onderhavige populatiekenmerk de vereiste nauwkeurigheid weet. Bijvoorbeeld: neem aan dat de lichaamslengte van volwassen Nederlanders een standaardafwijking heeft van 97 mm, en dat men de gemiddelde lengte wil schatten met 95% betrouwbaarheid binnen een interval van ± 20 mm. We weten dat \bar{x} is verdeeld volgens $N(\mu; \sigma^2/n)$. Dus:

$$\mu - z \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \bar{x} < \mu + z \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{of} \quad \bar{x} - z \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Het 95%-interval van een standaard-normale verdeling ligt tussen -1.96 (2.5%) en $+1.96$ (97.5%). Hieruit volgt:

$$\bar{x} - 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Blijkbaar geldt: $1.96\sigma/\sqrt{n} = 20$ mm, of $n = 90$.

30.4 Toetsen

30.4.1 Inleiding

Een fabrikant van handgereedschappen wil een nieuwe handzaag op de markt brengen. Een belangrijk ergonomisch aspect is de vorm van het handvat. Daarvoor wil hij de handbreedte van de doelpopulatie weten. Niet alleen het gemiddelde μ , maar ook de variantie σ^2 , want die heeft hij nodig om te kunnen ontwerpen voor een brede

groep gebruikers. Nu vindt hij in een wetenschappelijk artikel dat de variantie van de handbreedte zonder duim (metacarpale handbreedte) voor een bepaalde populatie gelijk is aan 10 mm^2 . Dit lijkt hem erg klein, en hij durft er niet helemaal op te vertrouwen. Daarom laat hij een onderzoek doen naar deze maat. Uit dit onderzoek volgt een variantie van 16 mm^2 . De vraag is nu: komt deze maat overeen met de in het artikel gevonden waarde, waarbij het verschil louter een gevolg is van toeval, of komen de twee waarden uit werkelijk verschillende populaties?

Dit probleem is een toetsprobleem. In een statistische toets wordt getest of een steekproef met een zekere betrouwbaarheid kan worden beschreven door een referentiepopulatie. De steekproefwaarde zal, indien de steekproefpopulatie uit de referentiepopulatie voortkomt altijd enige fluctuatie vertonen. Maar als die fluctuatie binnen zekere grenzen blijft wordt aangenomen dat hier slechts sprake is van een *toevallige* afwijking. De hypothese dat de steekproefpopulatie met een zekere betrouwbaarheid kan worden beschreven door een referentiepopulatie noemen we de nulhypothese: H_0 . Het complement van deze hypothese, namelijk dat de steekproefpopulatie en de referentiepopulatie verschillend zijn, noemen we de alternatieve hypothese: H_1 . Als de alternatieve hypothese niet wordt verworpen is de afwijking te groot om alleen maar aan toeval toe te schrijven.

De nulhypothese en de alternatieve hypothese kunnen twee vormen aannemen: eenzijdig en tweezijdig. Bij een tweezijdige toetsing wordt getoetst of de steekproefpopulatie gelijk is aan de referentiepopulatie (H_0), waarbij H_1 dus inhoudt dat de steekproefpopulatie ongelijk is aan de referentiepopulatie; dit mag dus groter of kleiner zijn. Bij een eenzijdige toetsing wordt getoetst of de steekproefpopulatie groter is dan de referentiepopulatie, óf dat zij kleiner is.

Een toetsing vindt plaats door:

1. Aan de hand van de referentiepopulatie een één- of tweezijdig interval op te stellen.
2. Te controleren of de steekproefwaarde binnen dit interval ligt.

Als de steekproefwaarde binnen dit interval ligt wordt de nulhypothese aangenomen. Als de steekproefwaarde buiten dit interval ligt wordt de alternatieve hypothese aangenomen. Het gebied, waar H_0 wordt verworpen heet het *significante gebied*. De grootte van dit gebied wordt aangeduid met α . Tussen de steekproefpopulatie en de referentiepopulatie bestaat dan kennelijk een *significant verschil*. Als bij een tweezijdige toetsing H_0 wordt verworpen, is er kennelijk een significant verschil tussen de steekproefpopulatie en de referentiepopulatie (groter of kleiner). Als bij een eenzijdige toetsing H_0 wordt verworpen is de steekproefpopulatie óf significant groter óf significant kleiner dan de referentiepopulatie. De grenzen van dit gebied hangen af van de gevraagde zekerheid, van de grootte van de steekproef, en van de keuze tussen een- en tweezijdig toetsen.

Natuurlijk kan het gebeuren dat een verkeerde conclusie wordt getrokken (dit is dus niet verkeerd een conclusie getrokken!). Enerzijds kan H_0 ten onrechte worden verworpen. Dit is het geval als de steekproef wel uit de referentiepopulatie voortkomt, maar waarbij de steekproefwaarde door toeval in het significante gebied is terechtgekomen. Dit heet een fout van de eerste soort, en heeft een kans α . Anderzijds kan het gebeuren dat H_0 ten onrechte wordt aangenomen. Dit treedt op, als de steekproefpopulatie verschilt van de referentiepopulatie, maar door toeval (net) niet in het significante gebied is gekomen. Dit heet een fout van de tweede soort, en heeft een

kans β . De kans op terecht aannemen van H_0 is dus gelijk aan $1-\alpha$, en de kans op terecht verwerpen gelijk aan $1-\beta$.

Samenvattend:

	H_0 is juist	H_0 is onjuist
H_0 wordt niet verworpen	juiste uitspraak ($1-\alpha$)	fout van de tweede soort (β)
H_0 wordt wel verworpen	fout van de eerste soort (α)	juiste uitspraak ($1-\beta$)

Voorbeeld

Wij zullen toetsen of de variantie van de metacarpale handbreedte uit de steekproef van de ergonoom verschilt (dus: tweezijdig) met de variantie uit de literatuur. Laat de gevraagde betrouwbaarheid gelijk zijn aan 98% ($\alpha=0.02$). Neem aan dat de literatuurgegevens zijn gebaseerd op een zeer groot (oneindig) aantal waarnemingen. Als uit deze populatie een steekproef wordt getrokken zal s^2/σ^2 isomorf zijn met de χ^2_v -verdeling. De verwachtingswaarde van s^2/σ^2 is onder H_0 natuurlijk gelijk aan één. Stel verder dat de steekproef bestaat uit 15 waarnemingen; dus $v=15-1=14$. Met deze informatie kan een 98%-interval voor χ^2_v worden opgesteld. Uit de tabel voor de χ^2 -verdeling volgt (N.B. $P_{\frac{1}{2}\alpha}=P_1$ en $P_{1-\frac{1}{2}\alpha}=P_{99}$ zijn de grenzen voor het P_{98} -interval bij $v=14$):

$$4.66 < \chi^2 < 29.14 \quad \text{of} \quad 0.33 < \chi^2_v < 2.08$$

Aangezien $s^2/\sigma^2 = 16/10 = 1.6$ wordt H_0 aangenomen. Blijkbaar is met 98% zekerheid geen verschil aangetoond tussen de eigen waarde en literatuurwaarde. Maar zou de steekproef hebben bestaan uit 51 waarnemingen, dan:

$$29.7 < \chi^2 < 75.2 \quad \text{of} \quad 0.59 < \chi^2_v < 1.5$$

waarna H_0 zou worden verworpen (ga na dat, onder H_0 , met een grotere steekproef s^2/σ^2 dichter bij één moet liggen).

Als we toetsen of de variantie van de steekproef groter is dan de variantie van de referentiepopulatie wordt H_0 verworpen als de s^2/σ^2 groter is dan $P_{1-\alpha} = P_{98}$ van χ^2_v (eenzijdige toetsing). In de tabel van de χ^2 -verdeling staat P_{98} echter niet vermeld. Daarom benaderen we door lineaire interpolatie:

$$\chi^2_{1-\alpha} = \chi^2_{0.98} = \chi^2_{0.975} + \frac{1}{3}(\chi^2_{0.99} - \chi^2_{0.975}) = 26.1 + \frac{1}{3}(29.1 - 26.1) = 27.1$$

$$\chi^2_{v(0.98)} = \frac{\chi^2_{0.98}}{v} = \frac{27.1}{14} = 1.9$$

De grens, waaronder H_0 wordt aangenomen is dus:

$$\chi^2_{0.98} = 71.4 + \frac{1}{3}(76.2 - 71.4) = 73$$

en ook nu wordt H_0 niet verworpen.

Als de steekproef uit 51 waarnemingen zou hebben bestaan volgt op analoge wijze (zoek op in tabel!):

De grens wordt nu:

$$\chi_{v(0,98)}^2 = \frac{\chi_{0,98}^2}{v} = \frac{73}{50} = 1.46$$

Aangezien nu $s^2/\sigma^2 > \chi_{v(0,98)}^2$, wordt H_0 verworpen en mag met 98% zekerheid worden aangenomen dat de variantie van de steekproef groter is dan die van de referentiepopulatie.

30.4.2 Fouten van de eerste en de tweede soort; onderscheidingsvermogen

In de rest van deze paragraaf wordt verondersteld dat $s^2 = \sigma^2$.

Stel: de gemiddelde lengte ℓ van Nederlanders $\mu = 1800$ mm en $\sigma = 80$ mm. Gevraagd wordt nu of de gemiddelde lichaamslengte van studenten even groot is als die van alle Nederlanders. Gevraagd wordt dus of we mogen beweren: $H_0: \mu_{nl} = \mu_{st}$. De gevraagde betrouwbaarheid wordt gesteld op 90% (dus $\alpha = 0.1$). Eerst nemen we een steekproef van één student. Het significante gebied is dan gelijk aan het interval, waarbuiten H_0 wordt aangenomen:

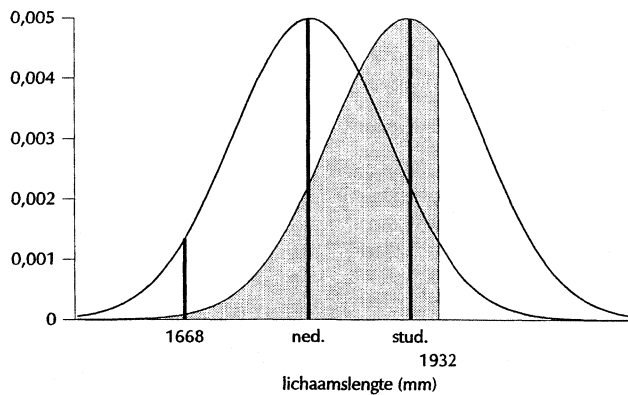
$$\mu + z_{1/2\alpha}\sigma < \ell < \mu + z_{1-1/2\alpha}\sigma \quad \text{of} \quad 1800 - 1.645 \cdot 80 < \ell < 1800 + 1.645 \cdot 80 \quad \text{of} \quad 1668 < \ell < 1932 \text{ mm}$$

Het significante gebied is dus $\ell < 1668$ mm en $\ell > 1932$ mm.

Een *fout van de eerste soort* wordt gemaakt als H_0 waar is, maar wordt verworpen omdat het resultaat van de meting toch in het significante gebied terecht is gekomen, dus als de gemiddelde lichaamslengte van de studenten gelijk is aan 1800 mm, maar gemeten waarde door toeval buiten dit interval (in het significante gebied) ligt. De kans op deze fout is dus 10%.

Zou de steekproef niet uit één maar uit tien studenten hebben bestaan, dan:

$$\mu + z_{1/2\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \bar{\ell} < \mu + z_{1-1/2\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{met} \quad \bar{\ell} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ell_i \quad \text{of} \quad 1758 < \bar{\ell} < 1842 \text{ mm}$$

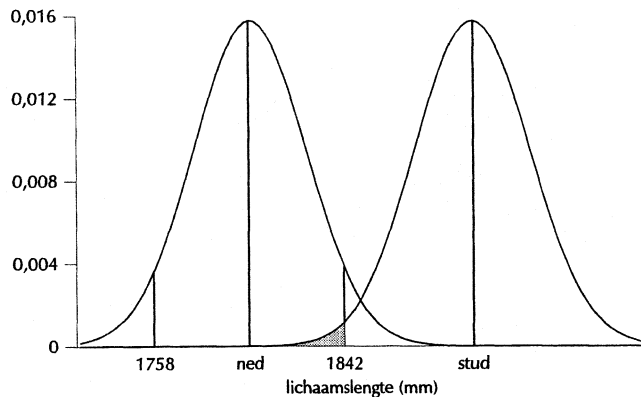


Figuur 30.29 Een fout van de tweede soort wordt gemaakt, als μ_{st} niet gelijk is aan μ_{pop} , maar H_0 toch niet wordt verworpen. Het significante gebied in dit voorbeeld ligt tussen 1668 en 1932 mm. De kans op deze fout is gelijk aan de grootte van het oppervlak onder de frequentieverdeling van de steekproef tussen de vermelde grenzen.

Een *fout van de tweede soort* wordt gemaakt als de gemiddelde lichaamslengte van studenten niet gelijk is aan 1800 mm, maar waarbij het meetresultaat toch in het niet-

significante gebied terecht komt; dus als H_0 niet waar is, en toch ook niet wordt verworpen. De kans dat deze gebeurtenis plaatsvindt hangt af van het verschil $\mu_{nl} - \mu_{st}$ en van de grootte van de steekproef. In figuur 30.29 zijn de waarden voor het interval weergegeven ($n = 1$). De kans, dat een waarneming binnen dit interval komt is gelijk aan het gearceerde oppervlak. Ga na, dat dit oppervlak groter wordt als μ_{nl} en μ_{st} dichter bij elkaar liggen. De kans op een fout van de tweede soort is gelijk aan dit oppervlak en wordt gewoonlijk met β aangeduid. Het onderscheidingsvermogen van een toets is de kans, dat een verschil ook wordt vastgesteld. Het onderscheidingsvermogen is dus klein als het gearceerde oppervlak groot is en groot als het oppervlak klein is. Daarom wordt het onderscheidingsvermogen gedefinieerd als $(1-\beta) \cdot 100\%$.

In fig 30.30 is dezelfde grootte weergegeven als in de fig 30.29, maar hier was $n = 10$. Het is duidelijk dat, bij overigens gelijke μ_{nl} en μ_{st} , de grootte van β is afgenomen. Het onderscheidingsvermogen $(1-\beta)$ is dus toegenomen.



Figuur 30.30 Bij een groter aantal metingen wordt het oppervlak β kleiner en het onderscheidingsvermogen groter.

De relatie tussen het onderscheidingsvermogen, de betrouwbaarheid en het aantal metingen wordt, voor een normaal verdeelde grootte, gegeven door:

$$n = \frac{\sigma^2 (z_{1-\alpha} - z_\beta)^2}{(\mu_1 - \mu_0)^2}$$

Als twee van de drie gegeven zijn, kan de derde berekend worden. Voorbeeld: stel dat we in negen van de tien steekproeven een verschil $(\mu_1 - \mu_0)$ willen kunnen aantonen met 95% betrouwbaarheid. De waarden van α en β zijn dan 0.05, resp. 0.1. Het aantal metingen, dat dan vereist is, is gelijk aan:

$$n = \frac{\sigma^2}{(\mu_1 - \mu_0)^2} \{1.645 - (-1.28)\}^2 \approx \frac{9 \sigma^2}{(\mu_1 - \mu_0)^2}$$

In het geval van de lichaamslengten van twee populaties mensen met $\mu_1 - \mu_0 = 50$ mm en $\sigma = 70$ mm, dan zijn 18 metingen nodig om aan de gestelde eisen te voldoen.

30.4.3 Parametervrije methoden

Tot nu toe is verondersteld dat de onderliggende populaties altijd een min of meer mathematisch gedefinieerde, geparametriseerde, verdeling hebben (binomiaal, Poisson, Gauss, ...). Het komt echter vaak voor, dat de onderliggende verdeling niet bekend is,

dat de verdeling niet geparametriseerd is, of dat er geen analysemethode ontwikkeld is, die belangrijke grootheden zoals \bar{x} en s optimaal kan toetsen. Voor deze gevallen is een verzameling statistische toetsen ontwikkeld, die geen gebruik maken van de geparametriseerde verdelingen: de parametervrije statistiek (nonparametric statistics). In de nu volgende paragrafen worden voorbeelden van geparametriseerde toetsen gegeven, die in de ergonomie vaak worden gebruikt. Waar belangrijke parametervrije methoden van toepassing kunnen zijn worden zij ook behandeld. Een in de onderzoeksergonomie veel gebruikt boek over parametervrije statistiek is Siegel(1988).

30.4.4 Toetsen op asymmetrie en kurtosis (platheid)

Toets voor asymmetrie

Een eenvoudige toets voor asymmetrie is ontwikkeld door Panne en Lange(de Jong, 1963). Deze maakt gebruik van de volgende scheefheidscoëfficiënt:

$$s = \frac{x_{0.75} + x_{0.25} - 2x_{0.50}}{x_{0.75} - x_{0.25}}$$

waarin $x_{0.25}$, $x_{0.50}$ en $x_{0.75}$ de kwartielwaarden van de steekproef zijn. Deze coëfficiënt is, indien de steekproef voortkomt uit een normale verdeling, bij benadering normaal verdeeld, terwijl de variantie mag worden benaderd door $\sigma_s^2 = 1.839/n$. De waarde van s/σ_s is dus bij benadering standaardnormaal verdeeld. Daarom zijn op eenvoudige wijze de grenzen voor s/σ_s vast te stellen, waarbuiten significante scheefheid mag worden verworpen.

Toets voor curtose

Om een steekproef te toetsen op curtose (platheid of piekerigheid) ten opzichte van de normale verdeling kan volgens Geary (de Jong, 1963) de volgende coëfficiënt worden gebruikt:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}$$

Deze toets mag ook worden gebruikt bij kleine steekproefomvang.

Toets voor normaliteit

Om op eenvoudige wijze een indruk te krijgen van de normaliteit van een verdeling, kan gebruik worden gemaakt van zogenaamd waarschijnlijkheidspapier. Op de verticale as van dit papier worden de gerangschikte uitkomsten van de steekproef weergegeven. De horizontale as is voorzien van een indeling in procenten op zodanige wijze, dat een cumulatieve normale verdeling er als een rechte lijn uitziet. Deze normaliteitstest is dus eigenlijk een onderzoek naar rechtlijnigheid. Aan deze test zijn geen getalsmatige betrouwbaarheidsgrenzen verbonden. Door vaak deze test uit te voeren krijgt de onderzoeker een inzicht in de mate van normaal zijn van een verdeling.

Vergelijken van steekproefgemiddelde met populatiegemiddelde

Een steekproef, die wordt getrokken uit een normale verdeling, geeft een gemiddelde waarde \bar{x} en een standaardafwijking s . Indien σ bekend is kan $H_0: \bar{x} = \mu$ tegen $H_1: \bar{x} \neq \mu$ getoetst worden met behulp van de z-waarden en de normale tabel ($z = (\bar{x} - \mu)/(\sigma/\sqrt{n})$ is standaardnormaal verdeeld). Als echter σ niet bekend is dan geschiedt de toetsing door een significantiegebied voor $t = (\bar{x} - \mu)/(s/\sqrt{n})$ op te stellen, en te controleren of de

waarde van t binnen of buiten dit interval ligt.

Voorbeeld: stel dat getoetst moet worden of studenten gemiddeld langer zijn dan de gemiddelde Nederlander. De lichaamslengte van Nederlandse inwoners is normaal verdeeld volgens $N(1723 \text{ mm}; 96^2 \text{ mm}^2)$. We nemen nu aan dat de standaardafwijking van de lichaamslengte van studenten gelijk is aan die van de Nederlandse inwoners. Bij een representatieve steekproef onder 152 studenten blijkt de gemiddelde lengte $\bar{x} = 1790 \text{ mm}$. Mogen wij nu met 99% zekerheid beweren dat studenten langer zijn? Het enkelzijdige criterium voor verwerpen van $H_0: \bar{x} \leq \mu$ ten gunste van $H_1: \bar{x} > \mu$ ligt bij (0.99 in tabel normale verdeling) $z = +2.33$. Invullen geeft:

$$z = \frac{1790 - 1723}{96/\sqrt{152}} = +8.60$$

Aangezien 8.60 groter is dan 2.33, is het verschil significant en wordt H_0 verworpen.

Als σ^2 van de lichaamslengte van studenten onbekend is, dan is t_v het criterium voor verwerpen van H_0 : $t_v = 2.36$ ($v = 151$, $\alpha = 1\%$). Als $s = 86 \text{ mm}$, dan:

$$t = \frac{1790 - 1723}{86/\sqrt{152}} = 9.6$$

en H_0 wordt verworpen. Ga dit nog eens na!

Indien de *frequentieverdeling van een populatie niet bekend* is, wordt vaak de parameter vrije χ^2 -toets toegepast. Deze toets kan worden gebruikt voor observaties op zowel een nominale als een ordinale schaal. De geobserveerde frequenties van de steekproef worden vergeleken met de verwachte frequenties van de referentiepopulatie. Onder de nulhypothese H_0 zijn de geobserveerde frequenties in elk van de categorieën in principe gelijk aan de verwachte frequenties, waarbij afwijkingen worden veroorzaakt door toevallige fluctuaties.

Als we aannemen dat er k categorieën zijn, dan wordt als testgrootte gedefinieerd:

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

met O_i = aantal observaties, en E_i = aantal verwachte observaties in categorie i . Onder H_0 liggen de O 's en de E 's dicht bij elkaar en zal X^2 klein zijn. Hoe groter de waarde van X^2 is, hoe onwaarschijnlijker het is dat de twee populaties gelijk zijn samengesteld.

De kansverdeling van X^2 blijkt onder H_0 isomoor met de χ^2 -verdeling te zijn, met $v = k - 1$; het significantie-criterium wordt dus opgezocht in de tabel voor de χ^2 -verdeling bij $n = k - 1$ en significantie α . Ga na dat het een enkelzijdige toetsing voor overschrijding is.

Voorbeeld: komen in Nederland bruine, blauwe en groene ogen even vaak voor of niet? Daartoe stellen we bij een willekeurige en representatieve steekproef van dertig mensen de kleur van de ogen vast. Stel dat dertien van deze mensen bruine ogen hebben, tien mensen blauwe en zeven mensen groene ogen. Verder willen we een significantie van 10% ($\alpha = 0.1$).

Er zijn drie categorieën, dus $v = 3 - 1 = 2$. Onder H_0 is de verwachtingswaarde voor iedere categorie gelijk aan $N/k = 30/3 = 10$. Dus in iedere categorie worden 10 observaties verwacht. Berekening van X^2 levert:

$$X^2 = \sum_{i=1}^3 \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} = \frac{3^2}{10} + \frac{0^2}{10} + \frac{3^2}{10} = 1.8$$

Uit de χ^2 -tabel volgt voor het significantie-criterium de waarde 4.6 (bij $\chi^2 = 0.90$ en $v = 2$). Er is dus geen reden H_0 te verwerpen. Zou het experiment uit 90 observaties hebben bestaan, dan blijkt (reken na!) $\bar{X}^2 = 5.4$, zodat H_0 wel wordt verworpen. Als de observaties zijn gebaseerd op een ordinale schaal, wordt analoog te werk gegaan.

Ook als we willen toetsen, of er verschil is tussen twee meetreeksen van een kenmerk, zijn er geparametriseerde en parameter vrije toetsen.

Bijvoorbeeld (*normaal verdeeld*): twee onderzoekers bepalen de lichaamslengte (x en y). We nemen aan dat de lichaamslengte normaal is verdeeld en mogen dan ook aannemen, dat $(x_i - y_i)$ normaal is verdeeld. De index i heeft betrekking op de proefpersoon. De volgende grootte is natuurlijk weer verdeeld volgens $t(v, \alpha)$:

$$t_{(v, \alpha)} = \frac{(\bar{x} - \bar{y}) - \mu_v}{s_v / \sqrt{n-1}}$$

waarin $v = n - 1$, μ_v = verwachtingswaarde van het verschil en s_v = de steekproefstandaardafwijking van het verschil.

Voorbeeld: stel dat de volgende tabel een reeks metingen weergeeft:

i	x_i (mm)	y_i (mm)	$x_i - y_i$ (mm)
1	1885	1885	0
2	1841	1843	2
3	1706	1705	-1
4	1775	1776	1
5	1703	1702	-1
6	1722	1723	1
7	1749	1749	0
8	1761	1760	-1
9	1720	1720	0
10	1786	1788	2

$$\bar{x}_v = \bar{x} - \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)}{10} = 0.3 \text{ mm}$$

$$s_v^2 = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^n [(x_i - y_i) - (\bar{x} - \bar{y})]^2 = 1.34 \text{ mm}^2$$

We willen onderzoeken of er verschil is tussen de metingen van de twee onderzoekers. Stel verder, dat de gevraagde betrouwbaarheid gelijk is aan 80%. Als we aannemen dat de verschillen normaal zijn verdeeld, volgt de grootte:

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y} - \mu_v}{s_v / \sqrt{n}}$$

onder H_0 een t_v -verdeling met $v = n - 1 = 9$ vrijheden. Opzoeken in de tabel voor de t -verdeling geeft bij 9 vrijheden en een linker oppervlak van 0.90 de waarde 1.383; de waarde voor de linker overschrijdingskans 0.10 is dan -1.383. De waarde van t is gelijk aan:

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y} - 0}{s_v / \sqrt{n}} = \frac{0.3 - 0}{1.16 / \sqrt{10}} = 0.82$$

De waarde 0.82 ligt ruim binnen deze grenzen, zodat we H_0 niet mogen verwerpen met 80% betrouwbaarheid. Het is dus onwaarschijnlijk dat de resultaten van de twee onderzoekers verschillend zijn.

Parameter vrij kan de rangordetoets van Wilcoxon worden gebruikt. Met behulp van

een experiment moet worden bepaald of de verstaanbaarheid van gesproken woorden wordt beïnvloed door het al dan niet aanwezig zijn van omgevingslawaai. Daartoe wordt een aantal woorden gesproken voor een aantal proefpersonen. Sommige woorden met, en andere zonder omgevingslawaai. De onafhankelijke variabele is het percentage goed verstaane woorden. De onderstaande tabel geeft de resultaten van zo'n onderzoek.

proefpersoon	% goed zonder law.	% goed met law.	verschil	abs. rangorde	rangorde
1	51	54	3	5.5	5.5
2	68	65	-3	5.5	-5.5
3	73	66	-7	9	-9
4	49	52	3	5.5	5.5
5	57	57	0		
6	58	60	2	2	2
7	80	65	-15	12	-12
8	77	65	-12	10	-10
9	91	88	-3	5.5	-5.5
10	90	93	3	5.5	5.5
11	60	61	1	1	1
12	83	70	-13	11	-11
13	85	63	-22	13	-13
14	55	58	3	5.5	5.5
15	87	57	-30	14	-14

In de vierde kolom zijn de verschillen weergegeven. In deze toets tellen die proefpersonen, waar geen verschil werd geconstateerd, niet mee. Proefpersoon vijf vervalt dus. Nu worden alle verschillen *zonder op het teken te letten* gerangschikt van klein naar groot. Hierbij worden gelijke rangordes gemiddeld $(3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8)/6 = 5.5$ (Zie kolom 5). Vervolgens wordt aan iedere rangorde het oorspronkelijke teken uit kolom vier toegevoegd (kolom 6). Onder H_0 is de aanwezigheid van omgevingslawaai van geen invloed, en is de som van de positieve rangen dus ongeveer gelijk aan de som van de negatieve rangen. Maar als de som van bijvoorbeeld de negatieve rangen veel groter is dan de som van de positieve rangen, zou er wel invloed kunnen zijn. We kunnen H_0 dus verwerpen, als het verschil groot is. In de tabel zijn de kritieke waarden voor $T^+ = (\text{som van de positieve rangen})$ gegeven. In ons voorbeeld geldt: $T^+ = 25$ en $T^- = 80$. Uit de tabel blijkt dat de kans dat $T^+ \geq 80$ gelijk is aan 0.14. We mogen H_0 nu met $100\% - 14\% = 86\%$ zekerheid verwerpen. Volgens deze gegevens wordt de verstaanbaarheid van woorden minder bij omgevingslawaai.

30.4.5 Vergelijken van twee steekproefgemiddelden

In het geval van twee onafhankelijke steekproeven worden de gemiddelden vergeleken. Als eerste nemen we aan, dat de grootheden *normaal* zijn verdeeld. We hebben twee steekproeven met gemiddelden \bar{x}_m en \bar{x}_v (bijvoorbeeld de gemiddelde lichaamslengte van mannen en vrouwelijke studenten), steekproefstandaardafwijkingen s_m en s_v en steekproef-groottes n_m en n_v . Verder veronderstellen we σ_m en σ_v onbekend. Als $\sigma_m = \sigma_v$ volgt onder H_0 de waarde van t :

$$t = \frac{\bar{x}_m - \bar{x}_v}{s \sqrt{1/n_m + 1/n_v}}$$

een $t_{v,\alpha}$ -verdeling met $v = n_m + n_v - 2$ vrijheden. De waarde voor s^2 is gelijk aan het gewogen gemiddelde van de twee steekproefvarianties:

$$s^2 = \frac{v_m s_m^2 + v_v s_v^2}{v_m + v_v}$$

Voorbeeld. Stel, dat voor de lichaamslengte van mannelijke en vrouwelijke studenten geldt: $\bar{x}_m = 1821$ mm, $\bar{x}_v = 1702$ mm, $s_m = 70$ mm, $s_v = 64$ mm, $n_m = 113$ en $n_v = 39$. Mogen we uit deze gegevens concluderen dat met 95% zekerheid mannelijke studenten langer zijn dan hun vrouwelijke collega's?

De waarde voor s^2 is:

$$s^2 = \frac{112 \cdot 70^2 + 38 \cdot 64^2}{112 + 38} = 4700 \text{ mm}^2$$

zodat $s = 69$ mm. De waarde voor t is:

$$t = \frac{1821 - 1702}{69 \sqrt{1/113 + 1/39}} = 9.3$$

De enkelzijdige grens volgt uit de t-tabel: $t_{150}(\alpha = 0.95) = 1.66$. We zien dat de waarde van t uit de steekproef groter is dan de 95% grenswaarde en H_0 mag zonder meer worden verworpen. Mannelijke studenten zijn (volgens deze fictieve steekproef) significant langer dan vrouwelijke studenten met significantie-niveau 0.05.

Als de observaties van een variabele op een *ordinale of hogere schaal* kunnen worden weergegeven, maar is de onderliggende populatie niet normaal verdeeld, dan kan de parameter vrije toets van Wilcoxon(-Mann-Whitney) worden gebruikt om te testen of er een verschil in centrale tendens bestaat tussen de twee populaties. Voorwaarde om deze toets te mogen gebruiken is dat de spreidingsmaten niet verschillen.

Stel dat we bij twee groepen mensen X en Y de waardering voor een of ander product hebben gemeten met als resultaten:

x	8	9	12	14	16	
y	7	8	8	9	13	18

Deze getallen gaan we eerst op volgorde zetten, waarbij er goed op wordt gelet welke meting van welke groep kwam:

score	7	8	8	8	9	9	112	13	14	16	18
populatie	y	y	y	x	x	y	x	y	x	x	y
rangorde	1	3	3	3	5.5	5.5	7	8	9	10	11

We zien dat bij gelijke waarderingen weer de gemiddelde rangorde wordt genomen. De te toetsen grootte W_x is gelijk aan de som van rangordes van de kleinste groep, in dit geval groep X: $W_x = 3 + 5.5 + 7 + 9 + 10 = 34.5$

W_y is gelijk aan: $W_y = 1 + 3 + 3 + 5.5 + 8 + 11 = 31.5$

Onder H_0 zullen W_x en W_y niet veel verschillen. Bijlage 14 geeft de overschrijdingskansen $P(W_x \geq C_u)$, waarbij X betrekking heeft op de kleinste groep. De kans $P(W_x \geq 34.5)$ vinden we in de kolom voor $m = 5$ en $n = 6$ ($C_u = 34$). Deze overschrijdingskans is gelijk aan 27% (afgerond). Dat betekent dat onder H_0 in ongeveer één van de vier steekproeven een overschrijding van deze waarde (34) zullen vinden, hetgeen geen sterke evidentie geeft om H_0 te verwerpen!

