

# Op maat gemaakt

Menselijke maten voor  
het ontwerpen en beoordelen  
van gebruiksgoederen

*J.F.M. Molenbroek*





6.11.1988

# Op maat gemaakt

Menselijke maten voor het ontwerpen en beoordelen van gebruiksgoederen

2441  
623  
9

Bibliotheek TU Delft



C 0003808684



# Op maat gemaakt

Menselijke maten voor het ontwerpen  
en beoordelen van gebruiksgoederen

*J.F.M. Molenbroek*

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Molenbroek, J.F.M.

Op Maat Gemaakt; menselijke maten voor het ontwerpen en beoordelen van gebruiksgoederen / J.F.M. Molenbroek. - Delft: Delftse Universitaire Pers - Ill. - (Series Physical Ergonomics; 3). Ook verschenen als proefschrift Technische Universiteit Delft, 1994. Met lit. opg. - Met samenvatting in het Engels.

ISBN 90-6275-996-3

NUGI 752

Trefwoorden: antropometrie/productontwikkeling; ergonomische aspecten

*Met dank voor:*

supervisie  
techniek en organisatie  
statistiek en programmeerwerk

het meten van 1500 mensen  
tekstverwerking

kritisch lezen

correctie Engels  
tekeningen  
lay-out

*aan:*

Prof. dr. Hans Dirken en Prof. dr. Hans van Wieringen  
Henk Lok en ing. Hans Houtkamp  
Carolien van de Sluis, Claartje Vorstmans, Paul Stork,  
Henk Arisz, drs. Sylvia de Vries en met name ir. Marc de Hoogh  
Tammo ter Hark en Henk Lok  
Mary de Blij, Carla Gerbracht, Linda Roos,  
Monique van de Veer en Corry Vreugdenhil  
ir. Iemkje Ruiten, ir. Jaap Lombaers, Heiko Pentenga  
en Prof. ir. Toon Witkam  
Marcus de Geus  
Bart Kip, Paula Allende en Dieuwertje Daams  
ir. Maarten P. Wilming en ir. Peter Kraaijeveld

© 1994 J.F.M. Molenbroek

ISBN 90-6275-996-3

All rights reserved. No part of the material protected by this copyright notice may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage and retrieval system, without permission from the publisher.

Uitgegeven door:

Delftse Universitaire Pers, Stevinweg 1, 2628 CN Delft

Telefoon: (015) 783254; Fax: (015) 781661

Deze publikatie is de handelseditie van het gelijknamige proefschrift.

大地恒長  
牛性相習

*"De os is traag maar de aarde is geduldig."*  
(Lau-tse, 300 voor Chr.)

*Voor Marry, die 10 jaar trouw luisterde naar waarom het nog niet af was,  
voor Elwin en Wouter, zij gaven me de energie om dit boek te schrijven,  
voor mijn familie.*



# Inhoud

<b>1 Inleiding</b>	<b>11</b>
1.1 Algemeen	11
1.2 Antropometrie en gebruiksvorwerpen	11
1.3 Ongevallen	14
1.4 Economie	15
1.5 Doel, vraagstellingen en opzet van deze studie	16
1.6 Gebruik van antropometrische data	19
<b>2 Variatie in menselijke vorm en afmeting</b>	<b>23</b>
2.1 Inleiding	23
2.2 Samenhang met leeftijd	24
2.2.1 <i>Inleiding</i>	24
2.2.2 <i>Groeistudies</i>	26
2.2.3 <i>Vorm, afmeting en gewicht van een embryo</i>	28
2.2.4 <i>Vorm, afmeting en gewicht van een foetus</i>	32
2.2.5 <i>Vorm, afmeting en gewicht van baby tot adolescent</i>	38
2.2.6 <i>Vorm, afmeting en gewicht van een volwassene</i>	47
2.2.7 <i>Vorm, afmeting en gewicht van een oudere</i>	55
2.3 Samenhang met sexe	58
2.4 Samenhang met etniciteit	62
2.5 Samenhang met lichaamsbouw	65
2.5.1 <i>Inleiding</i>	65
2.5.2 <i>Lichaamsbouw en menselijke activiteit</i>	69
2.5.3 <i>Het kwantificeren van de lichaamsbouw (proportionaliteit)</i>	73
2.5.3.1 <i>Indices</i>	73
2.5.3.2 <i>Somatotypologie volgens Sheldon</i>	75
2.5.3.3 <i>Modificaties van Heath en Carter</i>	76
2.5.3.4 <i>MIRA-project</i>	76
2.5.3.5 <i>Bepaling van vetvrije massa</i>	78
2.5.3.6 <i>Bepaling van de vetmassa</i>	79
2.5.3.7 <i>Methode van Pheasant</i>	83
2.5.3.8 <i>Fantomvergelijking</i>	84
2.5.3.9 <i>Factoranalyse van antropometrische data voor somatotypologie</i>	85
2.5.3.10 <i>Conclusie</i>	86
2.6 Samenhang met overige factoren	87
2.6.1 <i>Voeding</i>	88
2.6.2 <i>Seculaire groeiverschuiving</i>	89
2.6.3 <i>Socio-economische factoren</i>	93
2.6.4 <i>Kleding</i>	96
2.6.5 <i>Omgeving</i>	96
2.6.6 <i>Verschil tussen linker en rechter lichaamshelft</i>	99
2.6.7 <i>Etmaalsritme</i>	101