30.4.6 Vergelijken van meer dan twee steekproefgemiddelden

Met behulp van de variantieanalyse is het mogelijk uitspraken te doen over het gedrag van gemiddelden van meer (> 2) steekproeven. Het basisidee hierbij is dat de varianties op verschillende wijzen worden geschat. Hier wordt slechts een (vrij vaak voorkomend) voorbeeld van variantieanalyse gegeven. Voor een nadere bestudering wordt verwezen naar meer specifieke literatuur (de Jonge, 1963; Bray en Maxwell, 1985; Iversen en Norpoth, 1987).

Wij beschouwen normaal verdeelde populaties met gelijke σ . Uit elk van deze populaties wordt een steekproef getrokken met gemiddelden $\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_k$, en varianties s_1^2, \dots, s_k^2 . Aangezien deze populaties gelijke σ^2 hebben kan uit de steekproeven een schatting voor σ^2 berekend worden door het gewogen gemiddelde van de varianties:

$$s_{binnen}^2 = \frac{v_1 s_1^2 + \dots + v_k s_k^2}{v_1 + \dots + v_k} = \frac{\sum_{i=1}^k v_i s_i^2}{\sum_{i=1}^k v_i} \quad \text{met} \quad v_{binnen} = \sum_{i=1}^k (v_i) - k$$

Deze schatting voor σ^2 is gebaseerd op de varianties binnen elke steekproef afzonderlijk, en is daarom onafhankelijk van de gemiddelde waarden van elke steekproef. Deze schatting wordt de *binnenvariantie* (s_{binnen}^2) genoemd.

Als er geen verschil is tussen de populatiegemiddelden, komt \bar{x} voort uit $N[\mu; \sigma^2/n]$. Een tweede schatting voor σ^2/n is dus:

$$s_{tussen}^2 = \frac{\sum n_i (\bar{x}_i - \bar{\bar{x}})^2}{k - 1} \quad \text{met} \quad v_{tussen} = k - 1 \quad \text{en} \quad \bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{x}_i$$

en σ^2 kan dus worden geschat door $n s_{popul}^2$. Deze laatste schatting ontstaat door de variantie tussen de steekproeven te berekenen en wordt de *tussenvariantie* (s_{tussen}^2) genoemd.

Onder H_0 zijn dus s_{tussen}^2 en s_{binnen}^2 beide schatters voor dezelfde σ^2 . Als minstens één van gemiddelden ongelijk is aan μ verandert s_{binnen}^2 natuurlijk niet, maar s_{tussen}^2 wordt groter. Er kan worden aangetoond dat, onder de nulhypothese, $F = s_{tussen}^2 / s_{binnen}^2$ een $F(v_{tussen}, v_{binnen})$ -verdeling volgt. Het aantal vrijheden v_{tussen} is gelijk aan het aantal steekproeven min één ($k - 1$), en het aantal vrijheden v_{binnen} gelijk aan $v_{binnen} = \sum v_i$. De waarde van F wordt eenzijdig getoetst aan de hand van een grenswaarde, die in de $F(v_{tussen}, v_{binnen})$ -tabel wordt gevonden. Deze grenswaarde is dus de grootste waarde, die door toeval kan worden bereikt onder H_0 (met significantie α). Ligt de waarde van F onder deze grens, dan wordt besloten tot gelijkheid van de populatiegemiddelden. Daarboven wordt H_0 verworpen en wijkt dus minstens één van de gemiddelden significant af.

	lich.-lengte (mm)	s	n
huis 1	1639	79	9
huis 2	1656	66	12
huis 3	1625	70	8

Voorbeeld: in drie bejaardenhuizen heeft een onderzoek plaatsgevonden naar verschillende antropometrische gegevens, zie de tabel. Een vraag, die nu gesteld zou kunnen worden is: wonen in één van de huizen misschien langere (of kleinere) bejaarden dan in de andere twee? Of, hetgeen op gelijke wijze getoetst wordt: zijn de bejaarden in alle drie de huizen gemiddeld even lang of niet? Laten we aannemen dat

de gevraagde betrouwbaarheid 98% bedraagt. We veronderstellen dat de lichaamslengte normaal is verdeeld, en dat de drie populatievarianties aan elkaar gelijk zijn. De vrijheden v_{tussen} en v_{binnen} zijn gelijk aan: $v_{\text{tussen}} = 3 - 1 = 2$
 $v_{\text{binnen}} = (9 + 12 + 8) - 3 = 26$. Onder H_0 : ze zijn allemaal even lang, is de bovengrens voor $F_{(2,26)}$ gelijk aan 3.4 (zie tabel F-verdeling).

Nu wordt s^2 op twee wijzen geschat. De schatting met behulp van s_{tussen}^2 levert:

$$\bar{x} = \frac{1}{3}(1639 + 1656 + 1625) = 1640 \text{ mm}$$

$$s_{\text{tussen}}^2 = \frac{9 \cdot (1639 - 1640)^2 + 12 \cdot (1656 - 1640)^2 + 8 \cdot (1625 - 1640)^2}{3 - 1} = 2441 \text{ mm}^2$$

De schatting met behulp van s_{binnen}^2 levert:

$$s_{\text{binnen}}^2 = \frac{8 \cdot 79^2 + 11 \cdot 66^2 + 7 \cdot 70^2}{8 + 11 + 7} = 5082 \text{ mm}^2$$

De grootte, die wordt getoetst is nu: $F = s_{\text{tussen}}^2 / s_{\text{binnen}}^2 = 2441 / 5082 = 0.48$. Deze waarde (0.48) is veel kleiner dan de grens voor een significant verschil (3.4), en H_0 wordt daarom *niet* verworpen. We concluderen daarom, dat er geen reden is aan te nemen dat een van de drie groepen bejaarden langer is dan een andere.

30.4.7 Vergelijken van twee steekproefvarianties

We zullen nu toetsen of de varianties in de lichaamslengte van mannelijke en vrouwelijke studenten verschillend zijn. Stel, dat de lichaamslengte normaal verdeeld is en dat de volgende tabel alle relevante gegevens bevat:

	steekproef-var. mm ²	aantal metingen
man	4900	113
vrouw	4096	39

Zoals eerder paragraaf is beschreven, volgt de verhouding $F = s_m^2 / s_v^2$ een F-verdeling met v_m , respectievelijk v_v vrijheden. Indien de populatie-varianties gelijk zijn kan de waarde van F ten gevolge van toevallige fluctuaties variëren. Het 5% significantie-interval is voor $n_m = 112$ en $v_v = 38$ wordt opgezocht in de tabel voor de F-verdeling voor 2.5% significantie. De bovengrens bij $n_1 = 112$ en $n_2 = 38$ is gelijk aan 1.7. De ondergrens wordt de reciproke waarde, behorende bij $n_1 = 38$ en $v_2 = 112$ en is gelijk aan $1/1.6 = 0.63$. Let op: het was nodig de tabelwaarden te interpoleren, omdat de vrijheden $n_1 = 38$ en $n_2 = 112$ niet in de tabel staan. Het interval voor H_0 is dus gelijk aan: $0.63 < F < 1.7$

De verhouding van de steekproef-varianties is: $F = 4900 / 4096 = 1.2$. Deze waarde ligt binnen het interval. H_0 wordt niet verworpen, en we concluderen dat de variantie in lichaamslengte niet significant verschilt tussen mannelijke en vrouwelijke studenten.

30.4.8 Vergelijken van steekproefvariantie met populatievariantie

Als een fabrikant wil weten hoeveel maten van een product gemaakt moeten worden en hoe groot de verschillen tussen de maten moeten zijn om een bepaald gedeelte van de doelpopulatie te kunnen "bereiken", zal hij een indruk moeten hebben over de spreiding van de relevante maten. Denk bijvoorbeeld aan kleding. Als hij nu bekend is

met de Nederlandse maten en hun spreidingen (hij produceert al vele jaren voor de Nederlandse markt), maar een opdracht krijgt om kleding voor een ander land te maken, kan hij dan volstaan met een lineaire toe- of afname ($\mu_{\text{ander}} - \mu_{\text{nl}}$) voor de betreffende stofmaten, of is er ook nog een significant verschil in spreiding, waardoor bijvoorbeeld de grootste en de kleinste maten komen te vervallen of dat er misschien zelfs nog extra maten bijmoeten?

Hij zal in dit geval gaan toetsen of s_{ander}^2 van de steekproef gelijk is aan σ_{nl}^2 . De procedure is dan een steekproef te nemen van de belangrijkste lichaamsmaten (bijvoorbeeld voor kostuums de schouderbreedte). Zou de steekproef nu de suggestie wekken dat $s_{\text{ander}}^2 > \sigma_{\text{nl}}^2$, dan kan met behulp van de χ^2 -verdeling worden getoetst of $H_0: s_{\text{ander}}^2 = \sigma_{\text{nl}}^2$ met significantie α wordt aangenomen of verworpen.

Voorbeeld: we vinden met behulp van een willekeurige, representatieve steekproef van dertig mensen uit de doelgroep, waarin de schouderbreedte wordt gemeten, een variantie van 38^2 mm^2 . In de Dined-tabel vinden we voor volwassen Nederlanders (de groep waarvoor de fabrikant al kleding maakt, en waar dus alle machines e.d. voor staan ingesteld): $\sigma_{\text{nl}}^2 = 31^2 \text{ mm}^2$. De variantie van de doelgroep lijkt dus groter dan die van volwassen Nederlanders. Maar: dit verschil kan door toevallige fluctuaties tot stand zijn gekomen. Om dit te toetsen kijken we naar de verhouding $s_{\text{ander}}^2 / \sigma_{\text{nl}}^2$, die isomorf is met de χ_v^2 -verdeling. In de χ^2 -tabel vinden we voor $v=30-1=29$ bij 0.99 onderschrijdingskans $\alpha=0,01$: $\chi^2 = 49.6$. Criterium voor H_0 is dus of de verhouding van de varianties kleiner is dan $\chi_v^2 = \chi^2/v = 49.6/29 = 1.71$, waarbij H_0 wordt aangenomen, of dat de verhouding groter is, waarbij H_1 wordt aangenomen. Aangezien $s_{\text{ander}}^2 / \sigma_{\text{nl}}^2 = 38^2 / 31^2 = 1.23$ mag H_0 niet worden verworpen met significantieniveau $\alpha=0,01$, en kan de fabrikant met een gerust hart evenveel maten maken als hij voor Nederland doet, en waarbij de verschillen tussen de maten gelijk zijn aan die voor de Nederlanders. Of van alle maten een constant verschil moet worden afgetrokken of bij opgeteld wordt getoetst met de grootheden \bar{x} en μ en met de normale of de t-verdeling.

30.4.9 Toetsen voor correlatie

Het toetsen of een gevonden steekproefcorrelatie significant van nul verschilt gaat op dezelfde wijze als de voorgaande toetsen. Eerst wordt een (enkel)zijdig significantiegebied bepaald met behulp van het gewenste significantieniveau en het aantal observaties. Dan wordt vastgesteld of de toetsingsgrootte binnen het significante gebied ligt, waarbij H_0 (geen samenhang) wordt verworpen. Buiten het significantiegebied wordt H_0 niet verworpen.

Voorbeeld (*normaal*): bij een groep van twintig mensen zijn de lichaamslengte en de vuisthoogte staand gemeten. Beide variabelen zijn normaal verdeeld. De significantiegrens voor $v=n-2=20-2=18$ en $\alpha=2.5\%$ is gelijk aan 0.44. De correlatiecoëfficiënt van deze steekproef bleek gelijk te zijn aan 0.46. Blijkbaar mag H_0 worden verworpen. Met 97.5% betrouwbaarheid mag nu worden aangenomen dat op basis van deze steekproef er een samenhang bestaat tussen de lichaamslengte en de vuisthoogte staand.

Indien de correlatiecoëfficiënt inderdaad gelijk zou zijn aan 0.46 (hetgeen een aparte toetsing vergt, die hier niet zal worden behandeld), kan het percentage spreiding, dat door regressie wordt verklaard, worden berekend. Aangezien:

$$r^2 = 1 - \frac{s_{y,x}^2}{s_y^2} \quad \text{of} \quad \frac{s_{y,x}}{s_y} = \sqrt{1 - r^2} = 0.90$$

wordt 90% van de spreiding verklaard door regressie, en 10% door toevallige

fluctuaties.

Er zijn vele *parametervrije* toetsen om samenhangen tussen variabelen op te sporen. Een daarvan zal hier worden behandeld: de «Spearman rangorde correlatiecoëfficiënt» r_s . Deze maat voor statistische samenhang vereist slechts dat de variabelen zijn gemeten op minimaal een ordinale schaal, zodat ze in twee reeksen kunnen worden geordend. De procedure wordt gedemonstreerd aan de hand van een voorbeeld. Voorbeeld: we hebben n metingen van een x -variabele en een daar bij behorende y -variabele. Laat de x -variabele bijvoorbeeld zijn: het aantal uren, dat een student in zijn studietijd in een keuzevak produktveiligheid heeft gestoken. Laat de y -variabele zijn: de door een panel van deskundigen uitgevoerde veiligheidsbeoordeling (hoog cijfer = hoge veiligheid) van een door een afgestudeerde student ontworpen product, dat aan zekere veiligheidseisen moet voldoen. In de tabel zijn de resultaten van 12 (ex)studenten (A-L) weergegeven. De procedure om r_s te berekenen is als volgt.

1. Geef voor elke x -waarde de rangorde aan, waarbij gelijke rangordes worden gemiddeld, zie kolom drie. Doe hetzelfde voor de y -waarden, zie kolom vijf.
2. Bereken het verschil in rangorde ($d_i = x_i - y_i$), en kwadrateer dit verschil, zie kolommen zes en zeven.
3. Bereken $\sum d_i^2$, zie rechtsonder in tabel.
4. Bereken de correctiefactoren T_x en T_y voor gelijke rangordes in x en y :

$$T_x = \sum_{i=1}^{g_x} (t_{x,i}^3 - t_{x,i}) \quad \text{en} \quad T_y = \sum_{i=1}^{g_y} (t_{y,i}^3 - t_{y,i})$$

waarin g_x en g_y het aantal groepen met gedeelde rangorde en $t_{x,i}$ en $t_{y,i}$ het aantal gelijke rangordes in de betreffende groep zijn.

5. Bereken r_s :

$$r_s = \frac{(n^3 - n) - 6 \sum_{i=1}^n d_i^2 - (T_x + T_y)/2}{\sqrt{(n^3 - n)^2 - (T_x + T_y)(n^3 - n) + T_x T_y}}$$

Als er geen gepaarde rangordes zijn, of als het aantal van deze groepen klein is, wordt de formule gereduceerd tot:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n}$$

6. Toets r_s aan de hand van een significantiegrens, die is vastgesteld aan de hand van tabel "rangorde correlatie toets van Spearman" in bijlage 14.

	uren studie (x)	rangorde	veiligheid (y)	rangorde	d_i	d_i^2
A	5	1.5	5	3	-1.5	2.25
B	5	1.5	6	4	-2.5	6.25
C	10	3.5	4	2	15	2.25
D	10	3.5	3	1	25	6.25
E	20	5	8	8	-3.0	9.00
F	30	6	11	11	-5.0	25.00
G	40	7	10.5	10	-3.0	9.00
H	50	8	7	6	20	4.00
I	60	9	7.5	7	20	4.00
J	70	10.5	12	12	-1.5	2.25
K	70	10.5	6.5	5	-5.5	30.25
L	95	12	10	9	30	9.00
						$\sum d_i^2 = 109.5$

Figuur 30.31 Aantal uren studie opgedeeld van pv en beoordeling van de produktveiligheid van ontworpen produkten, weergegeven van 12 personen.

30.5 Schattingen en betrouwbaarheidsintervallen

In de ontwerppraktijk is vaak behoefte aan bepaalde antropometrische variabelen van de doelgroep, welke dan net niet bekend of beschikbaar zijn. Dan staan verschillende mogelijkheden tot de beschikking teneinde toch een schatting van deze grootheden te verkrijgen.

1. Men kan uitgaan van een andere populatie, waarvan wel gegevens bekend en na een eventuele correctie toepasbaar zijn. Zo worden de antropometrische gegevens van bijvoorbeeld Amerikaanse piloten (Hertzberg, 1954) nog regelmatig geraadpleegd, omdat in dit gegevensbestand een groot aantal variabelen (133) gemeten is, deze goed zijn gedefinieerd en het bestand zeer consistent is opgezet. Indien men bovendien aanneemt dat correlaties tussen antropometrische maten in de loop van de jaren niet significant veranderen, kunnen ook de correlatiegegevens uit het Anthropometric Sourcebook (NASA, 1978) gebruikt worden ter schaling van gegevens uit andere bestanden.
2. Alhoewel op deze manier vaak bruikbare gegevens kunnen worden verkregen is het meestal betrouwbaarder een goede steekproef uit de desbetreffende doelgroep te trekken en de benodigde maten te meten. Men zal in dat geval moeten vaststellen hoeveel proefpersonen en welke keuzestrategie men kiest, om tot een representatieve willekeurige, of eventueel gestratificeerde, steekproef samen te stellen. In het geval van een gestratificeerde steekproef zal men al een globale indruk moeten hebben van de populatie.

In de schattingstheorie worden twee soorten schattingen onderscheiden: puntschattingen en intervallschattingen. Met een puntschatting wordt bedoeld: de *meest aannemelijke* schatting voor een variabele. Bijvoorbeeld: het rekenkundig gemiddelde \bar{x} van de steekproef is een zuivere puntschatting voor μ van de populatie, en evenzo s^2 voor σ^2 . Een schatter heet *zuiver*, als zijn verwachtingswaarde gelijk is aan de betreffende parameter. Wanneer we een intervallschatting (of betrouwbaarheidsinterval met significantieniveau α) geven van een variabele, geven we een boven- en een ondergrens, waarbinnen de te schatten variabele zich met een kans $1-\alpha$ zal bevinden.

De kans dat de variabele zich niet binnen dit interval bevindt, is dus gelijk aan α . De waarde $1-\alpha$ heet de *betrouwbaarheid van de schatting*.

In deze paragraaf zullen drie voorbeelden worden gegeven: een betrouwbaarheidsinterval voor σ^2 , een betrouwbaarheidsinterval voor μ als σ^2 bekend wordt verondersteld, en een betrouwbaarheidsinterval voor μ als σ^2 onbekend is.

30.5.1 Schatting van de variantie

Een handschoenfabrikant gaat een aantal breedtematen maken. Daarom wil hij een schatting voor σ^2 van de handbreedte. Hij meet deze maat bij 25 mensen uit de doelgroep en vindt een s^2 van 100 mm^2 . Hoe wordt nu een 90% betrouwbaarheidsinterval voor σ^2 berekend?

De steekproefvariabele s^2 is een zuivere schatter voor σ^2 ; dus de verwachtingswaarde van s^2 is gelijk aan σ^2 . De kansverdeling van s^2/σ^2 is isomoor met de χ_v^2 -verdeling. Dus:

$$\chi_{v,1/2\alpha}^2 < \frac{s^2}{\sigma^2} < \chi_{v,(1-1/2\alpha)}^2 \quad \text{of} \quad \frac{s^2}{\chi_{v,(1-1/2\alpha)}^2} < \sigma^2 < \frac{s^2}{\chi_{v,1/2\alpha}^2}$$

Als $\alpha=0.1$ (of 10%), is de ondergrens dus:

$$\frac{s^2}{\chi_{v,(1-1/2\alpha)}^2} = \frac{s^2 \cdot v}{\chi_{(1-1/2\alpha)}^2} = \frac{100 \cdot 24}{36.4} = 66 \text{ mm}^2$$

en de bovengrens:

$$\frac{s^2}{\chi_{v,1/2\alpha}^2} = \frac{s^2 \cdot v}{\chi_{1/2\alpha}^2} = \frac{100 \cdot 24}{13.8} = 174 \text{ mm}^2$$

Het 90% betrouwbaarheidsinterval voor σ^2 is dan $66 < \sigma^2 < 174 \text{ mm}^2$

30.5.2 Schatting van het gemiddelde als de variantie bekend is

Dezelfde fabrikant wil nu de grootte van de maten weten, en heeft daar het rekenkundig gemiddelde voor nodig. Uit een steekproef van 10 mensen vindt hij: $\bar{x} = 108 \text{ mm}$. Hij heeft dit keer redenen aan te nemen dat de populatievariantie bekend is en gelijk aan 100 mm^2 . Hoe groot is nu het 95% betrouwbaarheidsinterval voor μ ? De kansverdeling voor $(\bar{x}-\mu)/(\sigma/\sqrt{n})$ is isomoor met de standaardnormale verdeling:

$$z_{1/2\alpha} < \frac{\bar{x}-\mu}{\sigma/\sqrt{n}} < z_{1-1/2\alpha} \quad \text{of} \quad \bar{x} - z_{1-1/2\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} - z_{1/2\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Vanwege symmetrie geldt: $z_{(1/2\alpha)} = -z_{(1-1/2\alpha)}$. Uit de tabel voor de normale verdeling volgt: $z_{(1-1/2\alpha)} = z_{0.975} = 1.96$. Invullen geeft:

$$108 - 1.96 \cdot \frac{10}{\sqrt{10}} < \mu < 108 + 1.96 \cdot \frac{10}{\sqrt{10}} \quad \text{of} \quad 102 < \mu < 114 \text{ mm}$$

30.5.3 Schatting van het gemiddelde als de variantie onbekend is

Het is bekend dat als de variantie van de populatie onbekend is, dat $(\bar{x}-\mu)/(s/\sqrt{n})$ isomoor is met de t_v -verdeling. Dus:

$$t_{v,1/2\alpha} < \frac{\bar{x}-\mu}{s/\sqrt{n}} < t_{v,(1-1/2\alpha)} \quad \text{of} \quad \bar{x} - t_{v,(1-1/2\alpha)} \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} - t_{v,1/2\alpha} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Om redenen van symmetrie geldt: $t_{v,1/2\alpha} = -t_{v,(1-1/2\alpha)}$ en dus:

$$\bar{x} - t_{v,(1-\frac{1}{2}\alpha)} \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + t_{v,(1-\frac{1}{2}\alpha)} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Uit de tabel van de t-verdeling volgt voor $v = 10 - 1 = 9$ en $1 - \frac{1}{2}\alpha = 0.975$ dat $t = 2.1$, zodat:

$$108 - 2.1 \cdot \frac{10}{\sqrt{10}} < \mu < 108 + 2.1 \cdot \frac{10}{\sqrt{10}} \quad \text{of} \quad 101 < \mu < 115 \text{ mm}$$

30.6 Enkele bijzondere statistische bewerkingen van antropometrische variabelen

30.6.1 Het mengen van populaties

Wanneer ontworpen moet worden voor een gemengde populatie (bijvoorbeeld mannen en vrouwen), zijn de antropometrische variabelen van de verschillende deelpopulaties in het algemeen verschillend qua gemiddelde en standaardafwijking. Dan worden een gemeenschappelijk gemiddelde en een effectieve standaardafwijking voor de totale populatie gedefinieerd. De gemengde populatie is niet meer normaal verdeeld. Maar als de verschillen niet al te groot zijn, kan in de praktijk vaak worden gewerkt met deze populatiegemiddelden en -standaardafwijkingen.

Twee vragen rijzen op bij gemengde populaties:

1. Wat zijn het gezamenlijke gemiddelde en de gezamenlijke standaardafwijking van twee steekproeven van n_m mannen met \bar{x}_{man} en s_{man}^2 en n_v vrouwen met \bar{x}_{vrouw} en s_{vrouw}^2 ?
2. Stel dat populatie-aantallen N_m mannen en N_v vrouwen bekend zijn. Er worden twee steekproeven getrokken van n_m mannen en n_v vrouwen. Hoe kan nu het populatiegemiddelde geschat worden?

Ad.1 Het gezamenlijk gemiddelde is gelijk aan het gewogen gemiddelde van de twee steekproeven (de Vries, 1994): $\bar{x}_g = (n_m \bar{x}_m + n_v \bar{x}_v) / (n_m + n_v)$. Voor de standaardafwijking geldt:

$$s_g^2 = \frac{1}{n_m + n_v - 1} \left[(n_m - 1)s_m^2 + (n_v - 1)s_v^2 + \frac{(\bar{x}_m - \bar{x}_v)^2}{1/n_m + 1/n_v} \right]$$

Als de twee steekproeven even groot zijn ($n_m = n_v$) en de steekproefgrootte is hoog (bijv. ≥ 100) dan wordt bovenstaande vergelijking vereenvoudigd tot:

$$s_g^2 = \frac{1}{2}s_m^2 + \frac{1}{2}s_v^2 + \frac{1}{4}(\bar{x}_m - \bar{x}_v)^2$$

Ad.2 Als de steekproefgemiddelden gelijk zijn aan \bar{x}_m en \bar{x}_v , dan is een zuivere schatter voor het gemengde populatiegemiddelde (de Vries, 1994):

$$\bar{x}_{populatie} = \frac{N_m \bar{x}_m + N_v \bar{x}_v}{N_m + N_v}$$

30.6.2 Het optellen en aftrekken van maten

Het optellen en aftrekken van twee nevenliggende of overlappende lichaamsmaten komt vaak voor als een maat niet bekend is maar wel afgeleid kan worden uit twee andere maten. Als de af te leiden maten y_s (sommaat) en y_v (verschilmaat) worden genoemd en de twee hieraan ten grondslag liggende x_1 en x_2 , dan geldt uiteraard voor de gemiddelden: $\bar{y}_s = \bar{x}_1 + \bar{x}_2$ of $\bar{y}_v = \bar{x}_1 - \bar{x}_2$. Voor de varianties van de som- en de

verschilmaten geldt: $s_{y'}^2 = s_{x_1}^2 + s_{x_2}^2 + 2rs_{x_1x_2}$ of $s_{y'}^2 = s_{x_1}^2 + s_{x_2}^2 - 2rs_{x_1x_2}$
 Voorbeeld: als de schouderhoogte zittend niet bekend is, kan hij afgeleid worden uit de ellebooghoogte zittend $N(237;26)$ en de elleboog-schouderhoogte zittend $N(364;17^2)$. Laat de correlatie $r = +0.74$ zijn. De gemiddelde schouderhoogte is dan: $\bar{y} = 237 + 364 = 601$ mm, de variantie: $s^2 = 26^2 + 17^2 + 2*0.74*26*17 = 1619$ mm² en de standaardafwijking: $s = 40$ mm.

We zien dat de standaardafwijking van de sommaat kleiner is dan de som van de afzonderlijke standaardafwijkingen. Dit komt door de correlatie (0.74). Zou $r = 1$, dan: $s^2 = 26^2 + 17^2 + 2*1*26*17 = 1849$ mm² en $s = 43$ mm, gelijk aan $s_1 + s_2$. Wanneer echter geen sprake is van enige correlatie ($r = 0$), dan: $s^2 = 26^2 + 17^2 + 2*0*26*17 = 965$ mm² en $s = 31$ mm. We zien met toenemende correlatie een toename van de standaardafwijking van de sommaat. Dit is te begrijpen als men zich realiseert dat bij hoge correlatie de grote waarden van de ene maat altijd worden gecombineerd met grote maten van de andere maat, terwijl voor de kleine maten hetzelfde geldt: kleine maten worden altijd gecombineerd met kleine maten. Dus wordt de totale spreiding groter dan in het geval waar correlatie afwezig is.

Voorbeeld. Stel: de bovenbeenlengte staand moet worden afgeleid uit de trochanterhoogte staand ($\bar{x}_1 = 877$ mm en $s_1 = 44$ mm) en de kniehoogte staand ($\bar{x}_2 = 513$ mm en $s_2 = 36$ mm). Laat de correlatie gelijk zijn aan $r = +0.83$. De gemiddelde bovenbeenlengte volgt dan uit het verschil van de gemiddelden van deze twee maten: $877 - 513 = 364$ mm. De variantie $s^2 = 44^2 + 36^2 - 2*0.83*44*36 = -603$ mm² en de standaardafwijking: $s = \sqrt{603} = 25$ mm.

Was de correlatie gelijk aan 1, dan $s^2 = 44^2 + 36^2 - 2*1*44*36 = 64$ mm² en $s = 8$ mm.

Bij afwezigheid van correlatie zouden we vinden:

$s^2 = 44^2 + 36^2 - 2*0*44*36 = 3232$ mm² en $s = 57$ mm. We zien hier een enorme invloed van de waarde van de correlatiecoëfficiënt.

30.6.3 Geschiktheidspercentage bij combineren van maten

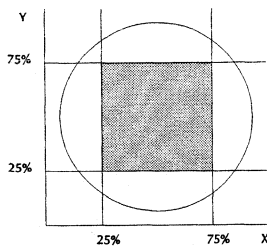
Het bepalen van een gebruikerspopulatie op basis van twee of meer lichaamsmaten komt in de ontwerppraktijk vrij veel voor. De onderliggende vraag is eigenlijk: hoe groot is het percentage mensen, dat "goed" gebruik kan maken van een product, dat is gebaseerd op twee lichaamsdimensies, die onderling meer of minder correlatie vertonen? Dit probleem wordt hier behandeld aan de hand van een voorbeeld.

Van een verrekijker op een toeristisch uitzichtpunt moeten zowel de horizontale verstelbaarheid (x) van het bi-oculair worden bepaald als de hoogteverstelling (y). De horizontale verstelbaarheid gebeurt op basis van de verdeling van de interpupilafstand en de verticale verstelling op basis van de ooghoogteverdeling. Beschouw eerst de uiterste situatie waarin deze twee maten ongecorrleerd zouden zijn ($r_{xy} = 0$) en daarna de situatie, waarin deze maten volledig gecorrleerd zouden zijn ($r_{xy} = +1$). Stel verder dat voor elke dimensie wordt gekozen op basis van 50% rond het gemiddelde, dus voor elke maat van P_{25} tot P_{75} . Het is duidelijk, dat bij onafhankelijkheid van de beide dimensies de gebruikerspopulatie $0.5*0.5 = 0.25$ bedraagt (fig 30.32), het product van de afzonderlijke fracties. Als beide dimensies geheel gecorrleerd zouden zijn, dan zou de gebruikerspopulatie 50% blijven (fig 30.34). In de middelste fig (30.33) is het overgangsgebied geschetst voor $0 < r < 1$, waar de grootte van de gebruikerspopulatie tussen 25% en 50% ligt. Voor dergelijke situaties bestaat een benaderende formule, die de gebruikerspopulatie (Z) beschrijft als functie van P_x en P_y , waarbij P_x de kleinere deelpopulatie is. Deze formule geldt zolang de afzonderlijke percentages rond het gemiddelde worden gekozen:

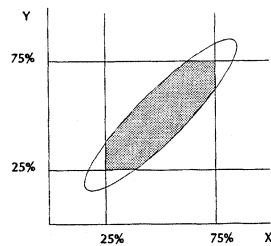
$$P_Z = P_X P_Y + r^2 (P_X - P_X P_Y)$$

Stel dat we voor de interpupilafstand kiezen voor 90% van de populatie, en voor de ooghoogte voor 50% (de rest moet maar bukken of op de tenen staan). Neem verder aan dat de correlatie tussen de interpupilafstand en de ooghoogte gelijk is aan 0.09 (dus $r_{xy} = 0.09$). Dan geldt: $P_Z = 0.9 * 0.5 + 0.09^2 (0.5 - 0.5 * 0.9) = 0.45$. Met andere woorden, wegens de lage correlatie kan slechts 45% onder "comfortabele" condities van de kijker gebruik maken.

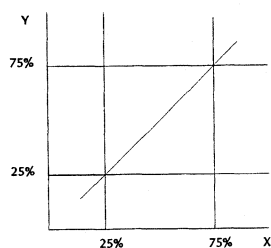
In de praktijk zal men vaak andersom te werk gaan. Men eist een bepaald gebruikersfractie, en rekt dan terug naar de afzonderlijke fracties.



Figuur 30.32 Als twee ongecorreleerde maten worden gecombineerd, reduceert elke maat onafhankelijk van de andere het gezamenlijke geschiktheidspercentage.



Figuur 30.33 Als twee gecorreleerde maten worden gecombineerd, is de totale reductie afhankelijk van de mate van samenhang.



Figuur 30.34 Als twee maten volledig samenhangen, wordt het totale geschiktheidspercentage bepaald door één van de twee maten.

Voorbeeld: bij het ontwerpen van een secretaressesstoel zijn de kritische maten bijvoorbeeld de zithoogte en de zittingdiepte $r = 0.65$. De ontwerper wenst een geschiktheidsfractie van 0.90. De vraag wordt nu: welk percentiel voor beide dimensies dient te worden gekozen om deze combinatie te leveren. Volgens de

formule voor P_z geldt, wanneer P_x en P_y aan elkaar gelijk worden gekozen ($P_x = P_y = P$):
 $P_z = P^2 + r^2(P - P^2) = P^2(1 - r^2) + r^2P$. Hieruit volgt voor P :

$$P = \frac{-r^2 \pm \sqrt{r^4 - 4r^2P_z + 4P_z}}{2(1 - r^2)}$$

Van het \pm -teken wordt het $+$ -teken gebruikt en niet het $-$ -teken. Invullen van $r = 0.65$ en $P_z = 0.9$ levert $P = 0.935$. Als we dus ontwerpen voor deelfracties van 94% zitten we goed.

Als er drie maten of meer moeten worden gecombineerd wordt deze formule wel vaker achter elkaar toegepast. Daarbij moet telkens worden bekeken wat de desbetreffende r is.

30.7 Tabel voor toetskeuze

	normale verdeling	binomiale verdeling	verdelingsvrij verhoud-schaal	verdelingsvrij interval-schaal	verdelingsvrij ordin. schaal	verdelingsvrij nomin. schaal
1 steekpr. 1 kenmerk 1 waarn/elem	μ, σ uit x, s	Toetsen van fractie met bepaald kenmerk			Kolmogorov-Smirnov Tekentoets op de mediaan	χ^2 goodness of fit
1 steekpr. 1 kenmerk 2 waarn/elem	verschil van v_i	teken- toets		Wilcoxon		
1 steekpr. 1 kenmerk $k > 2$ waarn/elem				Friedman		
1 steekpr. 2 kenmerken 2 waarn/elem (bijv.voor-na)	corr.coeff ρ uit r			Spearman rang-orde corr-coef	Teken toets voor verschil in mediaan Wilcoxon signed rank test	McNemar test
2 steekpr. 1 kenmerk 1 waarn/elem	$\mu_1 - \mu_2$ uit $x-y, s_x$ en s_y	1°steekpr. → fractie 2°steekpr. → fractie verschil via χ^2 -toets		Wilcoxon-Mann-Whitney	Mediaan test	χ^2 -toets
$k > 2$ steekpr. 1 kenmerk 1 waarn/elem	$\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$ met ANOVA			Kruskal-Wallis		χ^2 -toets
$k * 2$ geordende steekpr. 2 kenmerken n waarn/elem	corr.coeff ρ uit r regr-analyse					
$k * m$ geordende steekpr. m kenmerken n waarn/elem	partiële corr. meervoudige regr					Cochran Q test

Literatuur

- Bevington, P.R., 1969.
Data reduction and error analysis for the physical sciences. McGraw-Hill, New York
- Bray, J.H. and Maxwell S.E., 1985.
Multivariate Analysis of Variance. Series: Quantitative Applications in the Social Sciences (54). Sage Publications Beverly Hills.
- Fischer R.A., 1948.
Statistical methods for research workers. Oliver and Boyd, Edinburgh
- Fischer R.A. and Yates F., 1953.
Statistical Tables. Oliver and Boyd, Edinburgh.
- Iversen G.R. and Norpoth H., 1989.
Analysis of Variance. Series: Quantitative Applications in the Social Sciences (1). Sage Publications Beverly Hills.
- Hertzberg, 1954.
- Jonge, H. de, 1963.
Inleiding tot de medische statistiek. N.I.P.G., Leiden.
- Meister, 1995.
- NASA, 1978.
Antropometry sourcebook.
- Pearson, E.S. and Hartley, H.O., 1954.
Biometrika tables for statisticians, Vol. I. Cambridge University press.
- Siegel S. and Castellan N.J. Jr., 1988.
Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences. McGraw-Hill, London, New York.
- Soest, J. van, 1985.
Elementaire statistiek. Delft University Press, Delft
- Vries S. de, 1994.
Berekening Gemiddelde en Standaard deviatie van de gemengde populatie uit een groep mannen en een groep vrouwen. Internal report Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft.

1 Anatomische termen

Internationaal is de nomenclatuur van de anatomie vastgesteld in 1965 en kan elke 5 jaar gewijzigd worden.

Hierna volgt een korte beschrijving van termen die voor de industrieel ontwerper van belang zijn. Aanbevolen bronnen: Coelho (1977) en Rozendal (1974 of later).

- De meeste termen gaan uit van de standaardhouding (figuur 2.8). Hierin bevindt het hoofd zich in het Frankfurter vlak (d.w.z. onderste oogrand en gehoorgang in hetzelfde horizontale vlak).
- De vlakken worden aangeduid zoals in figuur 2.8 omschreven.
- De coördinaatassen worden aangeduid zoals in figuur 2.8 omschreven.
- Beweging om de frontale assen wordt anteflexie (naar voren) of retroflexie (naar achteren) genoemd. Als één van beide slechts mogelijk is noemt men dit meestal flexie als de ingesloten hoek kleiner wordt (elleboog) of extensie als de ingesloten hoek groter wordt (knie).
- Bewegingen om de sagittale assen worden abductie (van het lichaam af) en adductie (naar het lichaam toe) genoemd.
- Rotatie om de longitudinale as noemt men exorotatie (draaiing met de voorzijde naar buiten) of endorotatie (voorzijde naar binnen).
- Ventraal of anterior = voor
- Dorsaal of posterior = achter
- Craniaal of superior = boven
- Caudaal of inferior = onder
- Proximaal = dichtbij; t.o.v. de romp bij ledematen
- Distaal = veraf
- Lateraal = naar de buitenzijde
- Mediaal = naar het midden

Bij armen en benen wordt ook wel gebruik gemaakt van radiaal, ulnair, respectievelijk fibulair en tibiaal in de betekenis van respectievelijk lateraal en mediaal.

Belangrijke segmenten

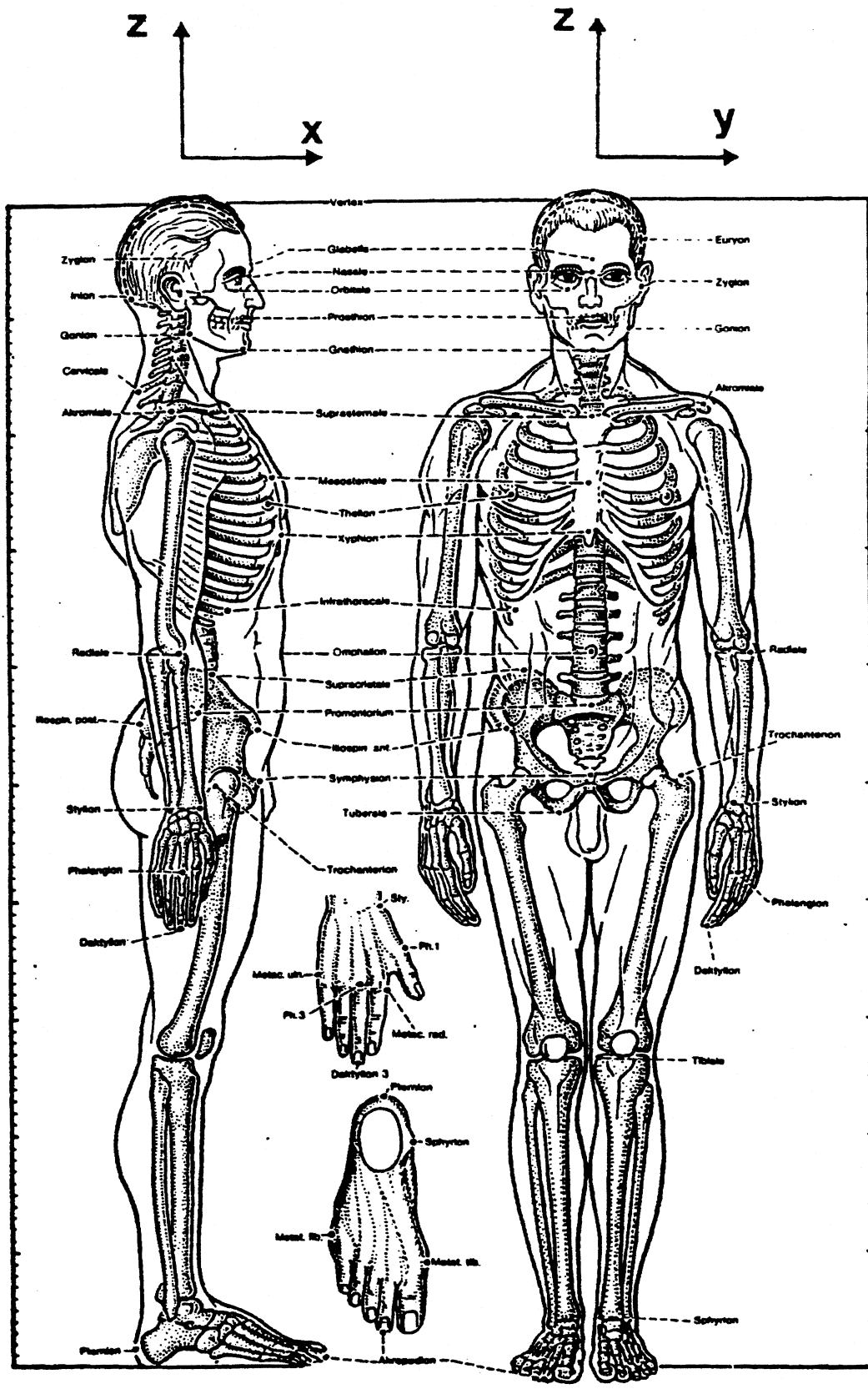
Wervelkolom

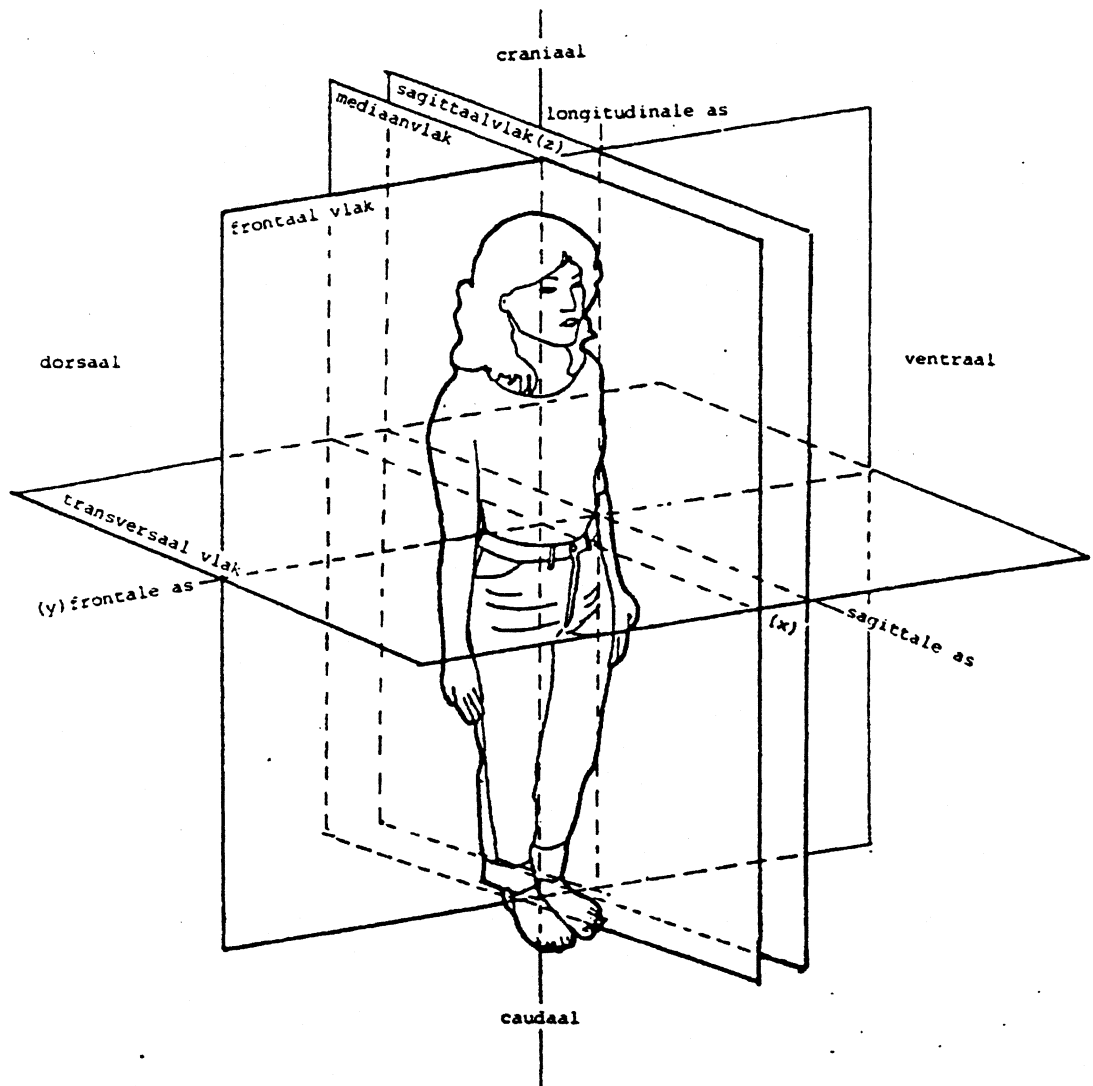
Cervicaal	= tot de halswervels behorend
Thoracaal	= tot de borstwervels behorend
Lumbaal	= tot de lendewervels behorend
Sacraal	= tot het heiligbeen behorend

Andere anatomische termen

acromiale	= distale uiteinde van het schouderblad
condylus	= het bolle gewrichtsdeel van een pijpbeen
condylus femoris	= dijbeenknobbel, de beide zwellingen aan de buiten- en binnenzijde (resp. condylus lateralis et medialis) van het ondereinde van het dijbeen
cortex	= schors
corticaal	= op de schors betrekking hebbende
decubitus	= het doorliggen, dat ontstaat op plekken welke bij het op bed liggen voortdurend aan druk zijn blootgesteld of waarop in verbanden het sterkst gedrukt wordt
eversie	= van de enkel: omgekeerde van inversie
fascia	= peesblad, bindweefselachtig vlies dat spieren of

femur	groepen van spieren bedekt of omgeeft = dijbeen (tussen heupkom en kniegewricht)
fossa	= groeve
fossa temporalis	= slaapgroeve (zijkant van het hoofd)
inversie	= van de enkel: totale beweging van enkel en voet waarbij de binnenkant van de voet wordt geheven, d.w.z. de voetzool naar het mediane vlak wordt gekeerd
in-vitro onderzoek	= onderzoek buiten het lichaam (het kunstmatig kweken van levende weefsels) of onderzoek aan anatomische preparaten
in-vivo onderzoek	= onderzoek aan levenden
ligamentum	= band
mediale vlak	= vlak dat het lichaam in twee symmetrische helften verdeelt
m. latissimus dorsi	= brede rugspier, is een brede, platte spier (de grootste spier van de mens)
m. quadriceps femoris	= vierhoofdige dijspier bestaat uit vier delen: de rechte bundel, m. rectus femoris, gaat over twee gewrichten heen (bi-articulair) en ligt in een geul, gevormd door de overige drie spieren die maar over één gewricht heen gaan (mono-articulair)
m. triceps surae	= driehoofdige kuitspier; trekt aan de achillespees
nasio-ilnion lijn	= lijn van neusplooi naar achterhoofd, zie schema van Martin
orbitale	= onderste oogrand
patella	= knieschijf
radiale	= proximale uiteinde van de radius
sphyrion	= mediale enkelknobbel
spongiosa	= sponsachtig
suprasternale	= bovenrand van het borstbeen (sternum)
synovia	= gewrichtssmeer
tragion	= gehoorgang
trochanter	= knobbel op dijbeenhals
tibia	= scheenbeen
tibiale	= mediale bovenrand van de tibia
visco-elastisch	= tijdsafhankelijk materiaalgedrag (zich herstellend): materiaalgedrag waarbij vervorming en herstel worden beïnvloed door snelheid en tijdsduur van belastingen en ontlasten





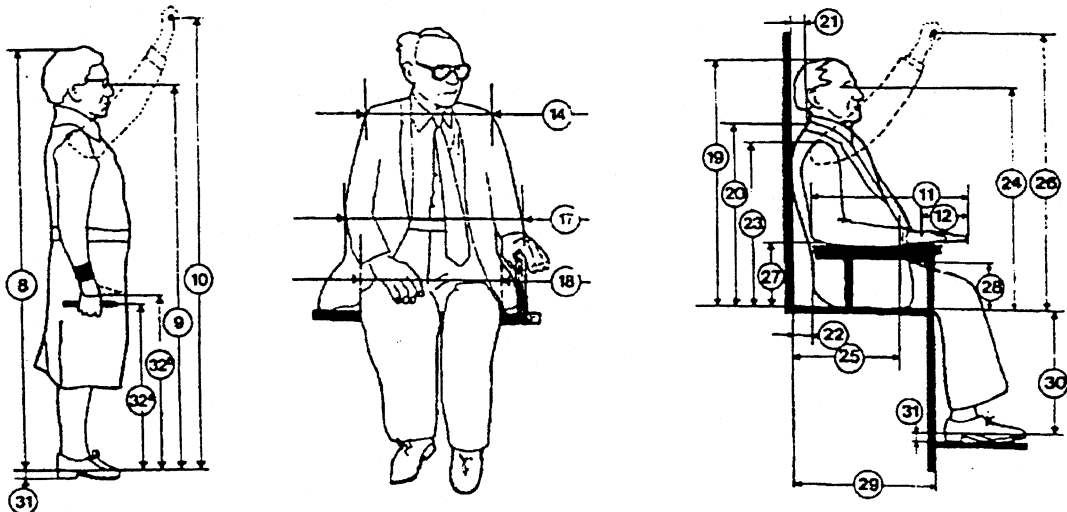
2 Antropometrie van Nederlandse bejaarden

(Molenbroek et al., 1994)

Overzicht meetresultaten van alle gemeten bejaarden (ongeschoeid)

nr	omschrijving	n	\bar{x}	SD	P5	P95
7	gewicht in kg	815	63,7	14	41,8	87,7
8a	lichaamslengte normaal in mm	609	1571	89	1435	1733
8b	lichaamslengte doorgezakt in mm	261	1579	92	1443	1744
8c	lichaamslengte gestrekt in mm	261	1594	93	1456	1759
9	ooghoogte staand in mm	569	1465	93	1318	1608
10	reikhoogte staand in mm	556	1681	125	1474	1881
11	onderarm lengte tot vingertop in mm	819	442	28	400	492
12	handlengte in mm	818	175	12	156	195
13	handbreedte in mm	820	77	6	67	88
14	schouderbreedte in mm	817	396	32	345	450
17	elleboogbreedte in mm	820	445	50	365	528
18	heupbreedte zittend in mm	818	374	39	316	447
19	zithoogte in mm	817	799	53	713	880
20	hoogte cervicaal 7 zittend in mm	815	591	44	517	660
21	rugleuning tot cervicaal 7 in mm	818	80	28	37	127
22	rugleuning tot sacrum in mm	797	26	22	1	71
23	schouderhoogte zittend in mm	821	554	42	486	620
24	ooghoogte zittend in mm	811	694	57	593	787
25	buikdiepte zittend in mm	819	316	43	251	388
26	reikhoogte zittend in mm	413	973	123	740	1157
27	elleboog-zitvlakhoogte in mm	807	218	34	158	275
28	dijbeendikte in mm	820	121	18	92	150
29	zitdiepte in mm	820	489	34	433	545
30	zittinghoogte in mm	816	421	35	364	492
31	hakhoogte in mm	821	36	11	20	53
32a	vuisthoogte staand in mm	582	705	50	622	789
32b	palmhoogte staand in mm	273	702	58	611	802
33	knijpkracht in N	70	100	34	58	161
	leeftijd in jaren	822	81,3	8	66,5	94,0

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



3 DINED-tabel

Nederlandse lichaamsmaten voor ontwerpen
DINED-tabel (3e herziene versie)

J.F.M. Molenbroek en J.M. Dirken
Faculteit van het Industrieel Ontwerpen
Technische Universiteit Delft
oktober 1986

1. inleiding

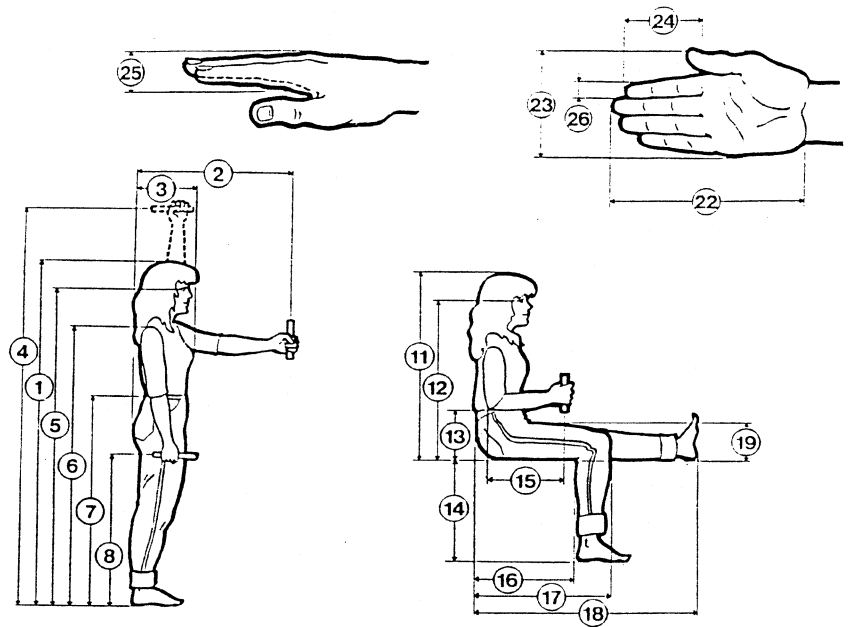
Voor het ontwerpen van meubilair, werktuigen en cabines of voor het inrichten van huizen, werkplekken, loketten en dergelijke is het nodig te weten wat de lichaamsafmetingen zijn van de gebruikersgroepen. Deze lichaamsafmetingen zijn veelal normaal verdeeld. Voor verschillende ontwerpen zijn verschillende lichaamsvariabelen van belang en bij elk van die variabelen is de spreiding (s) erin wetenswaardiger dan het rekenkundige gemiddelde \bar{x} . De grootsten en de kleinsten, de zwaksten en de sterksten, de lenigsten en de stijfsten vormen het criterium, waarop de ontwerper zich richt, om grenzen van het gebruik te bepalen. Er wordt daarom vaak gewerkt met extreme waarden zoals bijvoorbeeld die van het 5e percentiel (P5) en van het 95e percentiel (P95).

Ook is het van belang te weten dat ieder mens zijn eigen unieke lichaamsbouw heeft en dat dus de proportionering van romp, ledematen en dergelijke ook sterk varieert in de populatie. Voor de Nederlandse bevolking van kinderen, jong volwassen vrouwen en van gehandicapten zijn echter weinig data over lichaamsafmetingen bekend. Antropometrisch bevolkingsonderzoek is hard nodig. Voor grote steekproeven uit de Nederlandse bevolking zijn wel de totale lichaamslengte en -gewicht bekend. Het leger meet keurlingen (CBS), Roede en van Wieringen (1985) onderzochten de schooljeugd en op kleinere schaal zijn van bejaarden en kinderen of sportbeoefenaars meer dan de voorgaande twee maten vastgesteld.

2. bron en toepassing

In deze derde en uitgebreide versie van de DINED wordt een aantal lichaamsafmetingen van de Nederlandse bevolking gegeven, die voor het ontwerpen van belang zijn. Deze gegevens zijn tot stand gekomen door gebruik te maken van een Duits bevolkingsonderzoek uit 1973 (DIN 33402, 1982) en door de resultaten daarvan aan te passen aan de Nederlandse situatie. Die correctie geschiedde op basis van de vergelijking van de totale lichaamslengte van 20-jarige mannen en vrouwen in 1980, zodat voor de Nederlandse mannen een 3½% erbij bleek te moeten worden opgeteld en voor de Nederlandse vrouwen + 2%. De lengte-, breedte- en dieptematen zullen in de toekomst apart moeten worden gecorrigeerd vanwege lage onderlinge correlatie, zoals in tabel 2 aangegeven. Dit zou DINED 4 kunnen worden.

3. de lichaamsmaten



tabel 1

Schattingen van afmetingen van lichaamsmaten van volwassen Nederlanders (20-60 jaar).

Maten ongeschoeid en ongekleed gemeten. Maten in mm en gewicht in kg. Bij \bar{x} -waarden vrouwelijke > mannelijke onderstreept.

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	753	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	438
zit-maten:								
11 kruin-zitvlak hoogte (zithoogte)	939	34	874	33	907	47	829	985
12 ooghoogte	818	32	750	32	784	47	706	862
13 elleboog-zitvlak-hoogte	238	26	238	26	238	26	195	281
14 knieholtehoogte (onderbeenlengte)	457	25	403	25	430	37	369	491
15 elleboog-grijpdiepte	375	19	328	22	352	31	301	403
16 bil-knieholte diepte	518	30	494	32	506	33	452	560
17 bil-knieschijf diepte	620	28	599	31	610	31	559	661
18 bil-voet diepte	1071	49	1065	52	1068	51	984	1152
19 dijbeenhoogte	141	12	<u>147</u>	17	144	15	119	169
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 (literatuur 1))	76	10	65	10	71	11	53	89)

Volgens tabel 2 gelden:
dieptematen : 3, 19 en 25
breedtematen: 9, 10, 20, 21, 23 en 26
lengtematen : overige behalve 27.

tabel 2

Schattingen van correlaties ($r \times 100$) vanuit Roebuck (1975) door middelen en afronden bij verschillende typen maten.

	lengte	breedte	diepte	omvang
lengte	65			
breedte	30	65		
diepte	20	40	20	
omvang	20	50	50	4

. jeugd, bejaarden en secularisatie

tabel 3
Lichaamslengten volgens de Nederlandse roeidiagrammen 1980 (Roede en van Wieringen, 1985).
Maten in mm.

leeftijd in jaren	jongens		meisjes	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s
0	505	19	505	16
1	764	26	748	26
3	982	40	970	38
5	1124	46	1119	46
7	1250	49	1244	52
9	1366	55	1358	58
11	1473	63	1472	70
13	1575	75	1606	72
15	1732	83	1664	62
17	1796	70	1680	59
19	1818	67	1683	62
20	1820	67	1683	62

tabel 4
Enkele maten van bejaarden 65 jaar en ouder; $\bar{x} = 81$ jaar (Mollenbroek et al. 1984).
Maten in mm.

Meting in kg.	mannen		vrouwen	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Lichaamslengte	1656	82	1543	72
Lichaamsgewicht	67	13	63	14
Reikhoogte	1756	120	1656	113
Ellebooghoogte (staand)	1039	50	973	41
Knieholtehoogte	454	31	410	29

man(25%)+vrouw(75%)
 \bar{x} P5 P95

Lichaamslengte	1571	1435	1733
Lichaamsgewicht	64	42	88
Reikhoogte	1681	1474	1881
Ellebooghoogte (staand)	990	901	1079
Knieholtehoogte	421	364	482

tabel 5
Verhouding jong en oud (in % van \bar{x} bij 20-60 jarigen) omstreeks 1980
Maten in mm.

leeftijd in jaren	lengtematen			
	mannen		vrouwen	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s
20-60	100	100	100	100
5	63	70	68	70
15	97	126	100	94
70	94	133	95	106

leeftijd in jaren	breedtematen			
	mannen		vrouwen	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s
20-60	100	100	100	100
5	60	72	67	65
15	91	139	103	75
70	94	155	100	140

Seculaire groeiverschuiving houdt in dat er systematisch verschillen zijn tussen generaties. De totale lichaamslengte nam van 1865 tot 1950 voor mannen gemiddeld 0.1 cm toe. In de periode 1965 - 1980 bedroeg de toename voor 20-jarigen per jaar 0.267 cm voor mannen en 0.134 cm voor vrouwen.

5. enkele berekeningsformules

tabel 6
Berekening van enkele percentielen bij een normale verdeling.

$p50 = \bar{x}$

$P1 = \bar{x} - 2,33 s$ $P99 = \bar{x} + 2,33 s$
 $P3 = \bar{x} - 1,88 s$ $P97 = \bar{x} + 1,88 s$
 $P5 = \bar{x} - 1,65 s$ $P95 = \bar{x} + 1,65 s$
 $P10 = \bar{x} - 1,28 s$ $P90 = \bar{x} + 1,28 s$
 $P20 = \bar{x} - 0,84 s$ $P80 = \bar{x} + 0,84 s$
 $P25 = \bar{x} - 0,67 s$ $P75 = \bar{x} + 0,67 s$

formule 1
Om te komen tot een gemengde populatie (g) uit een groep mannen (m) en een groep met een gelijk aantal vrouwen (v) kan men de volgende formules gebruiken:

$$\bar{x}_g = 1/2 (\bar{x}_m + \bar{x}_v) \quad (1.1)$$

$$s_g^2 = 1/2 s_m^2 + 1/2 s_v^2 + 1/4 (\bar{x}_m - \bar{x}_v)^2 \quad (1.2)$$

formule 3
Voor het berekenen van de overblijvende geschikte populatie P_z na het dimensioneren van een ontwerp met twee dimensies, waarvoor P_x respectievelijk P_y de percentages zijn, geldt de volgende formule, indien $P_x < P_y$

$$P_z = P_x \cdot P_y + r^2 (P_x - P_x \cdot P_y) \quad (3.1)$$

6. literatuur

- Appelboom, W.J.M.J.
Lengte en gewichtswaarnemingen in de continue gezondheidsenquête, 1981-1983
Maandbericht Gezondheidsstatistiek 2 (1984-7) 9-13.
- Bouwman, H., Breebaart, S. en L. Gerzon
Antropometrisch onderzoek, lichaamsafmetingen en vrouwen nader bekeken.
Tijdschrift voor Ergonomie 7 (1982) 4,9-12
- Centraal Bureau voor de Statistiek
Statistisch zakboek 1980, 1981, 1982, 1983.
Staatsuitgeverij, Den Haag.
- Churchill et al. (eds.)
Anthropometric Source Book.
Nasa Reference Publication 1024
National Technical Information Service,
Springfield, USA, 1978.
- DIN 33402
Körpermasse des Menschen.
Nederlands Normalisatie Instituut Delft, 1982
- Dirken, J.M.
Antropometrische ontwerpstatistiek; onzekerheden, regels en een voorbeeld.
Tijdschrift voor Ergonomie 9 (1984-2) 2-7.
- Lombaers, J.H.M., Molenbroek, J.F.M. en D.S.C. Osinga
Antropometrische modellen,
Rapport bijzondere onderwerpen, deel 10
Afdeling Industrieel Ontwerpen, TU-Delft 1985
- Molenbroek, J.F.M., Houtkamp, J.J. en A.K.C. Burger
Bejaardenantropometrie
Rapport Bijzondere Onderwerpen no. 6.
Afdeling Industrieel Ontwerpen,
Technische Hogeschool Delft, 1984
- Roede, M.J. en van Wieringen J.C.
De Nederlandse Groeidiagrammen 1980.
Samson, Alphen aan de Rijn, 1982.
- Roede, M.J. en van Wieringen, J.C.
Growth Diagrams 1980 Netherlands,
Third Nation-wide survey.
Tijdschrift voor Sociale Gezondheidszorg 63 (1985) 12, supplement.

tabel 7
Gebruikelijke verhouding van enkele percentielen bij de lengtematen uit tabel 1.

$\frac{P95 \ m}{P5 \ v} = 1,28$ $\frac{P95 \ v}{\bar{x} \ m} = 1,03$ $\frac{\bar{x} \ m}{\bar{x} \ v} = 1$

$\frac{P5 \ m}{P5 \ v} = 1,09$ $\frac{P95 \ m}{P95 \ v} = 1,07$

formule 2
Om twee maten op te tellen of van elkaar af te trekken, als ze in elkaars verlengte liggen kan men de volgende formules gebruiken:

$$\bar{x}_3 = \bar{x}_1 \pm \bar{x}_2 \quad (2.1)$$

$$s_3^2 = s_1^2 + s_2^2 \pm 2 \cdot r \cdot s_1 \cdot s_2 \quad (2.2)$$

PS: De auteurs zijn zeer erkentelijk voor eventueel commentaar op deze DINED-tabel.

4 GDVV

(Afmetingen van GDVV-senioren (55-105 jaar; % vrouw = 75%) naar geslacht en maat (n = aantal; overige waarden in cm, behalve indien anders aangegeven). Molenbroek, 1994))

variabele	nr	man							vrouw						
		n	\bar{x}	s	min	p5	p95	max	n	\bar{x}	s	min	p5	p95	max
breedtematen															
breedte elleboog-elleboog	(9)	197	47	4,8	31	40,5	54,3	59,1	623	43,8	4,9	30	36,1	51,2	65,9
handbreedte metacarpaal	197	8,3	0,6	6	7,1	9,1	10,7	623	7,5	0,5	4,9	6,6	8,3	8,9	
heupbreedte, zittend	(10)	197	36,8	3,2	29,4	32,2	43	46,5	621	37,6	4,1	27,9	31,6	45,1	57,2
schouderbr. biacromiale dieptemaat	(8)	197	42,2	2,8	35,6	37,9	47	51,4	620	38,8	2,9	30,8	34,3	43,7	50,4
dijbeenhoogte	(20)	197	11,4	1,6	6,7	8,7	14,3	17	623	12,3	1,8	8	9,3	15	19,3
lengtematen															
bil-knieholte diepte	(21)	196	46,7	3,6	36,2	40,2	52,5	56,9	597	46,2	3,6	32,9	40,5	52,4	56,6
buikdiepte zittend	(17)	195	27,9	4,5	16,2	21,1	35,4	39,7	597	29,3	4,8	13,3	21,9	36,8	52,2
cervicale hoogte	(12)	196	62,8	3,8	51,4	56,6	69,3	71,7	619	58	3,9	41,6	51,3	63,9	77
elleboog-vingertop	(5)	196	46,8	2,5	40,5	42,6	50,8	53,5	623	43,3	2,3	31,9	39,7	47,3	54,9
ellebooghoogte zittend	(19)	196	22,7	3,6	14,5	16,8	28,9	30,8	611	21,5	3,3	12,5	15,7	27	30,4
handlengte		197	18,4	1,2	15,3	16,5	20,2	21,3	621	17,2	1	13,5	15,4	18,9	20,2
kruin-zitvlakhoogte	(11)	196	84,4	4,6	70,4	76,1	91,9	95,3	621	78,5	4,7	58,2	70,6	85,8	92,9
lichaamslengte doorgezakt		67	167	8,3	148	154	180	184	194	155	7,1	136	143	167	172
lichaamslengte gestrekt		67	169	8,3	150	155	180	187	194	156	7,2	137	144	169	174
lichaamslengte staand	(2)	152	166	8,2	147	152	178	185	457	154	7,2	123	143	166	174
onderbeenlengte	(22)	196	45,4	3,1	36,5	40,1	50,2	53,9	620	41	2,9	32,6	36,1	45,9	51,4
ooghoogte, staand	(3)	146	154	7,7	134	141	166	177,6	423	144	8,4	110	129	156	174
ooghoogte, zittend	(16)	197	73,2	5,1	58,2	64,2	80,9	85,3	614	68,2	5,4	46,5	58,6	76,2	84,9
palmhoogte staand	(25)	70	78,2	5,1	64,5	69,2	85,7	87	203	72,5	4,9	59,3	65	80	83,3
reikhoogte zittend	(18)	99	103	11,1	68	83	121	129	314	95,4	12,1	46	73,1	111	124
reikhoogte staande op 34cm	(4)	141	177	12	141	157	198	208	415	165	11,3	124	147	183	201
schouderhoogte zittend	(15)	197	58,7	3,8	39,8	52	65	66,9	624	54,3	3,7	40,7	48,1	59,9	69,8
vuisthoogte, staand	(24)	150	77	4,7	62,7	68,6	83,9	88,6	432	73,2	4,7	56,1	65,3	81	85,8
overige maten															
afstand rugleuning tot C7	(13)	196	9	2,5	2,7	4,6	13,1	17,4	619	7,8	2,8	0,1	3,5	12,6	18,2
afstand rugleuning-sacrum	(14)	196	3,5	2,2	0,1	0,6	7,4	13,6	598	2,3	2,2	0,1	0,1	7	13,1
hakhoogte	(23)	197	2,9	0,8	1	1,7	4	6,5	624	3,9	1	0,1	2	5,5	7,5
knijpkracht hand [10 N]		12	35	14	13	13	60	60	58	18	7	3	6	35	36
lichaamsgewicht [kg]		194	67	13	40	44	90	109	621	63	14	30	42	87	123

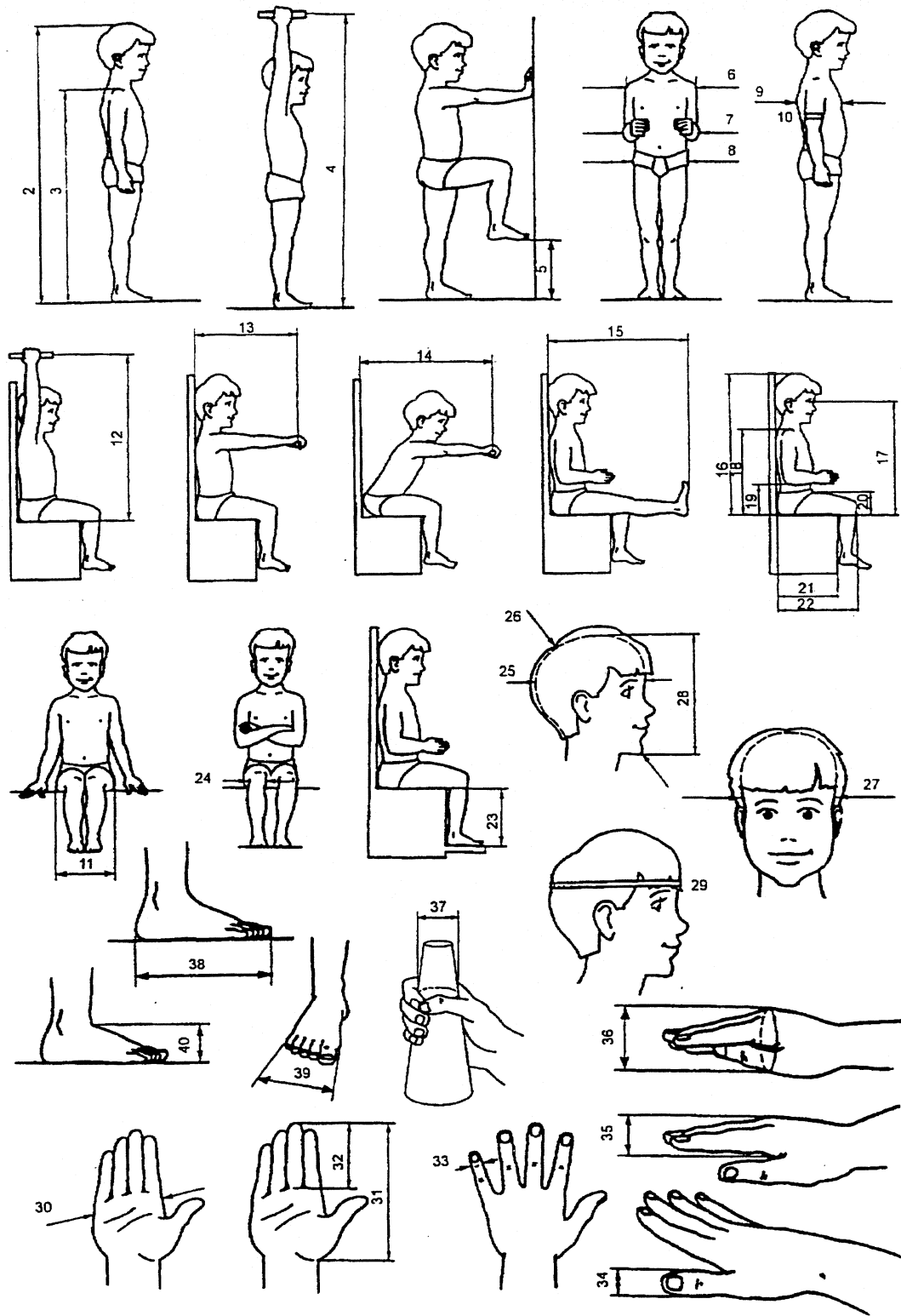
5 Bevolking in cijfers

Europa		Aantal inwoners	Prognose voor het jaar 2025 (Middelvraag)	Bevolkingsdichtheid	Natuurlijke groei	TFR	Buiten-ochtelijke geboorten per 100 geboorten	Levensverwachting bij de geboorte	Levensverwachting bij de geboorte	Zuigelingssterfte	Netto migratie	Afhankelijkegraad	65+ als % van de tot. bevolking	Gemiddelde leeftijd vrouwen bij eerste huwelijk
REGIO/ LAND		per 1-1-94 (milj.)	(milj.)	(per km ²)	1993 (%)	1993	1993	1992 (mannen)	1992 (vrouwen)	1993	1993 (%)	1-1-94	1-1-94	1993
Bevolking	TOTAAL EUROPA	511 ^b	542	95 ^d	0,2 ^b	1,6 ^b		71 ^b	78 ^b	11			14 ^b	
	NOORD-EUROPA	93 ^b	98	53 ^d	0,3 ^b	1,9 ^b		72 ^b	79 ^b	9			15 ^b	
In	Denemarken	5,2	5,1	121	0,13	1,76	46,5 ^b	72,4	77,8	6,6 ^b	0,22	48,2	15,4	28,2 ^b
	Estland	1,5	1,7	33	-0,4	1,44	38,3	64,1	75	15,8	-0,91	51,2	12,8	23 ^c
Cijfers	Finland	5,1	5,2	15	0,34	1,85	28,9 ^b	71,7	79,4	4,4	0,17	49,3	13,9	26,9 ^b
	Ierland	3,6	3,6	51	0,5	2,02 ^b	18 ^b	71 ^f	76,7 ^f	6,6 ^b	-0,19	59,5 ^a	11,5 ^a	25,9 ^d
© DEMOS, 1994 samengesteld door Harry Bronsema	IJsland	0,3	0,3	3	1,09	2,22	58,3	75,7	80,9	4,8	-0,07	55,8	11	26,8 ^c
	Litanië	2,6	2,8	40	-0,48	1,51	23	63,3	74,8	16,2	-1,08	51,7	13,1	22,4
BRONNEN:	Litouwen	3,7	4,1	57	0,02	1,89 ^b	9	64,9	76	16	-4,89	50,8	11,2	22
	Noorwegen	4,3	4,9	13	0,36	1,86	42,9 ^b	74,2	80,3	5,8 ^b	0,24	54,8	16,1	26,4 ^c
- Raad van Europa - Pop. Reference Bureau	Zweden	8,8	9,5	19	0,24	2	50,4	75,5 ^a	80,8 ^a	4,8	0,36	56,9	17,6	28,3
	Verenigd Koninkrijk	58	60,3	239	0,24	1,79 ^b	30,8 ^b	73,6	79	6,6 ^b	0,87	54,2	15,8	25,5 ^c
NOTEN:	WEST-EUROPA	178 ^b	188,7	159 ^d	0,2 ^b	1,6 ^b		73 ^b	79 ^b	7			14 ^b	
	België	10,1	9,9	331	0,13	1,58 ^c	11,3 ^c	72,4 ^d	79,1 ^d	8	0,19	50,8	15,6	24,9 ^b
a. 1993 b. 1992 c. 1991 d. 1990 e. 1989 f. 1988 g. 1987 h. 1986 i. 1985 j. schatting	Bondsrep. Duitsland Voormalige DDR	81 ^a	83,9	227	-0,09 ^b	1,39 ⁱ	11,6 ^b 41,8 ^b	72,9 ^c 70 ^f	79,3 ^c 76,2 ^f	6 ^b 7,3 ^b	0,97 ^b	45,8 ^a	15 ^a	26,5 ^b 25,1 ^b
	Frankrijk	57,8	60,8	105	0,32	1,65	33,2 ^b	72,9	81,1	6,6	0,16	52,7	14,7	26,1 ^b
a. 1993 b. 1992 c. 1991 d. 1990 e. 1989 f. 1988 g. 1987 h. 1986 i. 1985 j. schatting	Laechtenstein	0,03 ^b		178	0,65 ^d	1,45 ^e	6,9 ^d			4,8 ^f	0,85 ^d	41,8 ^d	10,2 ^d	26 ⁱ
	Luxemburg	0,4	0,4	155	0,36	1,7	12,9	72,6	79,1	6	1,07	46,9	13,8	25,8
a. 1993 b. 1992 c. 1991 d. 1990 e. 1989 f. 1988 g. 1987 h. 1986 i. 1985 j. schatting	Nederland	15,3	17,7	376	0,38	1,57	13,1 ^j	74 ^{aj}	80 ^{aj}	6,2	0,39	45,9 ^j	13,1 ^j	26,9 ^j
	Oostenrijk	8	8,3	94	0,16	1,51 ^j	26,2 ^j	72,9	79,4	6,5 ^j	0,4	48,9 ^a	15,3 ^a	25,7 ^b
a. 1993 b. 1992 c. 1991 d. 1990 e. 1989 f. 1988 g. 1987 h. 1986 i. 1985 j. schatting	Zwitserland	7	7,7	169	0,36 ^b	1,56 ^j	6,3	74,3	81,2	6,6 ^b	0,67 ^b	45,5 ^j	14,6 ^j	27,5
	OOST-EUROPA (minus voormalige Sovjet-Unie)	96 ^b	107,2	110 ^d	0,2 ^b	1,9 ^b		67 ^b	75 ^b	17			11 ^b	
a. 1993 b. 1992 c. 1991 d. 1990 e. 1989 f. 1988 g. 1987 h. 1986 i. 1985 j. schatting	Bulgarije	9 ^a	8,8	81	-0,22 ^b	1,53 ^b	18,5 ^b	67,6	74,4	15,9 ^b	0,44 ^b	49,6 ^a	13,9 ^a	21,9 ^b
	Hongarije	10,3	10,4	110	-0,31	1,68	15,6 ^b	64,6	73,7	13,3	0	48,1	13,9	21,6 ^b
a. 1993 b. 1992 c. 1991 d. 1990 e. 1989 f. 1988 g. 1987 h. 1986 i. 1985 j. schatting	Polen	38,5	43,8	123	0,26	1,85	8,2	66,7	75,7	8,6	-0,04	52,4	10,7	22,2 ^b
	Roemenië	22,8	26,3	96	-0,13	1,44	17	66,1 ^c	73,2 ^c	23,3	-0,2	49,3	11,6	22,2
a. 1993 b. 1992 c. 1991 d. 1990 e. 1989 f. 1988 g. 1987 h. 1986 i. 1985 j. schatting	Voorm. Sovjet-Unie totaal	284 ^b	344,5											
	w.o. Moldavië	4,4		129	0,45	2,21 ^b	11,2	63,9	71,9	21,7	-0,35	56,6 ^a	8,6 ^a	22,3 ^d
a. 1993 b. 1992 c. 1991 d. 1990 e. 1989 f. 1988 g. 1987 h. 1986 i. 1985 j. schatting	Oekraïne	52,1 ^b		86	-0,07 ^b	1,81 ^b	11,9 ^c	65,9 ^d	75 ^d	14 ^c	0,29 ^c	50,7 ^c	12,3 ^c	
	Wit-Rusland	10,3 ^b		49	0,11 ^b	1,8 ^c	8,5 ^d	65,5 ^e	75,5 ^e	12,4 ^b	0,52 ^b	51,5 ^c	11,1 ^b	22,5 ^d
a. 1993 b. 1992 c. 1991 d. 1990 e. 1989 f. 1988 g. 1987 h. 1986 i. 1985 j. schatting	Voorm. Tsjecho-Slowakije		17,9				8,2 ^d							
	w.o. Slowakije	5,3		111	0,39	1,92		68,4 ^a	76,7 ^a	10,6	0,03	54,8	10,5	21,1
a. 1993 b. 1992 c. 1991 d. 1990 e. 1989 f. 1988 g. 1987 h. 1986 i. 1985 j. schatting	Tsjechië	10,3		131	0,03	1,7 ^b	12,7 ^j	68,5	76,1	8,5	0,05	18,9 ^a	12,9 ^a	21,5 ^d
	ZUID-EUROPA	144 ^b	148,2	88 ^d	0,2 ^b	1,5 ^b		72 ^b	79 ^b	12			13 ^b	
a. 1993 b. 1992 c. 1991 d. 1990 e. 1989 f. 1988 g. 1987 h. 1986 i. 1985 j. schatting	Albanië	3,4 ^b	4,5	115	1,81 ^c	3,03 ^d		69,6 ^c	75,5 ^c	32,9 ^c		61 ^c	5,4 ^c	
	Cyprus	0,7 ^a	0,9	78	1,11 ^b	2,68 ^b	1,1 ^b	74,1 ^c	78,6 ^c	9,7 ^b	0,34 ^b	57,1 ^a	10 ^a	24,8 ^b
a. 1993 b. 1992 c. 1991 d. 1990 e. 1989 f. 1988 g. 1987 h. 1986 i. 1985 j. schatting	Griekenland	10,4	10,1	79	0,05	1,4	2,8	74,6 ^d	80 ^d	8,3	0,37	47,5	15	24,5
	Italië	57,3 ^a	56,2	189	0,00	1,25 ^b	7,2	73,5 ^c	80,2 ^c	7,4	0,34	45 ^a	15,5 ^a	25,8 ^c
a. 1993 b. 1992 c. 1991 d. 1990 e. 1989 f. 1988 g. 1987 h. 1986 i. 1985 j. schatting	Malta	0,4	0,4	1160	0,68	2,12 ^b	1,7	73	77,8	9,3	0,29	50,1	10,6	22,5 ⁱ
	Portugal	9,9	10,1	107	0,08	1,53	16,9	70,8	78,1	13,4	0,15	48,8	14,4	24,7
a. 1993 b. 1992 c. 1991 d. 1990 e. 1989 f. 1988 g. 1987 h. 1986 i. 1985 j. schatting	San Marino	0,02		398	0,41	1,11		73,2 ^b	79,1 ^b	9,3	1,25	42	14,4	25,4
	Spanje	39,1	40,6	77	0,13	1,24	10 ^c	73,4 ^d	80,5 ^d	7,6	0,05	47	14,6	25,6 ^c
a. 1993 b. 1992 c. 1991 d. 1990 e. 1989 f. 1988 g. 1987 h. 1986 i. 1985 j. schatting	Turkije	60,5	92,9	78	2,16 ^c	3,58 ^c	4,4 ^d	64,3 ^c	69,5 ^c	56,5 ^c	0,01 ^c	60,6	4,4	23,6 ^c
	Voormalig Joegoslavië	24,2 ^b	26,1	93										
a. 1993 b. 1992 c. 1991 d. 1990 e. 1989 f. 1988 g. 1987 h. 1986 i. 1985 j. schatting	w.o. Bosnië-Herzegovina	4,6 ^b		89	0,73 ^c	1,7 ^d	7,4 ^d	69,7 ^d	75,2 ^d	15,3 ^d		43,3 ^c	6,9 ^c	23,3 ^c
	Kroatië	4,8 ^b		83	-0,06 ^c	1,5 ^c	7,5 ^c	65,6 ^c	75 ^c	11,1 ^c		46 ^c	11,7 ^c	23,8 ^b
a. 1993 b. 1992 c. 1991 d. 1990 e. 1989 f. 1988 g. 1987 h. 1986 i. 1985 j. schatting	Macedonië	2,2 ^b		83	0,93 ^c	2,18 ^b	7,1 ^d	70,1 ^d	74 ^d	30,6 ^b		50 ^c	7,4 ^c	22,8 ^b
	Montenegro	0,7 ^b		47	0,88 ^c	1,79 ^d	6,6 ^d	72,8 ^d	78,2 ^d	16,6 ^d		49 ^c	8,9 ^c	24,2 ^c
a. 1993 b. 1992 c. 1991 d. 1990 e. 1989 f. 1988 g. 1987 h. 1986 i. 1985 j. schatting	Servië	10,0 ^b		112	0,46 ^c	2,1 ^d	13,1 ^d	68,9 ^d	74,1 ^d	23,2 ^d		49,1 ^c	10,1 ^c	23,7 ^c
	Slovenië	2,0 ^a		98	-0,01	1,31	28,0	69,4	77,3	6,6	-0,04	44,5	11,8	24,5

6 Kindermaten

(Veertig lichaamsmaten van de Nederlandse kinderopopulatie in 1990, in drie leeftijdsgroepen (Steenbekkers, 1993)).

	kinderen 2 t/m 5 jaar (n=700)				kinderen 6 t/m 8 jaar (n=580)				kinderen 9 t/m 12 jaar (n=965)			
	a	p3	\bar{x}	p97	a	p3	\bar{x}	p97	a	p3	\bar{x}	p97
STAMMATEN												
1.lichaamsgezicht [kg]	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 [cm]	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 [cm]	8.1	67.4	81.2	96.0	6.4	90.4	101.6	123.5	7.9	105.4	119.4	135.7
4.reikhoogte staand [cm]	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.opstap hoogte [cm]	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 [cm]	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 [cm]	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 [cm]	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 [cm]	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 [cm]	1.3	15.0	17.2	19.8	1.6	16.2	18.8	22.4	2.2	17.5	21.1	26.0
ZITMATEN												
11.heupbreedte zittend [cm]	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 [cm]	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 [cm]	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 [cm]	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 [cm]	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 [cm]	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 [cm]	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 [cm]	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 [cm]	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 [cm]	.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 [cm]	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 [cm]	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 [cm]	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 [cm]	.5	5.7	6.7	7.6	.5	6.7	7.5	8.5	.6	7.2	8.3	9.5
HOOFDMATEN												
25.hoofdlengte [cm]	.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 [cm]	.9	19.6	21.3	22.9	.7	21.3	22.5	23.8	.8	22.0	23.5	25.1
27.hoofdbreedte [cm]	.5	12.6	13.5	14.6	.5	13.1	14.1	15.2	.6	13.4	14.4	15.5
28.hoofdhoogte [cm]	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.hoofdromvang [cm]	1.6	47.9	51.1	54.0	1.4	50.2	52.7	55.3	1.6	51.4	54.0	57.2
HANDMATEN												
30.handbreedte [cm]	.4	4.7	5.5	6.2	.4	5.7	6.4	7.1	.5	6.2	7.1	8.0
31.handlengte [cm]	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 [cm]	.5	4.1	5.0	5.9	.4	5.2	5.9	6.7	.5	5.9	6.8	7.7
33.pinkbreedte [cm]	.1	.8	.9	1.1	.1	.9	1.0	1.2	.1	.9	1.1	1.3
34.duimbreedte [cm]	.1	1.1	1.4	1.6	.1	1.3	1.5	1.7	.1	1.4	1.7	2.0
35.handdikte [cm]	.2	1.3	1.7	2.1	.2	1.6	2.0	2.3	.2	1.8	2.2	2.6
36.handdiameter [cm]	.4	4.2	4.8	5.5	.4	4.8	5.4	6.2	.4	5.2	6.0	6.8
37.grip omvang [cm]	.8	6.1	7.5	9.0	.9	7.6	9.1	10.6	1.1	8.8	10.7	12.9
VOETMATEN												
38.voetlengte [cm]	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 [cm]	.6	5.4	6.5	7.7	.5	6.7	7.6	8.7	.6	7.3	8.4	9.6
40.wreefhoogte [cm]	.7	4.9	6.0	7.4	.7	5.8	7.2	8.7	.9	6.5	8.1	9.8



7 DELSTU-project

(Afmetingen van Delftse studenten in 1985 naar geslacht en soort lichaamsmaat. Empirische waarden (n = aantal); overige waarden in cm, behalve indien anders vermeld (Molenbroek, 1994)).

variabele	nr	man							vrouw						
		n	\bar{x}	s	min	p5	p95	max	n	\bar{x}	s	min	p5	p95	max
breedtematen															
breedte elleboog-elleboog	(5)	265	43,6	2,9	35,1	39,0	48,8	54,8	89	40,4	3,5	32,5	35,3	46,8	48,0
breedte wijsvingertop	(6)	264	1,5	0,1	1,2	1,3	1,8	2,0	89	1,3	0,1	1,1	1,1	1,5	1,6
handbr. z. duim, metacarp.	(13)	152	8,8	0,5	7,3	8,0	9,5	10,0	50	7,8	0,4	7,1	7,1	8,4	8,5
handbreedte met duim	(14)	265	10,6	0,5	9,1	9,6	11,4	12,1	89	9,4	0,5	8,0	8,6	10,1	10,5
heupbreedte, staand	(17)	265	33,6	1,6	29,8	31,1	36,4	38,1	89	33,6	2,3	27,8	30,2	37,2	39,3
heupbreedte, zittend	(18)	265	34,8	1,9	29,1	32,0	38,4	40,3	89	35,4	2,6	28,1	31,6	40,4	41,6
kniebreedte	(27)	152	11,1	0,7	9,6	9,9	12,3	12,9	49	11,3	0,8	9,5	9,7	12,4	13,4
polsbreedte	(36)	151	6,0	0,4	5,0	5,4	6,6	6,8	49	5,4	0,4	4,5	4,7	6,0	6,2
schouderbr. biacromiale	(40)	152	39,5	2,2	34,1	35,7	43,2	44,5	50	35,4	2,3	30,4	31,7	39,3	40,6
schouderbr. bideltoides	(41)	265	45,7	2,1	40,6	42,6	49,0	53,7	89	41,3	2,1	36,1	38,0	45,6	49,6
dieptematen															
borstdiepte	(4)	265	22,8	1,9	16,3	20,0	26,0	31,1	89	23,5	2,2	18,6	20,2	27,3	32,4
dijbeenhoogte	(8)	265	13,9	1,0	11,5	12,3	15,8	16,9	89	14,0	1,4	10,6	11,7	16,4	18,6
handdikte metacarpaal	(15)	263	2,8	0,2	1,8	2,5	3,2	3,6	89	2,5	0,2	1,8	2,0	2,8	3,1
hoofddiepte glab.-ophist.	(20)	151	20,0	0,8	17,8	18,5	21,1	22,8	50	19,0	0,7	17,7	17,9	20,3	20,8
hoofddiepte nasion-oph.	(19)	152	19,6	0,8	17,5	18,0	20,8	22,5	50	18,7	0,7	17,0	17,4	19,7	20,6
lengtematen															
bil-knieholte diepte	(1)	265	50,1	2,5	44,5	45,7	53,9	59,3	87	48,8	3,1	37,6	44,5	54,8	56,0
bil-knieschijf dpt., zittend	(2)	265	63,3	3,0	55,1	58,6	67,8	78,8	89	60,3	3,0	50,0	56,1	65,0	68,0
bil-voetdiepte	(3)	263	110,2	5,2	95,5	101,2	118,4	126,5	88	103,1	5,0	84,8	95,8	111,0	113,8
buitenste enkelknobbel hgt.	(7)	152	7,7	0,6	6,1	7,0	8,6	9,0	50	7,0	0,6	5,5	6,5	8,0	8,4
elleboog-gripasdiepte	(9)	265	36,2	1,9	30,2	33,0	39,2	43,6	89	32,9	1,6	26,9	30,5	35,8	37,0
elleboog-vingertop	(10)	152	48,9	2,1	43,1	45,3	52,2	54,5	50	44,4	1,8	37,5	41,9	46,8	49,0
ellebghgt. staand, arm geb.	(11)	265	110,6	4,7	98,8	103,8	118,0	129,5	89	104,6	4,7	85,9	98,6	112,4	114,8
ellebooghoogte zittend	(12)	265	23,5	2,7	15,7	19,1	27,9	31,3	89	23,3	2,5	17,0	18,8	27,7	29,9
handlengte	(16)	264	19,3	0,9	16,4	17,8	20,8	22,3	89	17,7	0,8	15,1	16,3	18,9	19,8
hoogte cervicaal 7, staand	(21)	152	154,4	5,8	139,3	144,8	164,0	169,8	50	144,4	6,0	118,0	135,3	151,0	155,0
hoogte trochanter major	(22)	150	93,4	5,2	78,5	86,2	102,2	108,2	50	87,6	5,2	71,5	80,5	96,9	101,3
kniehgt. epicond. fem. lat.	(28)	152	51,6	2,7	43,4	47,5	56,1	58,1	50	47,6	2,5	38,7	43,6	51,2	53,5
kruin-zirvlakhoogte	(30)	263	94,6	3,3	79,0	89,9	100,0	103,9	89	88,9	3,3	76,7	83,8	94,2	96,2
lichaamslengte, staand	(32)	265	181,9	6,6	165,5	171,4	193,0	208,9	89	170,0	6,5	141,0	159,2	179,0	182,3
onderbeenlengte	(33)	263	49,2	2,7	41,0	44,7	53,5	57,4	85	44,9	2,4	37,7	41,5	48,1	52,0
ooghoogte, staand	(34)	265	169,6	6,4	149,6	159,2	179,2	191,8	89	158,5	6,2	131,0	150,4	167,3	170,3
ooghoogte, zittend	(35)	265	82,7	3,3	73,4	77,9	88,1	92,8	89	77,5	3,4	65,5	72,3	82,3	84,9
reikdiepte gripas	(37)	265	76,2	4,1	65,5	69,3	82,5	90,0	89	69,4	3,4	60,4	63,8	76,1	78,6
reikhoogte staand	(38)	265	219,3	9,1	196,3	204,2	232,9	257,5	89	203,5	8,1	170,7	191,8	214,9	220,6
schouder-ellebooglengte	(39)	152	39,2	1,8	34,5	35,9	42,4	43,1	50	36,0	1,7	30,8	33,8	39,1	39,6
schouderhoogte, staand	(42)	263	150,0	6,2	135,0	140,4	159,8	174,9	89	139,9	6,3	114,9	131,8	148,7	150,7
vuisthoogte, staand	(43)	265	79,5	3,9	69,3	74,0	86,1	95,0	89	76,1	3,8	62,6	70,6	82,2	84,3
wijsvingerlengte	(44)	265	7,6	0,5	6,1	6,8	8,2	9,2	89	7,0	0,4	6,2	6,4	7,8	7,9
overige maten															
huidplooi biceps	(23)	79	0,5	0,2	0,3	0,3	0,8	1,4	27	0,9	0,4	0,4	0,5	1,7	1,8
huidplooi iliocristale	(24)	79	1,3	0,7	0,5	0,6	2,8	3,7	27	1,7	0,6	0,8	0,9	3,0	3,2
huidplooi subscapula	(25)	79	1,1	0,6	0,7	0,7	1,8	5,0	27	1,3	0,3	0,8	0,8	1,9	2,0
huidplooi triceps	(26)	79	0,9	0,4	0,4	0,5	1,7	2,3	27	1,7	0,5	0,9	1,0	2,6	3,1
knijpkracht hand [10 N]	(29)	265	54,0	8,0	34,0	42,0	68,0	76,0	89	37,0	6,0	20,0	28,0	47,0	50,0
lichaamsgewicht [kg]	(31)	265	71,9	8,1	50,5	60,5	87,4	107,4	89	62,4	8,7	37,2	50,3	79,0	87,7

9 DUTCHMIL '85

(statistische parameters van het DUTCHMIL '85 bestand (gemiddelde leeftijd is 23,4 jaar met een standaarddeviatie van 6,9 jaar)).

			Bereik		\bar{X}	SD	B1 (symm)	B2 (plek)
			min	max				
1	A1	Lichaamslengte (cm)	159.5	200.0	180.2	6.69	-0.03	-0.03
2	A2	7de Halswervel (cm)	136.0	173.0	154.7	6.18	-0.06	-0.12
3	A3	Taillehoogte (cm)	96.0	127.5	112.4	4.93	-0.04	-0.03
4	A4	Tussenbeenlengte (cm)	73.5	99.0	86.3	4.42	-0.01	-0.05
5	A5	Rughoogte (cm)	18.0	27.5	21.8	1.35	0.18	0.02
6	A6	Ruglengte (cm)	38.5	52.5	45.1	2.35	0.10	-0.34
7	A7	Armlengte a (cm)	56.0	74.5	65.4	3.04	-0.08	-0.04
8	A8	Armlengte b (cm)	41.0	57.5	49.7	2.60	-0.03	0.13
9	A9	Schouderbreedte (cm)	39.0	54.0	46.1	2.25	0.35	0.38
10	A10	Borstbreedte (cm)	30.5	56.0	38.8	2.82	0.56	1.57
11	A11	Rugbreedte (cm)	32.0	50.0	40.3	2.95	0.30	-0.07
12	A12	Halswijdte (cm)	34.0	46.5	38.2	1.84	0.56	0.68
13	A13	Bovenwijdte (cm)	82.5	124.5	96.9	6.02	0.75	1.02
14	A14	Taillewijdte (cm)	67.0	110.0	81.6	6.94	1.00	1.32
15	A15	Heupomvang (cm)	82.0	117.5	97.8	5.30	0.43	0.34
16	A16	Bovenarmomvang (cm)	26.5	43.0	32.1	2.49	0.56	0.66
17	A17	Bovenbeenomvang (cm)	48.0	74.0	58.1	4.29	0.44	0.19
18	B1	Hoofdbreedte (mm)	134.0	170.0	149.3	5.56	0.34	0.42
19	B2	Hoofdlengte (mm)	170.5	214.5	194.9	6.64	-0.09	0.12
20	B3	Hoofdomtrek (mm)	514.0	627.0	575.6	15.24	0.07	0.43
21	B4	Boog sagittaal (mm)	290.5	383.5	337.0	15.04	-0.01	0.02
22	B5	Boog transversaal (mm)	313.0	404.5	358.0	12.82	0.05	0.01
23	C1	Kin-hoofdband (mm)	126.0	175.0	149.5	7.64	0.07	-0.10
24	C2	Kin-neuswortel (mm)	103.0	145.0	121.3	6.39	0.15	-0.06
25	C3	Kin-mondspleet (mm)	38.5	65.5	50.2	4.14	0.26	-0.03
26	C4	Gelaatsbreedte (mm)	21.0	156.5	136.8	5.32	0.24	0.24
27	C5	Voorhoofdsbreedte (mm)	93.5	123.0	107.1	4.72	0.15	-0.06
28	C6	Lipbreedte (mm)	38.0	59.0	48.3	3.29	0.15	-0.06
29	C7	Neuspunt-jukbeen (mm)	98.5	128.5	113.4	4.59	0.02	0.12
30	C8	Pupilafstand (mm)	55.0	74.0	63.8	2.90	0.04	0.10
31	D1	Handlengte (mm)	172.0	237.0	203.5	9.60	0.08	0.12
32	D2	Handpalm lengte (mm)	101.5	139.5	120.7	5.80	0.01	0.14
33	D3	Handbreedte (mm)	70.5	103.5	89.6	4.38	-0.09	0.15
34	E1	Ooghoogte staand (cm)	148.0	188.0	168.3	6.48	-0.01	-0.06
35	E2	Ooghoogte zittend (cm)	69.2	92.7	81.8	3.08	-0.05	0.18
36	E4	Elleboog-zitvlak (cm)	18.0	33.5	24.7	2.32	0.15	-0.08
37	E5	Zittinghoogte (cm)	35.7	52.2	44.5	2.45	0.08	0.02
38	E6	Zitdiepte (cm)	43.5	59.0	51.0	2.52	0.04	-0.01
39	E7	Bil-kniediepte (cm)	54.7	71.2	62.9	2.74	-0.06	-0.14
40	E8	Gewicht (kg)	54.0	116.0	76.1	9.53	0.62	0.72

10 Gewrichtsexcursies

(comparison of mean, 5th, and 95th Percentile Design Data for Females (Staff) and Males (Houy, 1982) in Angular Degrees).

JOINT	MOVEMENT	5th PERCENTILE		MEAN		95th PERCENTILE	
		FEMALE	MALE	FEMALE	MALE	FEMALE	MALE
Neck	Ventral Flexion	34.0	25.0	51.5	43.0	69.0	60.0
	Dorsal Flexion	47.5	38.0	70.5	56.5	93.5	74.0
	Right Rotation	67.0	56.0	81.0	74.0	95.0	85.0
	Left Rotation	64.0	67.5	77.0	77.0	90.0	85.0
Shoulder	Flexion	169.5	161.0	184.5	178.0	199.5	193.5
	Extension	47.0	41.5	66.0	57.5	85.0	76.0
	Adduction	37.5	36.0	52.5	50.5	67.5	63.0
	Abduction	106.0	106.0	122.5	123.5	139.0	140.0
	Medial Rotation	94.0	68.5	110.5	95.0	127.0	114.0
	Lateral Rotation	19.5	16.0	37.0	31.5	54.5	46.0
Elbow	Flexion	135.5	122.5	148.0	138.0	160.5	150.0
Forearm	Supination	87.0	86.0	108.5	107.5	130.0	135.0
	Pronation	63.0	42.5	81.0	65.0	99.0	86.5
Wrist	Extension	56.5	47.0	72.0	62.0	87.5	76.0
	Flexion	53.5	50.5	71.5	67.5	89.5	85.0
	Adduction	16.5	14.0	26.5	22.0	36.5	30.0
	Abduction	19.0	22.0	28.0	30.5	37.0	40.0
Hip	Flexion	103.0	95.0	125.0	109.5	147.0	130.0
	Adduction	27.0	15.5	38.5	26.0	50.0	39.0
	Abduction	47.0	38.0	66.0	59.0	85.0	81.0
	Medial Rotation (Prone)	30.5	30.0	44.5	46.0	58.5	62.5
Lateral Rotation (Prone)	29.0	21.5	45.5	33.0	62.0	46.0	

11 Bronnentabel

(Molenbroek, 1995)

auteur	tabel	aantal populatie	aantal m+v	aantal m	aantal v	aantal variabelen	meefjaar	publicatie jaar	leeftijd	populatie	modelnaam	origineel	soort
sittig	1	1	5001	0	5001	15	1947	1951	18-82	nl	de juiste maat	ja	a
de wijn	2	1	16910	8798	8112	2	1952-60	1960	0-24	nl	groeionderzoek_1	ja	a
van wieringen	3	1	65410	37306	28104	2	1964-66	1972	0-24	nl	groeionderzoek_2	ja	a
roede	4	1	41870	21580	20290	3	1980	1985	0-20	nl	groeionderzoek_3	ja	a
diffriant	5	1	m+v			500		1974	0-100	usa	humanscales	geschat	d
snyder	6	1	4000	2000	2000	41	1972-74	1975	0-13	usa	snyder_1	ja	a
snyder	7	1	4127	2092	2035	87	1974-76	1977	0-20	usa	snyder_2	ja	a
churchill	8	90	111000	92000	19000	295	1940-74	1978	18-78	global	Anthropometric Source Book	verzameling	b
roede	9	1	467	232	254	15	1971-76	1979	4-14	nl	Nijmegenonderzoek	ja	a
haslegrave	10	1	2000	1584	416	16	1976	1979	17-70	uk	MIRA	ja	a
juergens	11	1	7000	3500	3500	59	1968-74	1981	3-65	fig	DIN	ja	a
molenbroek	12	1	822	197	625	30	1982	1983	55-106	nl	GDVV	ja	a
lange	13	1	m+v			43		1981		fig	KED	DIN	a
appelboom	14	1	7000	3500	3500	3	1981 e.v.	1983 e.v.	> 2,5	nl	cbs-GE	enquete	c
brekelmans	16	1	1010	1010		40	1985	1986	17-25	nl	Dutchmil'85	ja	a
molenbroek	17	1	m+v			27		1986	0-106	nl	DINED	geschat	d
de rijke	18	1	m+v			56		1985	4-14	nl	Kinderen en hun maaltjes	geschat	d
molenbroek	19	1	354	265	89	47	1985-86	1987	18-35	nl	DELSTU	ja	a
ter hark	20	1	350	184	166	20	1981	1986	4-14	nl	DELKI	ja	a
pheasant	21	1	m+v			22		1982	> 20	usa+bg		geschat	d
koopmans	22	1	m+v			27		1987	0-4	nl	baby's en peuters	geschat	d
cbs	23	1	105000	105000		3	elk jaar	elk jaar	18	nl	cbs-GE	ja	a
gerver	24	1	2555	1246	1105	14	1979-80	1988	0-18	nl	Oostenwolde	ja	a
steenbekkers	25	1	629	330	299	23-3	1988	1989	0-3,5	nl	KIMA-1	ja	a
biomech corp	26	24	m+v			264		1989	> 20	global	ERCOBASE	verzameling	b
juergens	27	20	m+v			19		1989	> 20	global	Intern. Antr. Dater Atlas ILO	verzameling	b
coblentz	28	50	4000000			700		1990	> 0	global	ERGODATA on-line database	verzameling	b
steenbekkers	29	1	2400	1200	1200	32	1990-91	1992	2-12	nl	KIMA-2	ja	a

a = eigen fysieke metingen b = bewerkingen van onderzoek van anderen c = metingen door middel van enquêtes d = schattingen

12 Traagheidsmomenten

(traagheidsmomenten rond de massamiddelpunten van lichaamssegmenten in gram x cm² x 10⁶ (Dempster, 1955)).

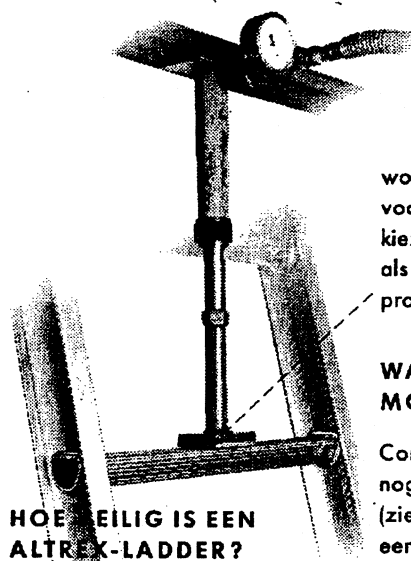
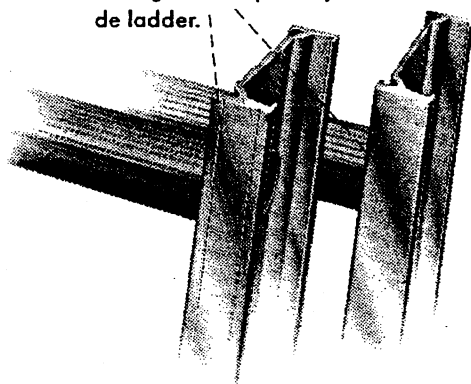
Cada- ver Number	Entire Upper Extremity		Arm		Forearm and hand		Forearm		Hand		Entire Lower Extremity		Thigh	
	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left
14815	0.90	1.10	0.190	0.122	0.220	0.187	0.058	0.059	0.007	0.005	4.60	4.90	0.21	0.26
15059	.78	.78	.130	.116	.137	---	.041	.051	.005	.004	6.70	5.70	.70	.64
15062	.99	.96	.102	.115	.180	.155	.055	.043	.004	.005	5.67	6.05	.76	.82
15095	.58	.79	.062	.079	.128	.128	.039	.035	.003	.005	5.20	4.60	.69	.65
15097	1.10	.98	.220	.222	.298	.287	.072	.055	.011	.009	9.20	9.10	1.27	1.14
15168	1.40	1.42	.145	.191	.197	.188	.061	.072	.003	.002	8.60	10.00	3.12	3.20
15250	1.57	1.35	.166	.155	.232	.218	.068	.074	.004	.003	9.50	9.80	1.44	1.22
15251	0.91	1.02	.122	.112	.152	.146	.054	.050	.003	.003	5.20	5.60	0.61	0.61

Cada- ver Number	Leg and Foot		Leg		Foot		Trunk Minus Limbs		Trunk Minus Shoulders		Shoulders		Head and Neck		Abdomino- pelvic Region	
	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left
14815	0.81	0.82	0.307	0.321	0.018	0.021	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
15059	.85	.73	.340	.330	.025	.025	14.0	15.5	0.378	0.355	0.22	0.45	---	---	---	---
15062	.86	.55	.298	.308	.028	.029	15.9	23.7	.324	.500	---	---	---	---	---	---
15095	.75	.73	.275	.260	.013	.026	13.0	13.4	.421	.417	---	---	---	---	---	---
15097	1.65	1.56	.620	.650	.040	.037	21.0	22.1	.700	.800	.31	1.19	3.24	3.24	---	---
15168	1.64	1.66	.620	.560	.038	.043	23.1	24.3	.800	.520	.23	2.18	9.70	9.70	---	---
15250	1.40	1.29	.620	.560	.035	.035	16.4	14.9	.425	.425	.32	0.96	2.44	2.44	---	---
15251	0.96	0.94	.360	.340	.032	.033	14.0	14.9	.420	.480	.39	0.99	1.96	1.96	---	---

13 Produktveiligheid

WIE ONLANGS EEN D.H.Z.-LADDER HEEFT GEKOCHT, MOET DIT BESLIST LEZEN.

Wanneer u onlangs een Altrex doe-het-zelf-ladder type PO-2060 (art. nr. 106012), PR-2060 (art. nr. 105212) of een Exc. 2x12 (art. nr. 106512) hebt gekocht, moet u het volgende even controleren. Tijdens diverse testen is namelijk gebleken dat een aantal ladders uit deze series zes procent onder de test belasting geproduceerd is. Gelet op de veiligheidsmaatstaf die Altrex hanteert, geeft Altrex u alsnog de mogelijkheid om uw ladder kosteloos om te ruilen. De types waarom het gaat, herkent u aan het **niet aanwezig** zijn van de twee groeven op de zijkant van de ladder.



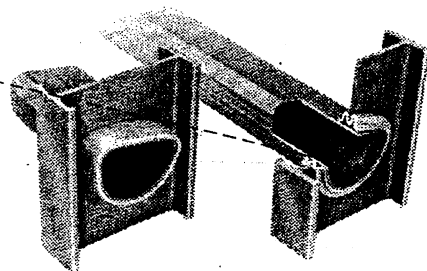
HOE VEILIG IS EEN ALTRIX-LADDER?

Als een van Europa's grootste leveranciers van klimmaterialen besteedt Altrex de uiterste zorg aan de veiligheid van al zijn produkten. De ladders en trappen van Altrex behoren dan ook tot de veiligste ter wereld. Iedere Altrex-ladder is uitgevoerd met de unieke D-sport. Het grote voordeel van deze constructie is de speciale, **gepatenteerde pers-ring***. Deze wordt op dusdanige wijze samengeperst dat de sport gegarandeerd vastgeklemd zit. Het technische voordeel hiervan is dat de sport niet vervormd hoeft te

worden. Daardoor kan Altrex voor een ijzersterke legering kiezen. Altrex stelt dan ook als **testbelasting** voor al zijn produkten **minimaal 350 kg.**

WAT U WEL EN NIET MOET DOEN.

Controleer voor de zekerheid nog eens het ladderprofiel. (zie ill.) Bent u in het bezit van een ladder type PO-2060, PR-2060 of Exc. 2x12 zonder groeven aan de zijkant? Neem dan contact op met Altrex. Ga niet naar uw dealer of verkoper! U kunt alleen via Altrex omruilen. U kunt ons gratis bellen. **06-099 44 11** Altrex zorgt er dan voor dat uw ladder op korte termijn kosteloos wordt omgeruild.



Waarschuwing aan de bezitters van het Piazza espresso-apparaat.

Bij een recente test is geconstateerd dat er aan het Piazza espresso-apparaat (codenr. 295) een onvolkomenheid zit.

Het gebrek doet zich alleen voor bij het niet opvolgen van de gebruiksaanwijzing. Wij hebben van onze klanten dan ook geen klachten gehoord.

Toch hebben wij om veiligheidsredenen besloten onze maatregelen te treffen.

Op de onderstaande tekening ziet u waar het om gaat. Het rubberringetje op de plaats waar het waterslangetje in de zwarte behuizing gaat (1), is nogal ruim.*

Als u het rode waterservoir in strijd met de gebruiksaanwijzing vult - dus als u het niet afneemt - kan er water via de slang in de machine lopen en kortsluiting veroorzaken.

Hetzelfde kan gebeuren via de opening voor het bevestigingshaakje (2).

Een en ander is gelukkig vrij eenvoudig zelf te verhelpen. Daarom verzoeken wij de bezitters van dit apparaat één van de volgende mogelijkheden te kiezen:

① Contact opnemen met onze afdeling Geschenkservice, Antwoordnummer 91, 3500 VB Utrecht (tel.: 030-978026). Wij sturen u dan desgewenst een gratis setje onderdelen met duidelijke instructie.

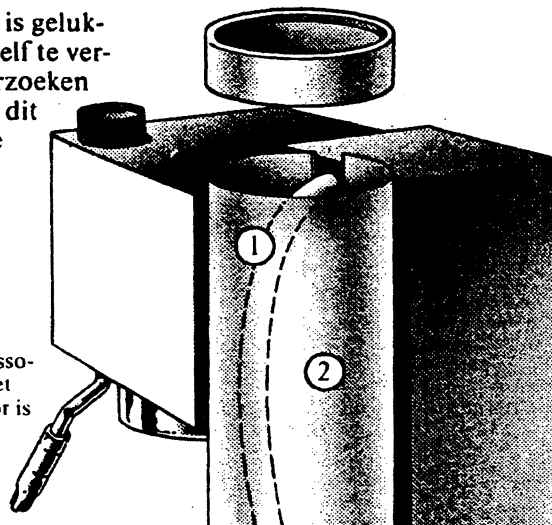
② Naar een van onze Geschenkenwinkels gaan. Daar kan uw apparaat direct gratis worden aangepast.

③ Het apparaat ongefrankeerd opsturen naar: Douwe Egberts Nederland B.V., Afd. Geschenkservice, Antwoordnummer 91, 3500 VB Utrecht. Dan wordt het gebrek daar verholpen en krijgt u het apparaat weer gratis thuisgestuurd.

Mocht u nog vragen hebben, neemt u dan contact op met onze afdeling Geschenkservice, tel.: 030-978026.



Douwe Egberts Nederland B.V.



* Er zijn ook Piazza espresso-apparaten in omloop met twee slangetjes; hiervoor is een passend onderdeel beschikbaar.

In principe slaat de advertentie nergens op', reageert een medewerker van Boxford Holland in Zwolle. 'Met onze ventilatoren is niets aan de hand.' Het bedrijf plaatste maandag een advertentie in enkele dagbladen onder de vette kop 'WAARSCHUWING'. In de tekst wordt 'in overleg met de Keuringsdienst van Waren' gewaarschuwd dat te laag gemonteerde plafondventilatoren lichamelijk letsel kunnen veroorzaken. 'Zorg er daarom altijd voor dat de ventilatorbladen ten minste 2,30 meter boven het

Ventilatorbezitter moet oppassen voor het hoofd

vloeroppervlak hangen.' Volgens de Warenwet — in EG-verband opgesteld — moet deze waarschuwing in de montagehandleiding van de ventilator staan, en bovendien op de verpakking staan. Dat laatste had de firma Boxford even over het hoofd gezien. Ze mocht kiezen: of de partij afstaan aan de keurmeesters, of een dure advertentie plaatsen.

Weinig ventilatorbezitters begrepen de zin van de waarschuwingstekst. Een vermoede medewerker had maandagmiddag al enkele tientallen verontrusten te woord gestaan. 'Ze vragen zich af wat er mis is met die dingen, maar er is helemaal niets mis. Zolang je 'm maar hoger dan twee meter dertig monteert.'

Een eenvoudig stickertje op de verpakking moet toekomstige advertenties voorkomen. (Theo Stielstra).

Waarschuwing

Heeft u een **plafondventilator** in uw bezit van het merk **S.M.C.**, **typenummer KN48WH of KN48BK**, beide met 3 bladen en een 5-snelhedenregelaar? Dan willen wij u, in overleg met de Keuringsdienst van Waren, nadrukkelijk wijzen op mogelijk gevaar voor lichamelijk letsel. Zorg er daarom altijd voor dat de plafondventilatorbladen ten minste 2,30 m boven het vloeroppervlak hangen.

Twijfelt u over de manier van installeren of het gebruik? Neem dan direct contact op met onze technische dienst.

Boxford Holland B.V., Punterweg 10, 8000 AG Zwolle.
Tel: 038-230350, Fax: 038-230360.

ADVERTENTIE

Vaders en moeders, is uw kinderstoel nog steeds veilig?

Op verschillende houten kubusstoelen (u weet wel: waar je ook een tafeltje en stoeltje van kunt maken) zijn kunststof noppen bevestigd die voorkomen dat het zitgedeelte kantelt en losraakt van het onderstel.

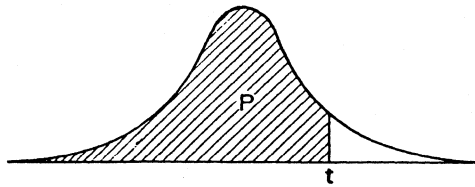
Controleer van tijd tot tijd of deze noppen nog steeds aanwezig zijn en goed vastzitten. Alleen dan is uw stoel een veilige zitplaats voor uw baby. Mist u noppen of twijfelt u?

Bezoek dan één van de Prénatal vestigingen. (Er is er altijd wel een in de buurt.) Ook als u de stoel niet bij ons hebt gekocht.

PRÉNATAL

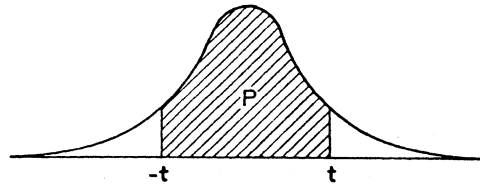
STUDENT'S T-VERDELING

Kritieke waarden



Eenzijdig

$$P = P(t_{11} < 2.72) = 0.99$$



Tweezijdig

$$P = P(-2.72 < t_{11} < 2.72) = 0.98$$

	P							
Eenzijdig	0.90	0.95	0.975	0.99	0.995	0.9975	0.999	0.9995
Tweezijdig	0.80	0.90	0.95	0.98	0.99	0.995	0.998	0.999
$\nu = 1$	3.08	6.31	12.71	31.82	63.67	127.32	318.31	636.61
2	1.89	2.92	4.30	6.96	9.92	14.09	22.33	31.60
3	1.64	2.35	3.18	4.54	5.84	7.45	10.21	12.92
4	1.53	2.13	2.78	3.75	4.60	5.60	7.17	8.61
5	1.48	2.02	2.57	3.37	4.03	4.77	5.89	6.87
6	1.44	1.94	2.45	3.14	3.71	4.32	5.21	5.96
7	1.41	1.89	2.36	3.00	3.50	4.03	4.79	5.41
8	1.40	1.86	2.31	2.90	3.36	3.83	4.50	5.04
9	1.38	1.83	2.26	2.82	3.25	3.69	4.30	4.78
10	1.37	1.81	2.23	2.76	3.17	3.58	4.14	4.59
11	1.36	1.80	2.20	2.72	3.11	3.50	4.02	4.44
12	1.36	1.78	2.18	2.68	3.05	3.43	3.93	4.32
13	1.35	1.77	2.16	2.65	3.01	3.37	3.85	4.22
14	1.34	1.76	2.14	2.62	2.98	3.33	3.79	4.14
15	1.34	1.75	2.13	2.60	2.95	3.29	3.73	4.07
16		1.75	2.12	2.58	2.92			
18		1.73	2.10	2.55	2.88			
20	1.33	1.72	2.09	2.53	2.85	3.15	3.55	3.85
24		1.71	2.06	2.49	2.81			
25	1.32	1.71	2.06	2.49	2.79	3.08	3.45	3.73
28		1.70	2.05	2.47	2.78			
30	1.31	1.70	2.04	2.46	2.75	3.03	3.39	3.65
40	1.30	1.68	2.02	2.42	2.70	2.97	3.31	3.55
50	1.30	1.68	2.01	2.40	2.68	2.94	3.26	3.50
100	1.29	1.66	1.98	2.36	2.63	2.87	3.17	3.39
120		1.66	1.98	2.36	2.62			
200	1.29	1.65	1.97	2.35	2.60	2.84	3.13	3.34
∞	1.28	1.64	1.96	2.33	2.58	2.81	3.09	3.29

VERDELING VAN DE STEEKPROEF-CORRELATIECOEFFICIËNT r , INDIEN $\rho = 0$

Kritieke waarden

Steekproef grootte $n = 11$

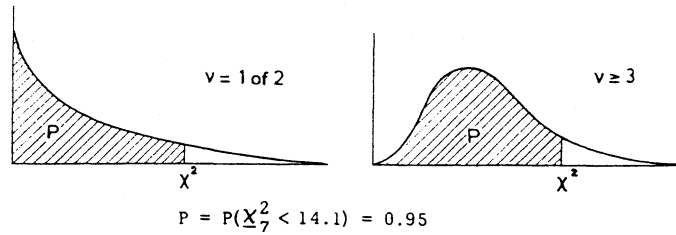
Eenzijdig $P(r < 0.602 \mid \rho = 0) = 0.975$

Tweezijdig $P(-0.602 < r < 0.602 \mid \rho = 0) = 0.95$

eenzijdig tweezijdig	P				
	0.95	0.975	0.99	0.995	0.9995
$n = 3$	0.988	0.997	1.000	1.000	1.000
4	0.900	0.950	0.980	0.990	0.999
5	0.805	0.878	0.934	0.959	0.991
6	0.729	0.811	0.882	0.917	0.974
7	0.669	0.754	0.883	0.874	0.951
8	0.662	0.707	0.789	0.834	0.925
9	0.582	0.666	0.750	0.798	0.898
10	0.549	0.632	0.716	0.765	0.872
11	0.521	0.602	0.685	0.735	0.847
12	0.497	0.576	0.658	0.708	0.823
13	0.476	0.553	0.634	0.684	0.801
14	0.458	0.532	0.612	0.661	0.780
15	0.441	0.514	0.592	0.641	0.760
16	0.426	0.497	0.574	0.623	0.742
17	0.412	0.482	0.558	0.606	0.725
18	0.400	0.468	0.542	0.590	0.708
19	0.389	0.456	0.528	0.575	0.693
20	0.378	0.444	0.516	0.561	0.679
21	0.369	0.433	0.503	0.549	0.665
22	0.360	0.423	0.492	0.537	0.652
23	0.352	0.413	0.482	0.526	0.640
24	0.344	0.404	0.472	0.515	0.629
25	0.336	0.396	0.462	0.505	0.618
30	0.306	0.361	0.423	0.463	0.568
35	0.283	0.334	0.392	0.430	0.533
40	0.264	0.312	0.366	0.403	0.501
45	0.248	0.294	0.346	0.380	0.475
50	0.235	0.278	0.328	0.361	0.452
60	0.214	0.254	0.300	0.330	0.415
70	0.198	0.235	0.278	0.306	0.386
80	0.185	0.220	0.260	0.286	0.362
90	0.174	0.207	0.250	0.270	0.342
100	0.165	0.197	0.232	0.256	0.325

χ^2 VERDELING

Kritieke waarden



ν	P														ν
	.005	.01	.025	.05	.10	.25	.50	.75	.90	.95	.975	.99	.995	.999	
1	-	-	.001	.004	.016	.102	.455	1.32	2.71	3.84	5.02	6.63	7.88	10.8	1
2	.010	.020	.051	.103	.211	.575	1.39	2.77	4.61	5.99	7.38	9.21	10.6	13.8	2
3	.072	.115	.216	.352	.584	1.21	2.37	4.11	6.25	7.81	9.35	11.3	12.8	16.3	3
4	.207	.297	.484	.711	1.06	1.92	3.36	5.39	7.78	9.49	11.1	13.3	14.9	18.5	4
5	.412	.554	.831	1.15	1.61	2.67	4.35	6.63	9.24	11.1	12.8	15.1	16.7	20.5	5
6	.676	.872	1.24	1.64	2.20	3.45	5.35	7.84	10.6	12.6	14.4	16.8	18.5	22.5	6
7	.989	1.24	1.69	2.17	2.83	4.25	6.35	9.04	12.0	14.1	16.0	18.5	20.3	24.3	7
8	1.34	1.65	2.18	2.73	3.49	5.07	7.34	10.2	13.4	15.5	17.5	20.1	22.0	26.1	8
9	1.73	2.09	2.70	3.33	4.17	5.90	8.34	11.4	14.7	16.9	19.0	21.7	23.6	27.9	9
10	2.16	2.56	3.25	3.94	4.87	6.74	9.34	12.5	16.0	18.3	20.5	23.2	25.2	29.6	10
11	2.60	3.05	3.82	4.57	5.58	7.58	10.3	13.7	17.3	19.7	21.9	24.7	26.8	31.3	11
12	3.07	3.57	4.40	5.23	6.30	8.44	11.3	14.8	18.5	21.0	23.3	26.2	28.3	32.9	12
13	3.57	4.11	5.01	5.89	7.04	9.30	12.3	16.0	19.8	22.4	24.7	27.7	29.8	34.5	13
14	4.07	4.66	5.63	6.57	7.79	10.2	13.3	17.1	21.1	23.7	26.1	29.1	31.3	36.1	14
15	4.60	5.23	6.26	7.26	8.55	11.0	14.3	18.2	22.3	25.0	27.5	30.6	32.8	37.7	15
16	5.14	5.81	6.91	7.96	9.31	11.9	15.3	19.4	23.5	26.3	28.8	32.0	34.3	39.3	16
17	5.70	6.41	7.56	8.67	10.1	12.8	16.3	20.5	24.8	27.6	30.2	33.4	35.7	40.8	17
18	6.26	7.01	8.23	9.39	10.9	13.7	17.3	21.6	26.0	28.9	31.5	34.8	37.2	42.3	18
19	6.84	7.63	8.91	10.1	11.7	14.6	18.3	22.7	27.2	30.1	32.9	36.2	38.6	43.8	19
20	7.43	8.26	9.59	10.9	12.4	15.5	19.3	23.8	28.4	31.4	34.2	37.6	40.0	45.3	20
21	8.03	8.90	10.3	11.6	13.2	16.3	20.3	24.9	29.6	32.7	35.5	38.9	41.4	46.8	21
22	8.64	9.54	11.0	12.3	14.0	17.2	21.3	26.0	30.8	33.9	36.8	40.3	42.8	48.3	22
23	9.26	10.2	11.7	13.1	14.8	18.1	22.3	27.1	32.0	35.2	38.1	41.6	44.2	49.7	23
24	9.89	10.9	12.4	13.8	15.7	19.0	23.3	28.2	33.2	36.4	39.4	43.0	45.6	51.2	24
25	10.5	11.5	13.1	14.6	16.5	19.9	24.3	29.3	34.4	37.7	40.6	44.3	46.9	52.6	25
26	11.2	12.2	13.8	15.4	17.3	20.8	25.3	30.4	35.6	38.9	41.9	45.6	48.3	54.1	26
27	11.8	12.9	14.6	16.2	18.1	21.7	26.3	31.5	36.7	40.1	43.2	47.0	49.6	55.5	27
28	12.5	13.6	15.3	16.9	18.9	22.7	27.3	32.6	37.9	41.3	44.5	48.3	51.0	56.9	28
29	13.1	14.3	16.0	17.7	19.8	23.6	28.3	33.7	39.1	42.6	45.7	49.6	52.3	58.3	29
30	13.8	15.0	16.8	18.5	20.6	24.5	29.3	34.8	40.3	43.8	47.0	50.9	53.7	59.7	30
	-2.58	-2.33	-1.96	-1.64	-1.28	-0.67	0.00	+0.67	+1.28	+1.64	+1.96	+2.33	+2.58	+3.09	u

F VERDELING

Kritieke waarden $\alpha = 0.05$

$$P(F_{10}^7 < 3.14) = 0.95$$

	Vrijheidsgraden van de teller																		∞
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	249	250	251	252	253	254
2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
3	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.75	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.37
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.11	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.73	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.60	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.50	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
13	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.34	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.28	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.23	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.18	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.14	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.02	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.00	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.88	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.78	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.69	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.60	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.51	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

Vrijheidsgraden van de noemer

F VERDELING
Kritieke waarden $\alpha = 0.025$

$P(F_{10}^2 < 3.95) = 0.975$

		Vrijheidsgraden van de teller																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞	
Vrijheidsgraden van de noemer	1	648	800	864	900	922	937	948	957	963	969	977	985	993	997	1,001	1,006	1,010	1,014	1,018	
	2	38.5	39.0	39.2	39.2	39.3	39.3	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5
3	17.4	16.0	15.4	15.1	14.9	14.7	14.6	14.5	14.5	14.5	14.4	14.3	14.3	14.2	14.1	14.1	14.0	14.0	13.9	13.9	
4	12.2	10.6	9.98	9.60	9.36	9.20	9.07	8.98	8.90	8.84	8.75	8.66	8.56	8.56	8.51	8.46	8.41	8.36	8.31	8.26	
5	10.0	8.43	7.76	7.39	7.15	6.98	6.85	6.76	6.68	6.62	6.52	6.43	6.33	6.33	6.28	6.23	6.18	6.12	6.07	6.02	
6	8.81	7.26	6.60	6.23	5.99	5.82	5.70	5.60	5.52	5.46	5.37	5.27	5.17	5.17	5.12	5.07	5.01	4.96	4.90	4.85	
7	8.07	6.54	5.89	5.52	5.29	5.12	4.99	4.90	4.82	4.76	4.67	4.57	4.47	4.47	4.42	4.36	4.31	4.25	4.20	4.14	
8	7.57	6.06	5.42	5.05	4.82	4.65	4.53	4.43	4.36	4.30	4.20	4.10	4.00	4.00	3.95	3.89	3.84	3.78	3.73	3.67	
9	7.21	5.71	5.08	4.72	4.48	4.32	4.20	4.10	4.03	3.96	3.87	3.77	3.67	3.67	3.61	3.56	3.51	3.45	3.39	3.33	
10	6.94	5.46	4.83	4.47	4.24	4.07	3.95	3.85	3.78	3.72	3.62	3.52	3.42	3.42	3.37	3.31	3.26	3.20	3.14	3.08	
11	6.72	5.26	4.63	4.28	4.04	3.88	3.76	3.66	3.59	3.53	3.43	3.33	3.23	3.23	3.17	3.12	3.06	3.00	2.94	2.88	
12	6.55	5.10	4.47	4.12	3.89	3.73	3.61	3.51	3.44	3.37	3.28	3.18	3.07	3.07	3.02	2.96	2.91	2.85	2.79	2.72	
13	6.41	4.97	4.35	4.00	3.77	3.60	3.48	3.39	3.31	3.25	3.15	3.05	2.95	2.95	2.89	2.84	2.78	2.72	2.66	2.60	
14	6.30	4.86	4.24	3.89	3.66	3.50	3.38	3.29	3.21	3.15	3.05	2.95	2.84	2.84	2.79	2.73	2.67	2.61	2.55	2.49	
15	6.20	4.77	4.15	3.80	3.58	3.41	3.29	3.20	3.12	3.06	2.96	2.86	2.76	2.76	2.70	2.64	2.59	2.52	2.46	2.40	
16	6.12	4.69	4.08	3.73	3.50	3.34	3.22	3.12	3.05	2.99	2.89	2.79	2.68	2.68	2.63	2.57	2.51	2.45	2.38	2.32	
17	6.04	4.62	4.01	3.66	3.44	3.28	3.16	3.06	2.98	2.92	2.82	2.72	2.62	2.62	2.56	2.50	2.44	2.38	2.32	2.25	
18	5.98	4.56	3.95	3.61	3.38	3.22	3.10	3.01	2.93	2.87	2.77	2.67	2.56	2.56	2.50	2.44	2.38	2.32	2.26	2.19	
19	5.92	4.51	3.90	3.56	3.33	3.17	3.05	2.96	2.88	2.82	2.72	2.62	2.51	2.51	2.45	2.39	2.33	2.27	2.20	2.13	
20	5.87	4.46	3.86	3.51	3.29	3.13	3.01	2.91	2.84	2.77	2.68	2.57	2.46	2.46	2.41	2.35	2.29	2.22	2.16	2.09	
21	5.83	4.42	3.82	3.48	3.25	3.09	2.97	2.87	2.80	2.73	2.64	2.53	2.42	2.42	2.37	2.31	2.25	2.18	2.11	2.04	
22	5.79	4.38	3.78	3.44	3.22	3.05	2.93	2.84	2.76	2.70	2.60	2.50	2.39	2.39	2.33	2.27	2.21	2.14	2.08	2.00	
23	5.75	4.35	3.75	3.41	3.18	3.02	2.90	2.81	2.73	2.67	2.57	2.47	2.36	2.36	2.30	2.24	2.18	2.11	2.04	1.97	
24	5.72	4.32	3.72	3.38	3.15	2.99	2.87	2.78	2.70	2.64	2.54	2.44	2.33	2.33	2.27	2.21	2.15	2.08	2.01	1.94	
25	5.69	4.29	3.69	3.35	3.13	2.97	2.85	2.75	2.68	2.61	2.51	2.41	2.30	2.30	2.24	2.18	2.12	2.05	1.98	1.91	
30	5.57	4.18	3.59	3.25	3.03	2.87	2.75	2.65	2.57	2.51	2.41	2.31	2.20	2.20	2.14	2.07	2.01	1.94	1.87	1.79	
40	5.42	4.05	3.46	3.13	2.90	2.74	2.62	2.53	2.45	2.39	2.29	2.18	2.07	2.07	2.01	1.94	1.88	1.80	1.72	1.64	
60	5.29	3.93	3.34	3.01	2.79	2.63	2.51	2.41	2.33	2.27	2.17	2.06	1.94	1.94	1.88	1.82	1.74	1.67	1.58	1.48	
120	5.15	3.80	3.23	2.89	2.67	2.52	2.39	2.30	2.22	2.16	2.05	1.94	1.82	1.82	1.76	1.69	1.61	1.53	1.43	1.31	
∞	5.02	3.69	3.12	2.79	2.57	2.41	2.29	2.19	2.11	2.05	1.94	1.83	1.71	1.71	1.64	1.57	1.48	1.39	1.27	1.00	

F VERDELING

Kritieke waarden $\alpha = 0.01$

$P(F_{16} < 5.20) = 0.99$

		Vrijheidsgraden van de teller																		∞
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	
1	4052	5000	5403	5625	5764	5859	5928	5982	6023	6056	6106	6157	6209	6235	6261	6287	6313	6339	6366	
2	98.5	99.0	99.2	99.3	99.3	99.3	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	
3	34.1	30.8	29.5	28.7	28.2	27.9	27.7	27.5	27.3	27.2	27.1	26.9	26.7	26.6	26.5	26.4	26.3	26.2	26.1	
4	21.2	18.0	16.7	16.0	15.5	15.2	15.0	14.8	14.7	14.5	14.4	14.2	14.0	13.9	13.8	13.7	13.6	13.5	13.5	
5	16.3	13.3	12.1	11.4	11.0	10.7	10.5	10.3	10.2	10.1	9.89	9.72	9.55	9.45	9.38	9.29	9.20	9.11	9.02	
6	13.7	10.9	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.72	7.56	7.40	7.30	7.23	7.14	7.06	6.97	6.88	
7	12.2	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.47	6.31	6.16	6.06	5.99	5.91	5.82	5.74	5.65	
8	11.3	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.67	5.52	5.36	5.27	5.20	5.12	5.03	4.95	4.86	
9	10.6	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26	5.11	4.96	4.81	4.71	4.65	4.57	4.48	4.40	4.31	
10	10.0	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85	4.71	4.56	4.41	4.32	4.25	4.17	4.08	4.00	3.91	
11	9.65	7.27	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54	4.40	4.25	4.10	4.01	3.94	3.86	3.78	3.69	3.60	
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39	4.30	4.16	4.01	3.86	3.77	3.70	3.62	3.54	3.45	3.36	
13	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	3.96	3.82	3.66	3.58	3.51	3.43	3.34	3.25	3.17	
14	8.86	6.51	5.56	5.04	4.70	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.80	3.66	3.51	3.42	3.35	3.27	3.18	3.09	3.00	
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.67	3.52	3.37	3.28	3.21	3.13	3.05	2.96	2.87	
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.55	3.41	3.26	3.17	3.10	3.02	2.93	2.84	2.75	
17	8.40	6.11	5.19	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59	3.46	3.31	3.16	3.07	3.00	2.92	2.83	2.75	2.65	
18	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60	3.51	3.37	3.23	3.08	2.99	2.92	2.84	2.75	2.66	2.57	
19	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.30	3.15	3.00	2.91	2.84	2.76	2.67	2.58	2.49	
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46	3.37	3.23	3.09	2.94	2.85	2.78	2.69	2.61	2.52	2.42	
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40	3.31	3.17	3.03	2.88	2.79	2.72	2.64	2.55	2.46	2.36	
22	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26	3.12	2.98	2.83	2.74	2.67	2.58	2.50	2.40	2.31	
23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21	3.07	2.93	2.78	2.69	2.62	2.54	2.45	2.35	2.26	
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26	3.17	3.03	2.89	2.74	2.65	2.58	2.49	2.40	2.31	2.21	
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.86	3.63	3.46	3.32	3.22	3.13	2.99	2.85	2.70	2.61	2.53	2.45	2.36	2.27	2.17	
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07	2.98	2.84	2.70	2.55	2.46	2.39	2.30	2.21	2.11	2.01	
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.89	2.80	2.66	2.52	2.37	2.28	2.20	2.11	2.02	1.92	1.80	
60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72	2.63	2.50	2.35	2.20	2.10	2.03	1.94	1.84	1.73	1.60	
120	6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.95	2.79	2.66	2.56	2.47	2.34	2.19	2.03	1.94	1.86	1.76	1.66	1.53	1.38	
∞	6.63	4.61	3.78	3.32	3.02	2.80	2.64	2.51	2.41	2.32	2.18	2.04	1.88	1.78	1.70	1.59	1.47	1.32	1.00	

Vrijheidsgraden van de noemer

F VERDELING

Kritieke waarden $\alpha = 0.005$

$$P(F_{10}^2 < 6.30) = 0.995$$

	Vrijheidsgraden van de teller																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞		
1	16,211	20,000	21,615	22,500	23,056	23,437	23,715	23,925	24,091	24,224	24,426	24,630	24,836	24,940	25,044	25,148	25,253	25,359	25,465	16,211	
2	198	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	200	198	
3	55.6	49.8	47.5	46.2	45.4	44.8	44.4	44.1	43.9	43.7	43.4	43.1	42.8	42.6	42.5	42.3	42.1	42.0	41.8	55.6	
4	31.3	26.3	24.3	23.2	22.5	22.0	21.6	21.4	21.1	21.0	20.7	20.4	20.2	20.0	19.9	19.8	19.6	19.5	19.3	31.3	
5	22.8	18.3	16.5	15.6	14.9	14.5	14.2	14.0	13.8	13.6	13.4	13.1	12.9	12.8	12.7	12.5	12.4	12.3	12.1	22.8	
6	18.6	14.5	12.9	12.0	11.5	11.1	10.8	10.6	10.4	10.3	10.0	9.81	9.59	9.47	9.36	9.24	9.12	9.00	8.88	18.6	
7	16.2	12.4	10.9	10.1	9.52	9.16	8.89	8.68	8.51	8.38	8.18	7.97	7.75	7.65	7.53	7.42	7.31	7.19	7.08	16.2	
8	14.7	11.0	9.60	8.81	8.30	7.95	7.69	7.50	7.34	7.21	7.01	6.81	6.61	6.50	6.40	6.29	6.18	6.06	5.95	14.7	
9	13.6	10.1	8.72	7.96	7.47	7.13	6.88	6.69	6.54	6.42	6.23	6.03	5.83	5.73	5.62	5.52	5.41	5.30	5.19	13.6	
10	12.8	9.43	8.08	7.34	6.87	6.54	6.30	6.12	5.97	5.85	5.66	5.47	5.27	5.17	5.07	4.97	4.86	4.75	4.64	12.8	
11	12.2	8.91	7.60	6.88	6.42	6.10	5.86	5.68	5.54	5.42	5.24	5.05	4.86	4.76	4.65	4.55	4.44	4.34	4.23	12.2	
12	11.8	8.51	7.23	6.52	6.07	5.76	5.52	5.35	5.20	5.09	4.91	4.72	4.53	4.43	4.33	4.23	4.12	4.01	3.90	11.8	
13	11.4	8.19	6.93	6.23	5.79	5.48	5.25	5.08	4.94	4.82	4.64	4.46	4.27	4.17	4.07	3.97	3.87	3.76	3.65	11.4	
14	11.1	7.92	6.68	6.00	5.56	5.26	5.03	4.86	4.72	4.60	4.43	4.25	4.06	3.96	3.86	3.76	3.66	3.55	3.44	11.1	
15	10.8	7.70	6.48	5.80	5.37	5.07	4.85	4.67	4.54	4.42	4.25	4.07	3.88	3.79	3.69	3.58	3.48	3.37	3.26	10.8	
16	10.6	7.51	6.30	5.64	5.21	4.91	4.69	4.52	4.38	4.27	4.10	3.92	3.73	3.64	3.54	3.44	3.33	3.22	3.11	10.6	
17	10.4	7.35	6.16	5.50	5.07	4.78	4.56	4.39	4.25	4.14	3.97	3.79	3.61	3.51	3.41	3.31	3.21	3.10	2.98	10.4	
18	10.2	7.21	6.03	5.37	4.96	4.66	4.44	4.28	4.14	4.03	3.86	3.68	3.50	3.40	3.30	3.20	3.10	2.99	2.87	10.2	
19	10.1	7.09	5.92	5.27	4.85	4.56	4.34	4.18	4.04	3.93	3.76	3.59	3.40	3.31	3.21	3.11	3.00	2.89	2.78	10.1	
20	9.94	6.99	5.82	5.17	4.76	4.47	4.26	4.09	3.96	3.85	3.68	3.50	3.32	3.22	3.12	3.02	2.92	2.81	2.69	9.94	
21	9.83	6.89	5.73	5.09	4.68	4.39	4.18	4.01	3.88	3.77	3.60	3.43	3.24	3.15	3.05	2.95	2.84	2.73	2.61	9.83	
22	9.73	6.81	5.65	5.02	4.61	4.32	4.11	3.94	3.81	3.70	3.54	3.36	3.18	3.08	2.98	2.88	2.77	2.66	2.55	9.73	
23	9.63	6.73	5.58	4.95	4.54	4.26	4.05	3.88	3.75	3.64	3.47	3.30	3.12	3.02	2.92	2.82	2.71	2.60	2.48	9.63	
24	9.55	6.66	5.52	4.89	4.49	4.20	3.99	3.83	3.69	3.59	3.42	3.25	3.06	2.97	2.87	2.77	2.66	2.55	2.43	9.55	
25	9.48	6.60	5.46	4.84	4.43	4.15	3.94	3.78	3.64	3.54	3.37	3.20	3.01	2.92	2.82	2.72	2.61	2.50	2.38	9.48	
30	9.18	6.35	5.24	4.62	4.23	3.95	3.74	3.58	3.45	3.34	3.18	3.01	2.82	2.73	2.63	2.52	2.42	2.30	2.18	9.18	
40	8.83	6.07	4.98	4.37	3.99	3.71	3.51	3.35	3.22	3.12	2.95	2.78	2.60	2.50	2.40	2.30	2.18	2.06	1.93	8.83	
60	8.49	5.79	4.73	4.14	3.76	3.49	3.29	3.13	3.01	2.90	2.74	2.57	2.39	2.29	2.19	2.08	1.96	1.83	1.69	8.49	
120	8.18	5.54	4.50	3.92	3.55	3.28	3.09	2.93	2.81	2.71	2.54	2.37	2.19	2.09	1.98	1.87	1.75	1.61	1.43	8.18	
∞	7.88	5.30	4.28	3.72	3.35	3.09	2.90	2.74	2.62	2.52	2.36	2.19	2.00	1.90	1.79	1.67	1.53	1.36	1.00	7.88	

Vrijheidsgraden van de noemer

CUMULATIEVE BINOMIALE VERDELING

$$\sum_{x=0}^c \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}$$

n	c	p										1/6	1/3
		.05	.10	.15	.20	.25	.30	.35	.40	.45	.50		
2	0	.9025	.8100	.7225	.6400	.5625	.4900	.4225	.3600	.3025	.2500	.6944	.4444
	1	.9975	.9900	.9775	.9600	.9375	.9100	.8775	.8400	.7975	.7500	.9722	.8889
	2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
3	0	.8574	.7290	.6141	.5120	.4219	.3430	.2746	.2160	.1664	.1250	.5787	.2963
	1	.9928	.9720	.9392	.8960	.8438	.7840	.7182	.6480	.5748	.5000	.9259	.7407
	2	.9999	.9990	.9966	.9920	.9844	.9730	.9571	.9360	.9089	.8750	.9954	.9630
	3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
4	0	.8145	.6561	.5220	.4096	.3164	.2401	.1785	.1296	.0915	.0625	.4822	.1975
	1	.9860	.9477	.8905	.8192	.7383	.6517	.5630	.4752	.3910	.3125	.8681	.5926
	2	.9995	.9963	.9880	.9728	.9492	.9163	.8735	.8208	.7585	.6875	.9838	.8880
	3	1.000	.9999	.9995	.9984	.9961	.9919	.9850	.9744	.9590	.9375	.9992	.9877
	4		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
5	0	.7738	.5905	.4437	.3277	.2373	.1681	.1160	.0778	.0503	.0312	.4019	.1317
	1	.9774	.9185	.8352	.7373	.6328	.5282	.4284	.3370	.2562	.1875	.8038	.4609
	2	.9988	.9914	.9734	.9421	.8965	.8369	.7648	.6826	.5931	.5000	.9645	.7901
	3	1.000	.9995	.9978	.9933	.9844	.9692	.9460	.9130	.8688	.8125	.9967	.9547
	4		.9999	.9999	.9997	.9990	.9976	.9948	.9898	.9816	.9688	.9999	.9959
	5		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
6	0	.7351	.5314	.3771	.2621	.1780	.1176	.0754	.0467	.0277	.0156	.3349	.0878
	1	.9672	.8857	.7765	.6554	.5339	.4202	.3191	.2333	.1636	.1094	.7368	.3512
	2	.9978	.9842	.9527	.9011	.8306	.7443	.6471	.5443	.4415	.3438	.9377	.6804
	3	.9999	.9987	.9941	.9830	.9624	.9295	.8726	.8208	.7447	.6562	.9913	.8999
	4	1.000	.9999	.9996	.9984	.9954	.9891	.9777	.9590	.9308	.8906	.9993	.9822
	5		1.000	1.000	.9999	.9998	.9993	.9982	.9959	.9917	.9844	1.000	.9986
	6			1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000
7	0	.6983	.4783	.3206	.2097	.1335	.0824	.0490	.0280	.0152	.0078	.2791	.0585
	1	.9556	.8503	.7166	.5767	.4450	.3294	.2338	.1586	.1024	.0625	.6698	.2634
	2	.9962	.9743	.9262	.8520	.7564	.6471	.5323	.4199	.3164	.2266	.9042	.5706
	3	.9998	.9973	.9879	.9667	.9294	.8740	.8002	.7102	.6083	.5000	.9824	.8267
	4	1.000	.9998	.9988	.9953	.9871	.9712	.9444	.9037	.8471	.7734	.9980	.9547
	5		1.000	.9999	.9996	.9987	.9962	.9910	.9812	.9643	.9375	.9999	.9931
	6			1.000	1.000	.9999	.9998	.9994	.9984	.9963	.9922	1.000	.9995
	7				1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000
8	0	.6634	.4305	.2725	.1678	.1001	.0576	.0319	.0168	.0084	.0039	.2326	.0391
	1	.9428	.8131	.6572	.5033	.3671	.2553	.1691	.1064	.0632	.0352	.6047	.1951
	2	.9942	.9619	.8948	.7969	.6786	.5518	.4278	.3154	.2201	.1445	.8652	.4682
	3	.9996	.9950	.9786	.9437	.8862	.8059	.7064	.5941	.4770	.3633	.9693	.7413
	4	1.000	.9996	.9972	.9896	.9727	.9420	.8939	.8263	.7396	.6367	.9954	.9121
	5		1.000	.9998	.9988	.9958	.9887	.9747	.9502	.9115	.8555	.9996	.9803
	6			1.000	.9999	.9996	.9987	.9964	.9915	.9819	.9648	1.000	.9974
	7				1.000	1.000	.9999	.9998	.9993	.9983	.9961		.9998
	8					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000

CUMULATIEVE BINOMIALE VERDELING

$$\sum_{x=0}^c \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}$$

n	c	p										1/6	1/3
		.05	.10	.15	.20	.25	.30	.35	.40	.45	.50		
9	0	.6302	.3874	.2316	.1342	.0751	.0404	.0207	.0101	.0046	.0020	.2038	.0260
	1	.9288	.7748	.5995	.4362	.3004	.1960	.1211	.0705	.0385	.0195	.5427	.1431
	2	.9916	.9470	.8592	.7382	.6007	.4628	.3373	.2318	.1495	.0898	.8217	.3772
	3	.9994	.9917	.9661	.9144	.8343	.7297	.6089	.4826	.3614	.2539	.9520	.6503
	4	1.000	.9991	.9944	.9804	.9511	.9012	.8283	.7334	.6214	.5000	.9910	.8552
	5		.9999	.9994	.9969	.9900	.9747	.9464	.9007	.8342	.7461	.9989	.9576
	6		1.000	1.000	.9997	.9987	.9957	.9888	.9750	.9502	.9102	.9999	.9917
	7				1.000	.9999	.9996	.9986	.9962	.9909	.9805	1.000	.9990
	8					1.000	1.000	.9999	.9997	.9992	.9980		1.000
	9							1.000	1.000	1.000	1.000		
10	0	.5987	.3487	.1969	.1074	.0563	.0282	.0135	.0060	.0025	.0010	.1615	.0173
	1	.9139	.7361	.5443	.3758	.2440	.1493	.0860	.0464	.0233	.0107	.4845	.1040
	2	.9885	.9298	.8202	.6778	.5256	.3828	.2616	.1673	.0996	.0547	.7752	.2991
	3	.9990	.9872	.9500	.8791	.7759	.6496	.5138	.3823	.2670	.1719	.9303	.5593
	4	.9999	.9984	.9901	.9672	.9219	.8497	.7515	.6331	.5044	.3770	.9845	.7969
	5	1.000	.9998	.9986	.9936	.9803	.9526	.9051	.8338	.7384	.6230	.9976	.9234
	6		1.000	.9999	.9991	.9965	.9894	.9740	.9452	.8980	.8281	.9997	.9803
	7			1.000	.9999	.9996	.9984	.9952	.9877	.9726	.9453	1.000	.9966
	8				1.000	1.000	.9999	.9995	.9983	.9955	.9893		.9996
	9						1.000	1.000	.9999	.9997	.9990		1.000
	10								1.000	1.000	1.000		
15	0	.4633	.2059	.0874	.0352	.0134	.0047	.0016	.0005	.0001	.0000	.0649	.0023
	1	.8290	.5490	.3186	.1671	.0802	.0353	.0142	.0052	.0017	.0005	.2596	.0194
	2	.9638	.8159	.6042	.3980	.2361	.1268	.0617	.0271	.0107	.0037	.5322	.0794
	3	.9945	.9444	.8227	.6482	.4613	.2969	.1727	.0905	.0424	.0176	.7685	.2092
	4	.9994	.9873	.9383	.8358	.6865	.5155	.3519	.2173	.1204	.0592	.9102	.4041
	5	.9999	.9978	.9832	.9389	.8516	.7216	.5643	.4032	.2608	.1509	.9726	.6184
	6	1.000	.9997	.9964	.9819	.9434	.8689	.7548	.6098	.4522	.3036	.9934	.7970
	7		1.000	.9994	.9958	.9827	.9500	.8868	.7869	.6535	.5000	.9987	.9118
	8			.9999	.9992	.9958	.9848	.9578	.9050	.8182	.6064	.9998	.9692
	9			1.000	.9999	.9992	.9963	.9876	.9662	.9231	.8491	1.000	.9915
	10				1.000	.9999	.9993	.9972	.9907	.9745	.9408		.9982
	11					1.000	.9999	.9995	.9981	.9937	.9824		.9997
	12						1.000	.9999	.9997	.9989	.9963		1.000
	13							1.000	1.000	.9999	.9995		
	14									1.000	1.000		
20	0	.3585	.1216	.0388	.0115	.0032	.0008	.0002	.0000	.0000	.0000	.0261	.0003
	1	.7358	.3917	.1756	.0692	.0243	.0076	.0021	.0005	.0001	.0000	.1304	.0033
	2	.9245	.6769	.4049	.2061	.0913	.0355	.0121	.0036	.0009	.0002	.3287	.0176
	3	.9841	.8670	.6477	.4114	.2252	.1071	.0444	.0160	.0049	.0013	.5665	.0604
	4	.9974	.9568	.8298	.6296	.4148	.2375	.1182	.0510	.0189	.0059	.7687	.1515
	5	.9997	.9887	.9327	.8042	.6172	.4164	.2454	.1256	.0553	.0207	.8982	.2972
	6	1.000	.9976	.9781	.9133	.7858	.6080	.4166	.2500	.1299	.0577	.9629	.4792
	7		.9996	.9941	.9679	.8982	.7723	.6110	.4159	.2520	.1316	.9887	.6615
	8		.9999	.9987	.9900	.9591	.8867	.7624	.5956	.4143	.2517	.9972	.8095
	9		1.000	.9998	.9974	.9861	.9620	.8792	.7553	.5914	.4119	.9994	.9081
	10			1.000	.9994	.9961	.9829	.9468	.8725	.7507	.5881	.9999	.9624
	11				.9999	.9991	.9949	.9804	.9435	.8692	.7483	1.000	.9870
	12				1.000	.9998	.9987	.9940	.9790	.9420	.8684		.9963
	13					1.000	.9997	.9985	.9935	.9786	.9423		.9991
	14						1.000	.9997	.9984	.9936	.9793		.9998
	15							1.000	.9997	.9985	.9941		1.000
	16								1.000	.9997	.9987		
	17									1.000	.9998		
	18										1.000		

CUMULATIEVE POISSON VERDELING

$$\sum_{x=0}^c \frac{e^{-\mu} \mu^x}{x!}$$

c	μ									
	.05	.10	.15	.20	.25	.30	.35	.40	.45	.50
0	.9512	.9048	.8607	.8187	.7788	.7408	.7047	.6703	.6376	.6065
1	.9988	.9953	.9898	.9825	.9735	.9631	.9513	.9384	.9246	.9098
2	1.000	.9998	.9995	.9988	.9978	.9964	.9945	.9921	.9891	.9856
3		1.000	1.000	.9999	.9999	.9997	.9995	.9992	.9988	.9982
4				1.000	1.000	1.000	1.000	.9999	.9999	.9998
5								1.000	1.000	1.000
c	μ									
	.55	.60	.65	.70	.75	.80	.85	.90	.95	1.00
0	.5770	.5488	.5220	.4966	.4724	.4493	.4274	.4066	.3867	.3679
1	.8943	.8781	.8614	.8442	.8266	.8088	.7907	.7725	.7541	.7358
2	.9815	.9769	.9717	.9659	.9595	.9526	.9451	.9371	.9287	.9197
3	.9975	.9966	.9956	.9942	.9927	.9909	.9889	.9865	.9839	.9810
4	.9997	.9996	.9994	.9992	.9989	.9986	.9982	.9977	.9971	.9963
5	1.000	1.000	.9999	.9999	.9999	.9998	.9998	.9997	.9995	.9994
6			1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.9999	.9999
7									1.000	1.000
c	μ									
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
0	.3329	.3012	.2725	.2466	.2231	.2019	.1827	.1653	.1496	.1353
1	.6990	.6626	.6268	.5918	.5578	.5249	.4932	.4628	.4337	.4060
2	.9004	.8795	.8571	.8335	.8088	.7834	.7572	.7306	.7037	.6767
3	.9743	.9662	.9569	.9463	.9344	.9212	.9068	.8913	.8747	.8571
4	.9946	.9922	.9893	.9857	.9814	.9763	.9704	.9636	.9559	.9473
5	.9990	.9985	.9978	.9968	.9955	.9940	.9920	.9896	.9868	.9834
6	.9999	.9998	.9996	.9994	.9991	.9987	.9981	.9974	.9966	.9955
7	1.000	1.000	.9999	.9999	.9998	.9997	.9996	.9994	.9992	.9989
8			1.000	1.000	1.000	1.000	.9999	.9999	.9998	.9998
9							1.000	1.000	1.000	1.000
c	μ									
	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0
0	.1225	.1108	.1003	.0907	.0821	.0743	.0672	.0608	.0550	.0498
1	.3796	.3546	.3309	.3084	.2873	.2674	.2487	.2311	.2146	.1991
2	.6496	.6227	.5960	.5697	.5438	.5184	.4936	.4695	.4460	.4232
3	.8386	.8194	.7993	.7787	.7576	.7360	.7141	.6919	.6696	.6472
4	.9379	.9275	.9162	.9041	.8912	.8774	.8629	.8477	.8318	.8153
5	.9796	.9751	.9700	.9643	.9580	.9510	.9433	.9349	.9258	.9161
6	.9941	.9925	.9906	.9884	.9858	.9828	.9794	.9756	.9713	.9665
7	.9985	.9980	.9974	.9967	.9958	.9947	.9934	.9919	.9901	.9881
8	.9997	.9995	.9994	.9991	.9989	.9985	.9981	.9976	.9969	.9962
9	.9999	.9999	.9999	.9998	.9997	.9996	.9995	.9993	.9991	.9989
10	1.000	1.000	1.000	1.000	.9999	.9999	.9999	.9998	.9998	.9997
11					1.000	1.000	1.000	1.000	.9999	.9999
12									1.000	1.000

CUMULATIEVE POISSON VERDELING

$$\sum_{x=0}^c \frac{e^{-\mu} \mu^x}{x!}$$

C	μ									
	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0
0	.0408	.0334	.0273	.0224	.0183	.0150	.0123	.0101	.0082	.0067
1	.1712	.1468	.1257	.1074	.0916	.0780	.0663	.0563	.0477	.0404
2	.3799	.3397	.3027	.2689	.2381	.2102	.1851	.1626	.1425	.1247
3	.6025	.5584	.5152	.4735	.4335	.3954	.3595	.3257	.2942	.2650
4	.7806	.7442	.7064	.6678	.6288	.5898	.5512	.5132	.4763	.4405
5	.8946	.8705	.8441	.8156	.7851	.7531	.7199	.6858	.6510	.6160
6	.9554	.9421	.9267	.9091	.8893	.8675	.8437	.8180	.7908	.7622
7	.9832	.9769	.9692	.9599	.9489	.9361	.9214	.9050	.8867	.8666
8	.9943	.9917	.9883	.9840	.9786	.9721	.9642	.9549	.9442	.9319
9	.9982	.9973	.9960	.9942	.9919	.9889	.9851	.9805	.9749	.9682
10	.9995	.9992	.9987	.9981	.9972	.9959	.9943	.9922	.9896	.9863
11	.9999	.9998	.9996	.9994	.9991	.9986	.9980	.9971	.9960	.9946
12	1.000	.9999	.9999	.9998	.9997	.9996	.9993	.9990	.9986	.9980
13		1.000	1.000	1.000	.9999	.9999	.9998	.9997	.9995	.9993
14					1.000	1.000	.9999	.9999	.9999	.9998
15							1.000	1.000	1.000	.9999
16										1.000

C	μ									
	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
0	.0041	.0025	.0015	.0009	.0006	.0003	.0002	.0001	.0001	.0000
1	.0266	.0174	.0113	.0073	.0047	.0030	.0019	.0012	.0008	.0005
2	.0884	.0620	.0430	.0296	.0203	.0138	.0093	.0062	.0042	.0028
3	.2017	.1512	.1119	.0818	.0592	.0424	.0301	.0212	.0149	.0103
4	.3575	.2851	.2237	.1730	.1321	.0996	.0744	.0550	.0403	.0293
5	.5289	.4457	.3690	.3007	.2414	.1912	.1496	.1157	.0885	.0671
6	.6860	.6063	.5265	.4497	.3782	.3134	.2562	.2068	.1650	.1301
7	.8095	.7440	.6728	.5987	.5246	.4530	.3856	.3239	.2687	.2202
8	.8944	.8472	.7916	.7291	.6620	.5926	.5231	.4557	.3918	.3328
9	.9462	.9161	.8774	.8305	.7764	.7166	.6530	.5874	.5218	.4579
10	.9748	.9574	.9332	.9015	.8622	.8159	.7634	.7060	.6453	.5830
11	.9890	.9799	.9661	.9467	.9208	.8881	.8487	.8030	.7520	.6968
12	.9956	.9912	.9840	.9730	.9573	.9362	.9091	.8758	.8364	.7916
13	.9983	.9964	.9929	.9872	.9784	.9658	.9486	.9262	.8981	.8645
14	.9994	.9986	.9970	.9943	.9897	.9827	.9726	.9585	.9400	.9165
15	.9998	.9995	.9988	.9976	.9954	.9918	.9862	.9780	.9665	.9513
16	.9999	.9998	.9996	.9990	.9980	.9963	.9934	.9889	.9823	.9730
17	1.000	.9999	.9999	.9996	.9992	.9984	.9970	.9947	.9911	.9857
18		1.000	1.000	.9999	.9997	.9994	.9987	.9976	.9957	.9928
19				1.000	.9999	.9998	.9995	.9989	.9980	.9965
20					1.000	.9999	.9998	.9996	.9991	.9984
21						1.000	.9999	.9998	.9996	.9993
22							1.000	.9999	.9999	.9997
23								1.000	.9999	.9999
24									1.000	1.000

TEKENTOETS

Linker kritieke waarden c waarvoor

$$\sum_{x=0}^c \binom{n}{x} \left(\frac{1}{2}\right)^x \left(\frac{1}{2}\right)^{n-x} \leq \alpha$$

n	α				
	0,005	0,01	0,025	0,05	0,125
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	0
4	-	-	-	-	0
5	-	-	-	0	0
6	-	-	0	0	1
7	-	0	0	0	1
8	0	0	0	1	1
9	0	0	1	1	2
10	0	0	1	1	2
11	0	1	1	2	3
12	1	1	2	2	3
13	1	1	2	3	3
14	1	2	2	3	4
15	2	2	3	3	4
16	2	2	3	4	5
17	2	3	4	4	5
18	3	3	4	5	6
19	3	4	4	5	6
20	3	4	5	5	6
21	4	4	5	6	7
22	4	5	5	6	7
23	4	5	6	7	8
24	5	5	6	7	8
25	5	6	7	7	9
26	6	6	7	8	9
27	6	7	7	8	10
28	6	7	8	9	10
29	7	7	8	9	10
30	7	8	9	10	11
31	7	8	9	10	11
32	8	8	9	10	12
33	8	9	10	11	12
34	9	9	10	11	13
35	9	10	11	12	13
36	9	10	11	12	14
37	10	10	12	13	14
38	10	11	12	13	14
39	11	11	12	13	15
40	11	12	13	14	15
41	11	12	13	14	16
42	12	13	14	15	16
43	12	13	14	15	17
44	13	13	15	16	17
45	13	14	15	16	18
46	13	14	15	16	18
47	14	15	16	17	19
48	14	15	16	17	19
49	15	15	17	18	19
50	15	16	17	18	20

n	α				
	0,005	0,01	0,025	0,05	0,125
51	15	16	18	19	20
52	16	17	18	19	21
53	16	17	18	20	21
54	17	18	19	20	22
55	17	18	19	20	22
56	17	18	20	21	23
57	18	19	20	21	23
58	18	19	21	22	24
59	19	20	21	22	24
60	19	20	21	23	25
61	20	20	22	23	25
62	20	21	22	24	25
63	20	21	23	24	26
64	21	22	23	24	26
65	21	22	24	25	27
66	22	23	24	25	27
67	22	23	25	26	28
68	22	23	25	26	28
69	23	24	25	27	29
70	23	24	26	27	29
71	24	25	26	28	30
72	24	25	27	28	30
73	25	26	27	28	31
74	25	26	28	29	31
75	25	26	28	29	32
76	26	27	28	30	32
77	26	27	29	30	32
78	27	28	29	31	33
79	27	28	30	31	33
80	28	29	30	32	34
81	28	29	31	32	34
82	28	30	31	33	35
83	29	30	32	33	35
84	29	30	32	33	36
85	30	31	32	34	36
86	30	31	33	34	37
87	31	32	33	35	37
88	31	32	34	35	38
89	31	33	34	36	38
90	32	33	35	36	39
91	32	33	35	37	39
92	33	34	36	37	39
93	33	34	36	38	40
94	34	35	37	38	40
95	34	35	37	38	41
96	34	36	37	39	41
97	35	36	38	39	42
98	35	37	38	40	42
99	36	37	39	40	43
100	36	37	39	41	43

WILCOXON'S TOETS

Rechter kritieke waarde = $2nm$ - linker kritieke waarde .

$n = 7$ $m = 11$ w kan variëren van 0 tot en met 154
 $P(\underline{w} \leq 38) = P(\overline{w} \geq 116) \leq 0.05$
 $P(\underline{w} \leq 32) = P(\overline{w} \geq 122) \leq 0.025$

Bij twee steekproeven $x_1 \dots x_n$ en $y_1 \dots y_m$ is de
 Toetsingsgrootheid w = tweemaal het aantal paren (x_i, y_j) met $x_i > y_j$
 plus het aantal paren (x_i, y_j) met $x_i = y_j$

Linker kritieke waarden van w tweezijdige betrouwbaarheid **.90**

m \ n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
3	-	0																	
4	-	0	2																
5	0	2	4	8															
6	0	4	6	10	14														
7	0	4	8	12	16	22													
8	2	6	10	16	20	26	30												
9	2	8	12	18	24	30	36	42											
10	2	8	14	22	28	34	40	48	54										
11	2	10	16	24	32	38	46	54	62	68									
12	4	10	18	26	34	42	52	60	68	76	84								
13	4	12	20	30	38	48	56	66	74	84	94	102							
14	6	14	22	32	42	52	62	72	82	92	102	112	122						
15	6	14	24	36	46	56	66	78	88	100	110	122	132	144					
16	6	16	28	38	50	60	72	84	96	108	120	130	142	154	166				
17	6	18	30	40	52	66	78	90	102	114	128	140	152	166	178	192			
18	8	18	32	44	56	70	82	96	110	122	136	150	164	176	190	204	218		
19	8	20	34	46	60	74	88	102	116	130	144	160	174	188	202	216	232	246	
20	8	22	36	50	64	78	94	108	124	138	154	168	184	200	214	230	246	260	276

Linker kritieke waarden van w bij tweezijdige betrouwbaarheid **.95**

m \ n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
3	-	-																	
4	-	-	0																
5	-	0	2	4															
6	-	2	4	6	10														
7	-	2	6	10	12	16													
8	0	4	8	12	16	20	26												
9	0	4	8	14	20	24	30	34											
10	0	6	10	16	22	28	34	40	46										
11	0	6	12	18	26	32	38	46	52	60									
12	2	8	14	22	28	36	44	52	58	66	74								
13	2	8	16	24	32	40	48	56	66	74	82	90							
14	2	10	18	26	34	44	52	62	72	80	90	100	110						
15	2	10	20	28	38	48	58	68	78	88	98	108	118	128					
16	2	12	22	30	42	52	62	74	84	94	106	118	128	138	150				
17	4	12	22	34	44	56	68	78	90	102	114	126	138	150	162	174			
18	4	14	24	36	48	60	72	84	96	110	122	134	146	160	172	186	198		
19	4	14	26	38	50	64	76	90	104	116	130	142	156	170	184	198	210	224	
20	4	16	28	40	54	68	82	96	110	124	138	152	166	180	194	210	224	238	254

RANG CORRELATIE TOETS VAN SPEARMAN

Linker en rechter kritieke waarden van $\sum (X_i - Y_i)^2$
bij tweezijdige toetsing

Steekproef bevat n paren (x_j, y_j) waarbij $j=1, \dots, n$

X_i het rangnummer van x_i en Y_i van y_i is.

Als toetsingsgrootte bepaald men $\sum d_i^2 = \sum (X_i - Y_i)^2$.

n	Onbetrouwbaarheid							
	0.01	0.02	0.05	0.10	0.10	0.05	0.02	0.01
4	-	-	-	0	20	-	-	-
5	-	0	0	2	38	40	40	-
6	0	2	4	6	64	66	68	70
7	4	6	12	16	96	100	106	108
8	10	14	22	30	138	146	154	158
9	20	26	38	48	192	202	214	220
10	34	44	58	72	258	272	286	296
11	50	63	83	103	337	357	377	390
12	71	89	116	143	429	456	483	501
13	98	121	158	191	537	570	607	630
14	132	161	207	247	663	703	748	778
15	175	211	266	313	807	854	909	945
16	227	271	355	391	969	1025	1089	1133
17	290	341	416	480	1152	1216	1291	1342
18	363	422	508	582	1356	1430	1516	1575
19	447	514	613	698	1582	1667	1766	1833
20	544	620	731	828	1832	1929	2040	2116
21	653	738	865	973	2107	2215	2342	2427
22	775	871	1013	1135	2407	2529	2671	2767
23	912	1020	1178	1314	2734	2870	3028	3136
24	1064	1184	1360	1511	3089	3240	3416	3536
25	1232	1365	1559	1727	3473	3641	3835	3968
26	1418	1564	1778	1962	3888	4072	4286	4432
27	1621	1781	2016	2219	4333	4536	4771	4931
28	1842	2018	2275	2497	4811	5033	5290	5466
29	2083	2275	2556	2797	5323	5564	5845	6037
30	2344	2553	2859	3122	5868	6131	6437	6646
31	2627	2853	3185	3470	6450	6735	7067	7293
32	2931	3176	3535	3844	7068	7377	7736	7981
33	3259	3523	3910	4244	7724	8058	8445	8709
34	3610	3894	4311	4670	8420	8779	9196	9480
35	3985	4291	4740	5125	9155	9540	9989	10295
36	4386	4714	5195	5609	9931	10345	10826	11154
37	4814	5165	5680	6123	10749	11192	11707	12058
38	5268	5643	6194	6667	11611	12084	12635	13010
39	5751	6151	6738	7243	12517	13022	13609	14009
40	6263	6689	7314	7852	13468	14006	14631	15057

TABLE J
Lower- and upper-tail probabilities for W_x , the Wilcoxon-Mann-Whitney rank-sum statistic*

Entries are $P[W_x \leq c_L]$ and $P[W_x \geq c_U]$. W_x is the rank-sum for the smaller group.

$m = 3$																				
c_L	$n = 3$	c_U	$n = 4$	c_U	$n = 5$	c_U	$n = 6$	c_U	$n = 7$	c_U	$n = 8$	c_U	$n = 9$	c_U	$n = 10$	c_U	$n = 11$	c_U	$n = 12$	c_U
6	.0500	15	.0286	18	.0179	21	.0119	24	.0083	27	.0061	30	.0045	33	.0035	36	.0027	39	.0022	42
7	.1000	14	.0571	17	.0357	20	.0238	23	.0167	26	.0121	29	.0091	32	.0070	35	.0055	38	.0044	41
8	.2000	13	.1143	16	.0714	19	.0476	22	.0333	25	.0242	28	.0182	31	.0140	34	.0110	37	.0088	40
9	.3500	12	.2000	15	.1250	18	.0833	21	.0583	24	.0424	27	.0318	30	.0245	33	.0192	36	.0154	39
10	.5000	11	.3143	14	.1964	17	.1310	20	.0917	23	.0667	26	.0500	29	.0385	32	.0302	35	.0242	38
11	.6500	10	.4286	13	.2857	16	.1905	19	.1333	22	.0970	25	.0727	28	.0559	31	.0440	34	.0352	37
12	.8000	9	.5714	12	.3929	15	.2738	18	.1917	21	.1394	24	.1045	27	.0804	30	.0632	33	.0505	36
13	.9000	8	.6857	11	.5000	14	.3571	17	.2583	20	.1879	23	.1409	26	.1084	29	.0852	32	.0681	35
14	.9500	7	.8000	10	.6071	13	.4524	16	.3333	19	.2485	22	.1864	25	.1434	28	.1126	31	.0901	34
15	1.0000	6	.8857	9	.7143	12	.5476	15	.4167	18	.3152	21	.2409	24	.1853	27	.1454	30	.1145	33
16			.9429	8	.8036	11	.6429	14	.5000	17	.3879	20	.3000	23	.2343	26	.1841	29	.1473	32
17			.9714	7	.8750	10	.7262	13	.5833	16	.4606	19	.3636	22	.2867	25	.2280	28	.1824	31
18			1.0000	6	.9286	9	.8095	12	.6667	15	.5394	18	.4318	21	.3462	24	.2775	27	.2242	30
19					.9643	8	.8690	11	.7417	14	.6121	17	.5000	20	.4056	23	.3297	26	.2681	29
20					.9821	7	.9167	10	.8083	13	.6848	16	.5682	19	.4685	22	.3846	25	.3165	28
21					1.0000	6	.9524	9	.8667	12	.7515	15	.6364	18	.5315	21	.4423	24	.3670	27
22							.9762	8	.9083	11	.8121	14	.7000	17	.5944	20	.5000	23	.4198	26
23							.9881	7	.9417	10	.8606	13	.7591	16	.6538	19	.5577	22	.4725	25
24							1.0000	6	.9667	9	.9030	12	.8136	15	.7133	18	.6154	21	.5275	24

$m = 4$																		
c_L	$n = 4$	c_U	$n = 5$	c_U	$n = 6$	c_U	$n = 7$	c_U	$n = 8$	c_U	$n = 9$	c_U	$n = 10$	c_U	$n = 11$	c_U	$n = 12$	c_U
10	.0143	26	.0079	30	.0048	34	.0030	38	.0020	42	.0014	46	.0010	50	.0007	54	.0005	58
11	.0286	25	.0159	29	.0095	33	.0061	37	.0040	41	.0028	45	.0020	49	.0015	53	.0011	57
12	.0571	24	.0317	28	.0190	32	.0121	36	.0081	40	.0056	44	.0040	48	.0029	52	.0022	56
13	.1000	23	.0556	27	.0333	31	.0212	35	.0141	39	.0098	43	.0070	47	.0051	51	.0038	55
14	.1714	22	.0952	26	.0571	30	.0364	34	.0242	38	.0168	42	.0120	46	.0088	50	.0066	54
15	.2429	21	.1429	25	.0857	29	.0545	33	.0364	37	.0252	41	.0180	45	.0132	49	.0099	53
16	.3429	20	.2063	24	.1286	28	.0818	32	.0545	36	.0378	40	.0270	44	.0198	48	.0148	52
17	.4429	19	.2778	23	.1762	27	.1152	31	.0768	35	.0531	39	.0380	43	.0278	47	.0209	51
18	.5571	18	.3651	22	.2381	26	.1576	30	.1071	34	.0741	38	.0529	42	.0388	46	.0291	50
19	.6571	17	.4524	21	.3048	25	.2061	29	.1414	33	.0993	37	.0709	41	.0520	45	.0390	49
20	.7571	16	.5476	20	.3810	24	.2636	28	.1838	32	.1301	36	.0939	40	.0689	44	.0516	48
21	.8286	15	.6349	19	.4571	23	.3242	27	.2303	31	.1650	35	.1199	39	.0886	43	.0645	47
22	.9000	14	.7222	18	.5429	22	.3939	26	.2848	30	.2070	34	.1518	38	.1128	42	.0852	46
23	.9429	13	.7937	17	.6190	21	.4636	25	.3414	29	.2517	33	.1868	37	.1399	41	.1060	45
24	.9714	12	.8571	16	.6952	20	.5364	24	.4040	28	.3021	32	.2268	36	.1714	40	.1308	44
25	.9857	11	.9048	15	.7619	19	.6061	23	.4667	27	.3552	31	.2697	35	.2059	39	.1582	43
26	1.0000	10	.9444	14	.8238	18	.6758	22	.5333	26	.4126	30	.3177	34	.2447	38	.1896	42
27			.9683	13	.8714	17	.7364	21	.5960	25	.4699	29	.3666	33	.2857	37	.2231	41
28			.9841	12	.9143	16	.7939	20	.6586	24	.5301	28	.4196	32	.3304	36	.2604	40
29			.9921	11	.9429	15	.8424	19	.7152	23	.5874	27	.4725	31	.3766	35	.2995	39
30			1.0000	10	.9667	14	.8848	18	.7697	22	.6448	26	.5275	30	.4256	34	.3418	38
31					.9810	13	.9182	17	.8162	21	.6979	25	.5804	29	.4747	33	.3852	37
32					.9905	12	.9455	16	.8586	20	.7483	24	.6334	28	.5253	32	.4308	36
33					.9952	11	.9636	15	.8929	19	.7930	23	.6823	27	.5744	31	.4764	35
34					1.0000	10	.9788	14	.9232	18	.8350	22	.7303	26	.6234	30	.5236	34

TABLE J (continued)

m = 5												
c_L	n = 5	c_U	n = 6	c_L	n = 7	c_U	n = 8	c_L	n = 9	c_U	n = 10	c_L
15	.0040	40	.0022	45	.0013	50	.0008	55	.0005	60	.0003	65
16	.0079	39	.0043	44	.0025	49	.0016	54	.0010	59	.0007	64
17	.0159	38	.0087	43	.0051	48	.0031	53	.0020	58	.0013	63
18	.0278	37	.0152	42	.0088	47	.0054	52	.0035	57	.0023	62
19	.0476	36	.0260	41	.0152	46	.0093	51	.0060	56	.0040	61
20	.0754	35	.0411	40	.0240	45	.0148	50	.0095	55	.0063	60
21	.1111	34	.0628	39	.0366	44	.0225	49	.0145	54	.0097	59
22	.1548	33	.0887	38	.0530	43	.0326	48	.0210	53	.0140	58
23	.2103	32	.1234	37	.0745	42	.0466	47	.0300	52	.0200	57
24	.2738	31	.1645	36	.1010	41	.0637	46	.0415	51	.0276	56
25	.3452	30	.2143	35	.1338	40	.0855	45	.0559	50	.0376	55
26	.4206	29	.2684	34	.1717	39	.1111	44	.0734	49	.0496	54
27	.5000	28	.3312	33	.2159	38	.1422	43	.0949	48	.0646	53
28	.5794	27	.3961	32	.2652	37	.1772	42	.1199	47	.0823	52
29	.6548	26	.4654	31	.3194	36	.2176	41	.1489	46	.1032	51
30	.7262	25	.5346	30	.3775	35	.2618	40	.1818	45	.1272	50
31	.7897	24	.6039	29	.4381	34	.3108	39	.2188	44	.1548	49
32	.8452	23	.6688	28	.5000	33	.3621	38	.2592	43	.1855	48
33	.8889	22	.7316	27	.5619	32	.4165	37	.3032	42	.2198	47
34	.9246	21	.7857	26	.6225	31	.4716	36	.3497	41	.2567	46
35	.9524	20	.8355	25	.6806	30	.5284	35	.3986	40	.2970	45
36	.9722	19	.8766	24	.7348	29	.5835	34	.4491	39	.3393	44
37	.9841	18	.9113	23	.7841	28	.6379	33	.5000	38	.3839	43
38	.9921	17	.9372	22	.8283	27	.6892	32	.5509	37	.4296	42
39	.9960	16	.9589	21	.8662	26	.7382	31	.6014	36	.4765	41
40	1.0000	15	.9740	20	.8990	25	.7824	30	.6503	35	.5235	40

m = 6										
c_L	n = 6	c_U	n = 7	c_L	n = 8	c_U	n = 9	c_L	n = 10	c_U
21	.0011	57	.0006	63	.0003	69	.0002	75	.0001	81
22	.0022	56	.0012	62	.0007	68	.0004	74	.0002	80
23	.0043	55	.0023	61	.0013	67	.0008	73	.0005	79
24	.0076	54	.0041	60	.0023	66	.0014	72	.0009	78
25	.0130	53	.0070	59	.0040	65	.0024	71	.0015	77
26	.0206	52	.0111	58	.0063	64	.0038	70	.0024	76
27	.0325	51	.0175	57	.0100	63	.0060	69	.0037	75
28	.0465	50	.0256	56	.0147	62	.0088	68	.0055	74
29	.0660	49	.0367	55	.0213	61	.0128	67	.0080	73
30	.0898	48	.0507	54	.0296	60	.0180	66	.0112	72
31	.1201	47	.0688	53	.0406	59	.0248	65	.0156	71
32	.1548	46	.0903	52	.0539	58	.0332	64	.0210	70
33	.1970	45	.1171	51	.0709	57	.0440	63	.0280	69
34	.2424	44	.1474	50	.0906	56	.0567	62	.0363	68
35	.2944	43	.1830	49	.1142	55	.0723	61	.0467	67
36	.3496	42	.2226	48	.1412	54	.0905	60	.0589	66
37	.4091	41	.2669	47	.1725	53	.1119	59	.0736	65
38	.4686	40	.3141	46	.2068	52	.1361	58	.0903	64
39	.5314	39	.3654	45	.2454	51	.1638	57	.1099	63
40	.5909	38	.4178	44	.2864	50	.1942	56	.1317	62
41	.6504	37	.4726	43	.3310	49	.2280	55	.1566	61
42	.7056	36	.5274	42	.3773	48	.2643	54	.1838	60
43	.7576	35	.5822	41	.4259	47	.3035	53	.2139	59
44	.8030	34	.6346	40	.4749	46	.3445	52	.2461	58
45	.8452	33	.6859	39	.5251	45	.3878	51	.2811	57
46	.8799	32	.7331	38	.5741	44	.4320	50	.3177	56
47	.9102	31	.7774	37	.6227	43	.4773	49	.3564	55
48	.9340	30	.8170	36	.6690	42	.5227	48	.3962	54
49	.9535	29	.8526	35	.7136	41	.5680	47	.4374	53
50	.9675	28	.8829	34	.7546	40	.6122	46	.4789	52
51	.9794	27	.9097	33	.7932	39	.6555	45	.5211	51

TABLE J (continued)

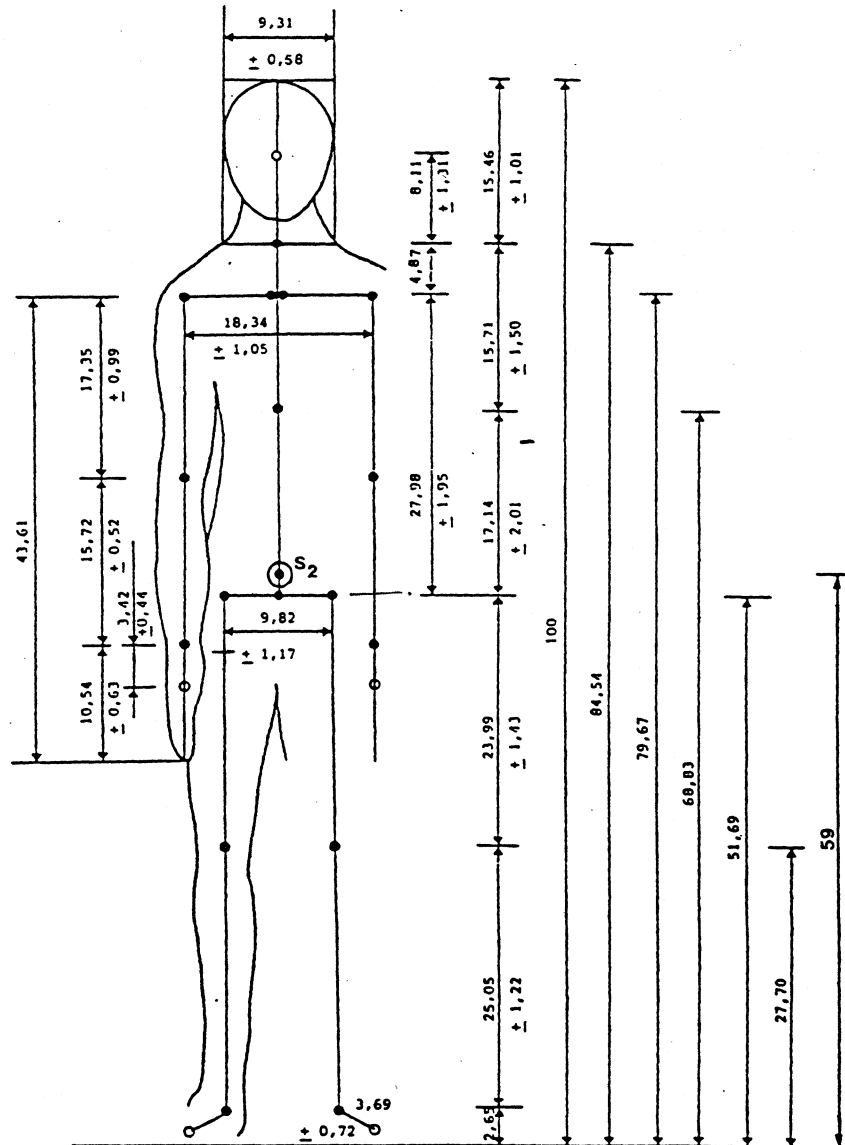
m = 7									m = 8						
c _L	n = 7	c _L	n = 8	c _L	n = 9	c _L	n = 10	c _L	c _L	n = 8	c _L	n = 9	c _L	n = 10	c _L
28	.0003	77	.0002	84	.0001	91	.0001	98	36	.0001	100	.0000	108	.0000	116
29	.0006	76	.0003	83	.0002	90	.0001	97	37	.0002	99	.0001	107	.0000	115
30	.0012	75	.0006	82	.0003	89	.0002	96	38	.0003	98	.0002	106	.0001	114
31	.0020	74	.0011	81	.0006	88	.0004	95	39	.0005	97	.0003	105	.0002	113
32	.0035	73	.0019	80	.0010	87	.0006	94	40	.0009	96	.0005	104	.0003	112
33	.0055	72	.0030	79	.0017	86	.0010	93	41	.0015	95	.0008	103	.0004	111
34	.0087	71	.0047	78	.0026	85	.0015	92	42	.0023	94	.0012	102	.0007	110
35	.0131	70	.0070	77	.0039	84	.0023	91	43	.0035	93	.0019	101	.0010	109
36	.0189	69	.0103	76	.0058	83	.0034	90	44	.0052	92	.0028	100	.0015	108
37	.0265	68	.0145	75	.0082	82	.0048	89	45	.0074	91	.0039	99	.0022	107
38	.0364	67	.0200	74	.0115	81	.0068	88	46	.0103	90	.0056	98	.0031	106
39	.0487	66	.0270	73	.0156	80	.0093	87	47	.0141	89	.0076	97	.0043	105
40	.0641	65	.0361	72	.0209	79	.0125	86	48	.0190	88	.0103	96	.0058	104
41	.0825	64	.0469	71	.0274	78	.0165	85	49	.0249	87	.0137	95	.0078	103
42	.1043	63	.0603	70	.0356	77	.0215	84	50	.0325	86	.0180	94	.0103	102
43	.1297	62	.0760	69	.0454	76	.0277	83	51	.0415	85	.0232	93	.0133	101
44	.1588	61	.0946	68	.0571	75	.0351	82	52	.0524	84	.0296	92	.0171	100
45	.1914	60	.1159	67	.0708	74	.0439	81	53	.0652	83	.0372	91	.0217	99
46	.2279	59	.1405	66	.0869	73	.0544	80	54	.0803	82	.0464	90	.0273	98
47	.2675	58	.1678	65	.1052	72	.0665	79	55	.0974	81	.0570	89	.0338	97
48	.3100	57	.1984	64	.1261	71	.0806	78	56	.1172	80	.0694	88	.0416	96
49	.3552	56	.2317	63	.1496	70	.0966	77	57	.1393	79	.0836	87	.0506	95
50	.4024	55	.2679	62	.1755	69	.1148	76	58	.1641	78	.0998	86	.0610	94
51	.4508	54	.3063	61	.2039	68	.1349	75	59	.1911	77	.1179	85	.0729	93
52	.5000	53	.3472	60	.2349	67	.1574	74	60	.2209	76	.1383	84	.0864	92
53	.5492	52	.3894	59	.2680	66	.1819	73	61	.2527	75	.1606	83	.1015	91
54	.5976	51	.4333	58	.3032	65	.2087	72	62	.2869	74	.1852	82	.1185	90
55	.6448	50	.4775	57	.3403	64	.2374	71	63	.3227	73	.2117	81	.1371	89
56	.6900	49	.5225	56	.3788	63	.2681	70	64	.3605	72	.2404	80	.1577	88
57	.7325	48	.5667	55	.4185	62	.3004	69	65	.3992	71	.2707	79	.1800	87
58	.7721	47	.6106	54	.4591	61	.3345	68	66	.4392	70	.3029	78	.2041	86
59	.8086	46	.6528	53	.5000	60	.3698	67	67	.4796	69	.3365	77	.2299	85
60	.8412	45	.6937	52	.5409	59	.4063	66	68	.5204	68	.3715	76	.2574	84
61	.8703	44	.7321	51	.5815	58	.4434	65	69	.5608	67	.4074	75	.2863	83
62	.8957	43	.7683	50	.6212	57	.4811	64	70	.6008	66	.4442	74	.3167	82
63	.9175	42	.8016	49	.6597	56	.5189	63	71	.6395	65	.4813	73	.3482	81
									72	.6773	64	.5187	72	.3809	80
									73	.7131	63	.5558	71	.4143	79
									74	.7473	62	.5926	70	.4484	78
									75	.7791	61	.6285	69	.4827	77
									76	.8089	60	.6635	68	.5173	76

TABLE J (continued)

m = 9								
c_L	n = 9	c_C	n = 10	c_C	c_L	n = 9 (cont.)	n = 10 (cont.)	c_C
45	.0000	126	.0000	135	68	.0680	103	.0394
46	.0000	125	.0000	134	69	.0807	102	.0474
47	.0001	124	.0000	133	70	.0951	101	.0564
48	.0001	123	.0001	132	71	.1112	100	.0667
49	.0002	122	.0001	131	72	.1290	99	.0782
50	.0004	121	.0002	130	73	.1487	98	.0912
51	.0006	120	.0003	129	74	.1701	97	.1055
52	.0009	119	.0005	128	75	.1933	96	.1214
53	.0014	118	.0007	127	76	.2181	95	.1388
54	.0020	117	.0011	126	77	.2447	94	.1577
55	.0028	116	.0015	125	78	.2729	93	.1781
56	.0039	115	.0021	124	79	.3024	92	.2001
57	.0053	114	.0028	123	80	.3332	91	.2235
58	.0071	113	.0038	122	81	.3652	90	.2483
59	.0094	112	.0051	121	82	.3981	89	.2745
60	.0122	111	.0066	120	83	.4317	88	.3019
61	.0157	110	.0086	119	84	.4657	87	.3304
62	.0200	109	.0110	118	85	.5000	86	.3598
63	.0252	108	.0140	117	86	.5343	85	.3901
64	.0313	107	.0175	116	87	.5683	84	.4211
65	.0385	106	.0217	115	88	.6019	83	.4524
66	.0470	105	.0267	114	89	.6348	82	.4841
67	.0567	104	.0326	113	90	.6668	81	.5159

m = 10					
c_L	n = 10	c_C	c_L	n = 10 (cont.)	c_C
55	.0000	155	81	.0376	129
56	.0000	154	82	.0446	128
57	.0000	153	83	.0526	127
58	.0000	152	84	.0615	126
59	.0001	151	85	.0716	125
60	.0001	150	86	.0827	124
61	.0002	149	87	.0952	123
62	.0002	148	88	.1088	122
63	.0004	147	89	.1237	121
64	.0005	146	90	.1399	120
65	.0008	145	91	.1575	119
66	.0010	144	92	.1763	118
67	.0014	143	93	.1965	117
68	.0019	142	94	.2179	116
69	.0026	141	95	.2406	115
70	.0034	140	96	.2644	114
71	.0045	139	97	.2894	113
72	.0057	138	98	.3153	112
73	.0073	137	99	.3421	111
74	.0093	136	100	.3697	110
75	.0116	135	101	.3980	109
76	.0144	134	102	.4267	108
77	.0177	133	103	.4559	107
78	.0216	132	104	.4853	106
79	.0262	131	105	.5147	105
80	.0315	130			

15 Segmentlengten



Segmentlengten als percentage van lichaamslengte; de percentages met standaardafwijking zijn ontleend aan Dempster en Gaughran (1967); bij de afgeleide maten is geen standaardafwijking vermeld; de gesloten en open bolletjes stellen respectievelijk scharnierpunten en massamiddelpunten voor. 0 is het lichaamsmassamiddelpunt volgens (Clauser, 1969)

16 Gewrichtsexcursies

Gewrichtsexcursie volgens Lange. Men dient te beseffen dat van deze tabel niet duidelijk is, hoe de resultaten verkregen zijn en wat de spreiding is!

Gewricht	Segment	Vlak	Beweging	Max. excursie in graden	Max. bereik in graden	Comfort excursie in graden	
"hoofd/nek" hoofd		S	1 flexie ventr./ dorsaal	+40/-35	75	+12/25	
			F	2 flexie lateraal			
				R=L	+55/-55	110	0
"thorax/ lumbaal"	romp	S	3 rotatie R=L	+55/-55	110	0	
			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	
			7 flexie/ extensie	+120/-15	135	0(+85/+100)	
heup	dijbeen	S	8 abductie/ adductie	+30/-15	45	0	
knie	onderbeen	S	9 extensie/ flexie	+0/-135	135	0(-95/-120)	
			10 flexie/ extensie	+110/+55	55	+85/+95	
enkel	voet	R	11 rotatie/ exo/endo	+110/-70	180	+0/+15	
			12 abductie/ adductie	+180/-30	210	0	
heup/ onderbeen/ enkel	bovenarm	S	13 omhoog/ n. achteren	+180/-45	225	(+15/+35)	
			T	14 lat./med.	+140/-40	180	+40/+90
elleboog	onderarm	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	
			19 pronatie/ supinatie	+90/-90	180	+70/-70	

17 Lengte en gewicht

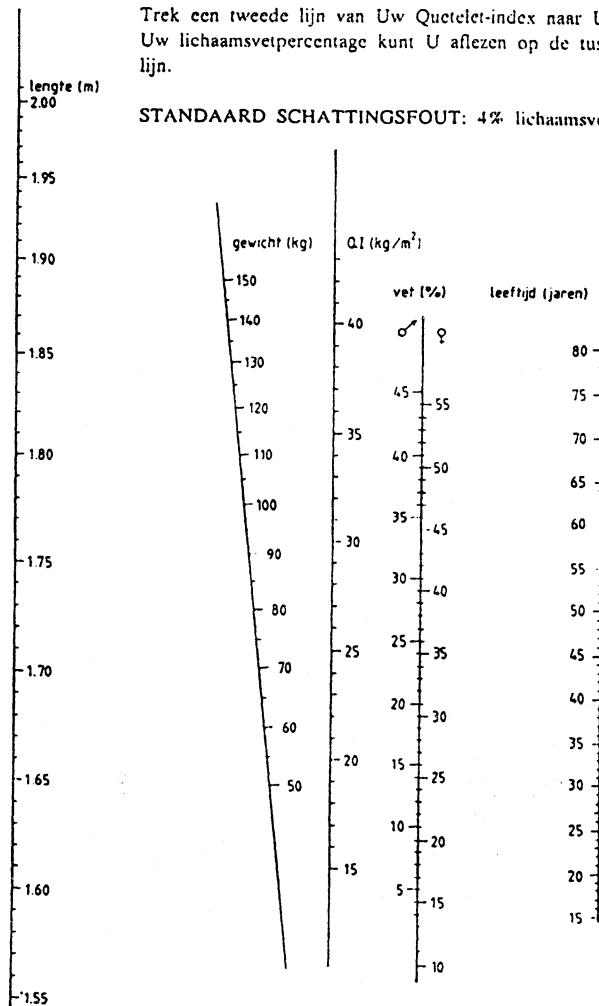
Classificatie van overgewicht volgens de World Health Organisation.

OVERGEWICHT; DE NIEUWE STAND VAN ZAKEN

Trek een lijn van Uw lengte naar Uw gewicht en markeer Uw Quetelet-index.

Trek een tweede lijn van Uw Quetelet-index naar Uw leeftijd. Uw lichaamsvetpercentage kunt U aflezen op de tussenliggende lijn.

STANDAARD SCHATTINGSFOUT: 4% lichaamsvet



Een veel gebruikte methode voor het bepalen van de omvang van de vetmassa is nog altijd de Quetelet Index. Deze methode is betrouwbaar, goedkoop en goed te standaardiseren. Van recente datum is het belang dat wordt toegekend aan de verdeling van het vet over het lichaam in relatie tot het gezondheidsrisico. Om die te bepalen wordt gebruik gemaakt van de middel/heup omtrekverhouding (MHR). Voor de MHR als maat voor de vetverdeling is nog geen uniform classificatiesysteem ontwikkeld. Voorlopig ligt het omslagpunt op 0,90 voor mannen en 0,80 voor vrouwen.

Indeling volwassenen

De WHO beveelt voor volwassenen een classificatie voor overgewicht aan gebaseerd op de QI, net als de Gezondheidsraad deed in 1984:

18,5 - 24,9 kg/m²:
acceptabel gewicht

25,0 - 29,9 kg/m²:
graad I overgewicht

30,0 - 39,9 kg/m²:
graad II overgewicht

>= 40 kg/m²:
graad III overgewicht

Graad II en III worden obesitas of vetzucht genoemd, III ook wel morbide obesitas.

6 Lengte en gewicht van de bevolking van 0-20 jaar, 1990/1993

	gemiddelde lengte		gemiddeld gewicht	
	jongens	meisjes	jongens	meisjes
	cm		kg	
0,5 jaar	66,1	63,7	7,5	7,0
1,5 jaar	82,6	80,8	11,8	10,8
2,5 jaar	93,6	93,0	14,3	13,6
3,5 jaar	102,8	100,9	16,4	16,0
4,5 jaar	109,8	109,4	18,8	18,1
5,5 jaar	116,7	116,0	20,9	20,3
6,5 jaar	122,4	123,6	23,8	23,5
7,5 jaar	129,5	129,4	26,1	26,4
8,5 jaar	134,3	135,2	29,6	29,8
9,5 jaar	140,3	139,9	32,7	32,6
10,5 jaar	147,3	146,2	36,1	37,0
11,5 jaar	151,0	153,4	39,8	40,7
12,5 jaar	156,4	157,9	44,0	45,8
13,5 jaar	162,7	164,1	50,2	50,4
14,5 jaar	168,6	167,2	55,4	54,2
15,5 jaar	175,7	168,0	60,6	57,7
16,5 jaar	179,9	169,7	66,1	59,6
17,5 jaar	181,3	170,4	69,8	60,8
18,5 jaar	182,8	170,5	71,9	61,4
19,5 jaar	183,0	170,8	72,6	62,7
20,5 jaar	183,1	170,5	74,8	63,0
Steekproefaantal (abs.)	4 352	4 146	4 129	4 040

CBS-publicaties: Maandbericht gezondheidsstatistiek; Vademecum gezondheidsstatistiek.

7 Lichaamslengte van de bevolking van 18 jaar of ouder, 1990/1993

	18-29 jaar	30-39 jaar	40-49 jaar	50-59 jaar	60-69 jaar	70 jaar of ouder	totaal
<i>Mannen</i>							
%							
≤167 cm	2,2	2,8	5,3	7,7	10,3	14,5	5,6
168-172 cm	7,6	11,8	15,4	23,2	21,9	26,6	15,3
173-177 cm	15,7	18,3	21,5	24,7	26,2	25,6	20,6
178-182 cm	25,1	27,4	27,8	24,1	26,8	22,6	26,0
183-187 cm	25,6	23,5	19,6	14,2	11,0	7,6	19,3
188-192 cm	14,3	9,4	7,5	4,5	3,4	1,8	8,4
193 cm of meer	9,4	6,7	2,8	1,6	0,4	1,2	4,9
Gemiddelde lengte (cm)	182,3	180,6	178,7	176,6	175,7	174,2	179,1
Steekproefaantal abs. (=100%)	3 173	2 671	2 332	1 621	1 344	1 030	12 170
<i>Vrouwen</i>							
≤157 cm	3,4	6,3	6,5	8,3	9,4	16,9	7,6
158-162 cm	11,2	13,7	15,3	16,7	18,5	24,4	15,7
163-167 cm	22,1	26,7	28,8	30,1	29,9	27,7	26,9
168-172 cm	30,8	29,8	31,4	30,4	30,8	22,6	29,6
173-177 cm	18,8	15,4	12,9	10,8	8,9	6,6	13,3
178-182 cm	11,4	7,2	4,2	3,3	2,0	1,5	5,8
183 cm of meer	2,4	1,0	0,9	0,5	0,4	0,3	1,1
Gemiddelde lengte (cm)	169,6	167,8	167,0	166,3	165,7	163,6	167,1
Steekproefaantal abs. (=100%)	3 105	2 531	2 276	1 630	1 456	1 700	12 699

CBS-publicaties: Maandbericht gezondheidsstatistiek; Vademecum gezondheidsstatistiek.

8 Lichaamsgewicht van de bevolking van 18 jaar of ouder, 1990/1993

	18-29 jaar	30-39 jaar	40-49 jaar	50-59 jaar	60-69 jaar	70 jaar of ouder	totaal
Mannen							
	%						
≤52 kg	7,0	4,0	3,8	3,3	6,2	9,1	5,3
63-67 kg	10,9	8,4	5,7	8,0	7,3	13,1	8,8
68-72 kg	19,7	15,7	14,1	15,3	15,9	20,8	16,8
73-77 kg	18,7	17,8	17,6	18,2	18,0	16,8	18,0
78-82 kg	18,7	19,4	20,8	19,6	20,2	18,2	19,5
83-87 kg	11,9	13,2	13,5	14,2	14,2	9,4	12,8
88 kg of meer	13,1	21,4	24,5	21,4	18,3	12,6	18,7
Gemiddeld gewicht (kg)	76,4	79,3	80,5	79,6	78,3	75,4	78,4
Steekproefaantal abs. (=100%)	3 173	2 671	2 332	1 621	1 344	1 030	12 170
Vrouwen							
≤52 kg	9,6	9,2	5,9	4,6	3,9	8,1	7,4
53-57 kg	16,3	14,9	12,9	9,7	6,0	9,5	12,5
58-62 kg	25,8	22,3	21,8	16,5	13,5	17,5	20,7
63-67 kg	20,0	20,7	20,1	19,6	19,9	18,2	19,9
68-72 kg	13,6	14,1	16,0	18,5	18,6	19,1	16,1
73-77 kg	6,9	7,4	9,3	11,7	13,8	9,7	9,2
78 kg of meer	7,8	11,5	14,0	19,5	24,4	17,7	14,4
Gemiddeld gewicht (kg)	63,5	64,7	66,3	68,6	70,1	67,2	66,2
Steekproefaantal abs. (=100%)	3 105	2 531	2 276	1 630	1 456	1 700	12 699

CBS-publikaties: Maandbericht gezondheidsstatistiek; Vademecum gezondheidsstatistiek.

9 Onder- en overgewicht¹ van de bevolking van 18 jaar of ouder, 1990/1993

	18-29 jaar	30-39 jaar	40-49 jaar	50-59 jaar	60-69 jaar	70 jaar of ouder	totaal
Mannen							
	%						
Ernstig ondergewicht	1,6	0,7	0,3	0,3	0,6	1,4	0,9
Ondergewicht	10,4	4,5	2,7	2,0	2,6	2,2	4,9
Normaal gewicht	79,4	77,1	71,3	70,2	70,3	75,1	74,8
Overgewicht	6,6	13,3	18,8	20,0	19,9	16,4	14,5
Ernstig overgewicht	2,0	4,4	7,0	7,5	6,6	5,0	5,0
Steekproefaantal abs. (=100%)	3 173	2 671	2 332	1 621	1 344	1 030	12 170
Vrouwen							
Ernstig ondergewicht	4,5	2,4	1,7	1,4	1,0	1,5	2,4
Ondergewicht	21,1	14,5	8,2	6,5	3,9	6,4	11,7
Normaal gewicht	66,4	70,9	73,7	67,4	62,8	63,9	68,0
Overgewicht	5,0	7,0	10,3	15,1	20,0	17,3	11,0
Ernstig overgewicht	2,9	5,2	6,1	9,6	12,1	10,8	6,9
Steekproefaantal abs. (=100%)	3 105	2 531	2 276	1 630	1 456	1 700	12 699

CBS-publikaties: Maandbericht gezondheidsstatistiek; Vademecum gezondheidsstatistiek.

¹ Volgens de Quételet-index: gewicht in kg/(lengte in m)².

Er is sprake van

ernstig ondergewicht bij

ondergewicht

normaal gewicht

overgewicht

ernstig overgewicht

Q.I. <18,0;

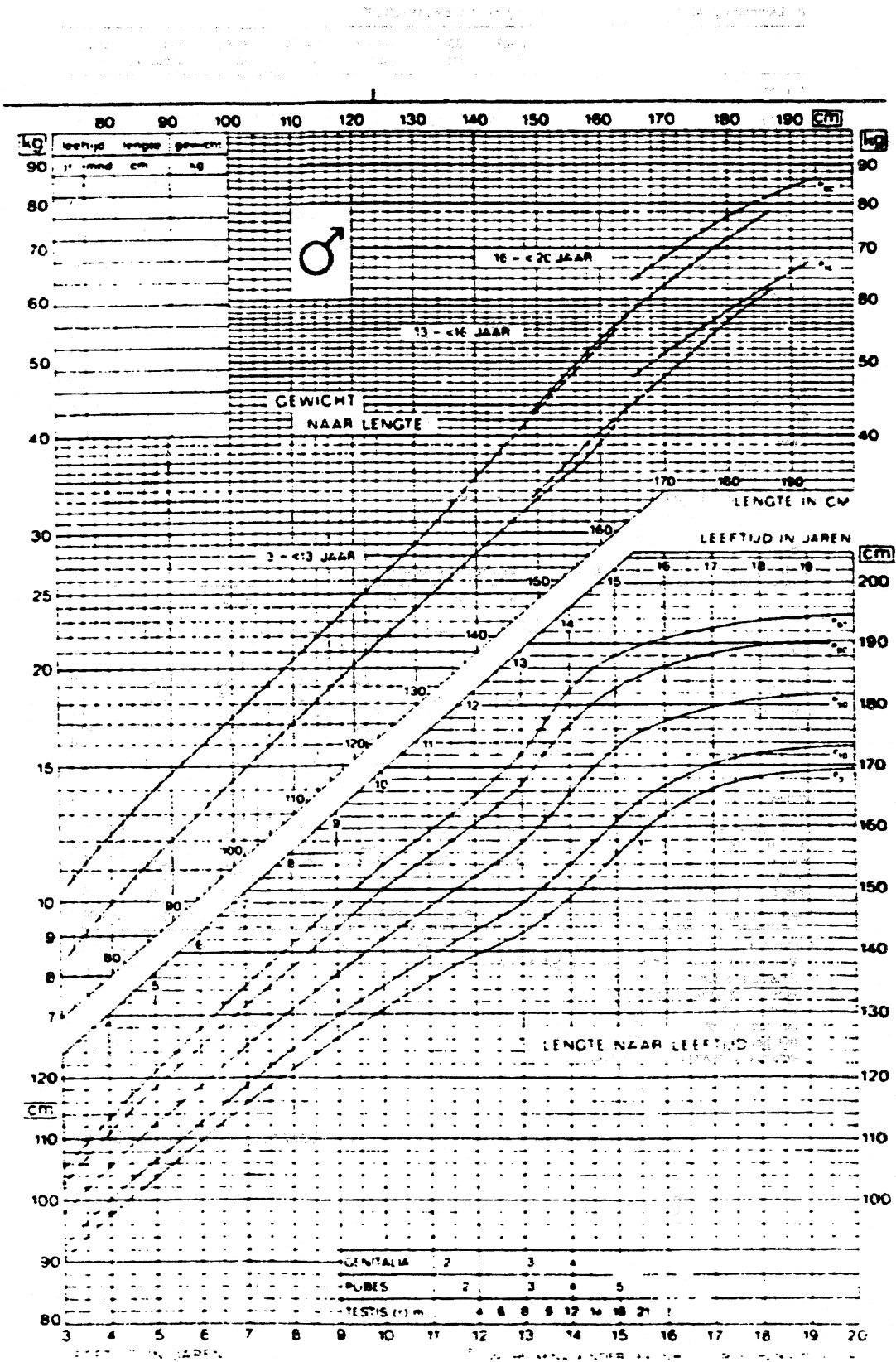
Q.I. 18,0-19,9;

Q.I. 20,0-26,9;

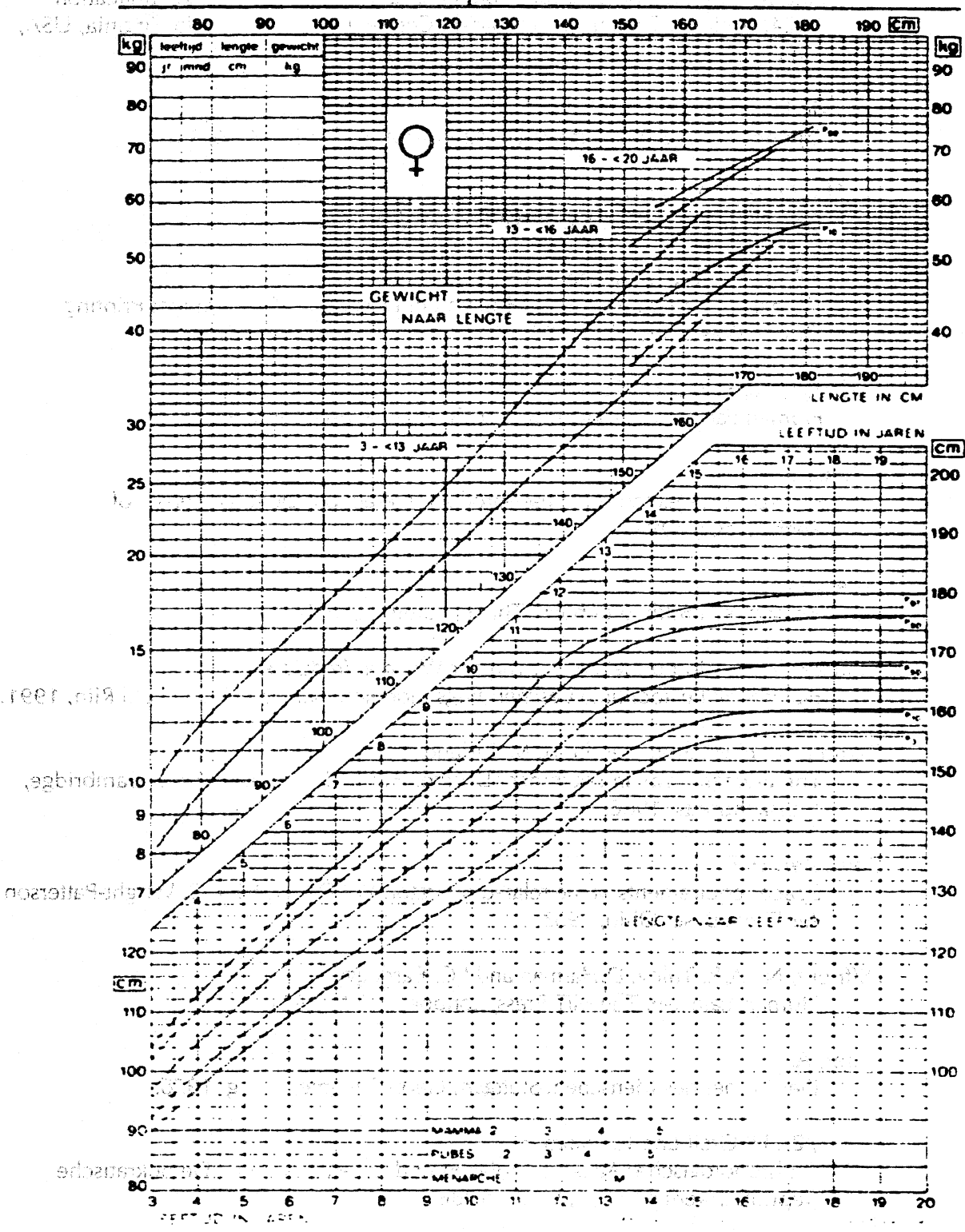
Q.I. 27,0-29,9;

Q.I. ≥30,0.

18 Groeidiagrammen



Groeidiagrammen voor 3-19jr jongens.



Groeiendiagrammen voor 3-19jr meisjes.

19 Handboeken in de ergonomie

- ARP (Anthropology Research Project)
 Anthropometric Source Book. Volume 1, 2, 3, NASA Reference Publication 1024, National Technical Information Centre (NTIS), Springfield Virginia, USA, 1978.
- Burandt, U.
 Ergonomie für Design und Entwicklung. Otto Schmidt, Köln, 1978.
- Chaffin, D. & G. Anderson
 Occupational Biomechanics. Wiley, London, 1984.
- Cott, H.P. van and R.G. Kinkade (eds)
 Human Engineering Guide to Equipment Design. US Government Printing Office, Wasington DC, 1972.
- Cushman, W.H. and B.J. Rosenberg
 Human Factors in Product Design. Elsevier, Amsterdam, 1991.
- Daams, B.
 Human force exertion in user-product interaction. Delft University of Technology, 1994.
- Feneis, H.
 Anatomisch Bildwörterbuch. Thieme, Stuttgart, 1974.
- Hoftijzer, R., R. Noordhoeken D.J. van der Weijden (redactie)
 Handboek Persoonlijke Beschermingsmiddelen. Samson, Alphen a/d Rijn, 1991.
- Damon, A., H.W. Stoudt and R.A. McFarland
 The Human Body in Equipment Design. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1966.
- Dempster, W.F.
 Space requirements of the related operator. WADC-TR-55-159. Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, 1955.
- Diffrient, N., A.R. Tilley, D. Harman and J.C. Bardaggy
 Humanscale 1-9. The MIT Press, London, 1974 - 1981.
- Faller, A.
 Der Körper des Menschen. Stuttgart, Georg Thieme Verlag, 1978.
- Flügel, B., H. Greil und K. Sommer.
 Anthropologischer Atlas. Grundlagen und Daten, Deutsche Demokratische Republik. Verlag Tribne, Berlin, 1986.
- Grandjean, E.
 Fitting the task to the man: An ergonomic approach. Taylor & Francis, Londen, 1980.

- Jürgens, H.W., I.W. Aune und U. Pieper.
Internationaler Anthropometrischer Datenatlas, FB587. Bundes Anstalt für
Unfallforschung, Dortmund, 1989.
- Knussman, R.
Anthropologie. Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen
(begruendet von Rudolf Martin). Fischer Verlag, Stuttgart, 1988.
- Lange, W.
Kleine Ergonomische Datensammlung. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz
und Unfallforschung. Verlag TOV Rheinland, 1985.
- Lueder, R.
Hard facts about soft machines. The ergonomics of seating. Taylor & Francis,
London, 1994.
- Lombaers, J.H.M., J.F.M. Molenbroek en D.S.C. Osinga
Antropometrische modellen. Overzicht en vergelijking van modellen van mens
en werkplek. Reeks Industrieel Ontwerpen, Bijzondere Onderwerpen, deel 10.
Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TUDelft, 1985.
- Molenbroek, J.F.M., J.J. Houtkamp en A.K.C. Burger
Bejaardenantropometrie. Reeks Bijzondere Ontwerpen IO, deel 6, Faculteit van
het Industrieel Ontwerpen, TU-Delft, 1983.
- Molenbroek, J.F.M.
Op maat gemaakt, Menselijke maten voor het ontwerpen en beoordelen van
gebruiksgoederen. Dissertatie. Series Physical Ergonomics, Faculteit Industrieel
Ontwerpen, Technische Universiteit Delft, Delftse Universitaire Pers, 1994.
- Neufert, E.
Architects Data. Granada, Wiley, London, 1980.
- Norman, D.
Dictatuur van het design. AW Bruna Utrecht, 1990.
- Pheasant, S.
Bodyspace. Anthropometry, Ergonomics and Design. Taylor & Francis, London,
1986.
- Roebuck, J.A., K.H.E. Kroemer and W.G. Thomson
Engineering anthropometry methods. Wiley, London, 1975.
- Roebuck, J.
Anthropometry. Human Factors and Ergonomics Society, Santa Monica, 1995.
- Rozendal, R.H.
Inleiding in de kinesiologie van de mens. Culemborg, Stam technische boeken,
1990.
- Sanders, M. en E.J. Mc Cormick
Human factors in engineering and design edition 6, Mc Graw-Hill, N.Y., 1992.

Snijders, C.J., M. Nordin en V. Frankel (eds.) *Biomechanica van het spierskeletstelsel*. Lemma, Utrecht, 1995.

Staarink, H.

Sitting posture, comfort and pressure. Dissertation. Delft University Press, 1995.

Steenbekkers, L.P.A.

Child development, design implications and accident prevention. Dissertation. Series Physical Ergonomics, Faculty Industrial Design Engineering, Delft University Press, 1993.

Tilley, A.R.

The measure of man and woman. Henry Dreyfuss Associates, New York. Whitney Library of Design, New York, 1993.

Voskamp, P. (Redactie)

Jaarboek Ergonomie. Samson, Alphen aan den Rijn, 1994.

Williams, M and H. Lissner

Biomechanics of the human motion. WB Saunders Company, Philadelphia, London, 1962.

Woodson, W.E.

Human Factors Design Handbook. McGraw Hill, New York, 1981, 1992.

Zacharkov, D.

Posture, sitting, standing, Chair design & exercise, Charles Thomas Publisher Springfield USA, 1988.