2.6.8	<i>Ziekte</i>	101
2.6.9	<i>Genen</i>	102
2.6.10	<i>Hormonen</i>	105
2.6.11	<i>Statische en dynamische houding</i>	106
2.7	Samenvatting	108
<b>3</b>	<b>Antropometrische produktmodellen</b>	<b>111</b>
3.1	Inleiding	111
3.1.1	<i>Het antropometrisch ontwerpproces</i>	112
3.1.2	<i>Validiteit van modellen</i>	115
3.1.3	<i>Meetbetrouwbaarheid</i>	117
3.1.4	<i>Operationaliteit</i>	119
3.1.5	<i>Conclusie</i>	121
3.2	Antropometrische modellen	121
3.2.1	<i>Inleiding</i>	121
3.2.2	<i>Tabellen</i>	122
3.2.3	<i>Twee-dimensionale manikins</i>	131
3.2.4	<i>Drie-dimensionale manikins</i>	131
3.2.5	<i>Proefpersonen</i>	134
3.2.6	<i>Overige A-modellen</i>	134
3.2.7	<i>Conclusie</i>	134
3.3	Produktmodellen	135
3.3.1	<i>Inleiding</i>	135
3.3.2	<i>2D-produktmodellen</i>	136
3.3.3	<i>Conclusie produktmodellen</i>	137
3.4	Conclusie AP-modellen	137
<b>4</b>	<b>Proefstudies</b>	<b>139</b>
4.1	Inleiding	139
4.2	Omschrijving van de methoden en resultaten van drie proefstudies	140
4.2.1	<i>Delftse kinderen (bestand DELKI)</i>	140
4.2.2	<i>Delftse studenten (bestand DELSTU)</i>	145
4.2.3	<i>Haagse senioren (bestand GDVV)</i>	149
4.3	Vergelijking van de drie populaties	152
4.3.1	<i>Gemiddelde waarde</i>	152
4.3.2	<i>Standaarddeviatie</i>	152
4.3.3	<i>Variatie-coëfficiënt</i>	154
4.3.4	<i>Vergelijking met KIMA</i>	155
4.4	Correlaties	156
4.4.1	<i>Correlaties bij kinderen</i>	156
4.4.2	<i>Correlaties bij studenten</i>	158
4.4.3	<i>Correlaties bij senioren</i>	160
4.4.4	<i>De correlatie per soort maat</i>	161
4.5	Groepering van variabelen	163
<b>5</b>	<b>Statistische bewerking van antropometrische data</b>	<b>167</b>
5.1	Inleiding	167
5.2	Doelgroepen en produktmaatsystemen	168
5.2.1	<i>Doelgroepen</i>	168
5.2.2	<i>Produktmaatsystemen</i>	170

5.3	Bewerken van antropometrische data	177
5.3.1	<i>Bij het gaan ontwerpen</i>	178
5.3.2	<i>Bij het vaststellen van de gebruikers</i>	192
5.3.3	<i>Bij het minimaliseren van de uitsluitingen</i>	203
5.3.4	<i>Bij het verrichten van onderzoek</i>	208
<b>6</b>	<b>Het meetproces</b>	<b>219</b>
6.1	Inleiding	219
6.2	Geschiedenis van het meten van de mens	220
6.3	Variaties in meetmethoden	224
6.3.1	<i>Enquête</i>	224
6.3.2	<i>Klassieke antropometrie</i>	225
6.3.3	<i>Fotogrammetrie</i>	227
6.4	Meetfouten bij de klassieke antropometrie	229
6.5	Ontwikkeling van een eigen meetsysteem	231
6.5.1	<i>Doelstelling</i>	231
6.5.2	<i>Programma van eisen en wensen</i>	237
6.5.3	<i>Meetprocedure</i>	241
6.5.4	<i>Ontwerp van een meetopstelling</i>	242
6.6	Samenvatting	245
<b>7</b>	<b>Een antropometrisch data systeem</b>	<b>247</b>
7.1	Inleiding	247
7.2	Eisen aan het functiemodel	251
7.3	Eisen aan het datamodel	254
7.4	Beschrijving van het ontwerp van het Antropometrisch Informatie Systeem	256
7.5	Evaluatie van de Antroteek	259
7.6	Samenvatting	260
<b>8</b>	<b>Evaluatie en suggesties voor verdere onderzoek en ontwikkeling</b>	<b>261</b>
8.1	Kwalitatieve terugblik	261
8.1.1	<i>Sterke kanten van de theoretische implicaties</i>	261
8.1.2	<i>Zwakke kanten van de theoretische implicaties</i>	262
8.1.3	<i>Sterke kanten van de praktische implicaties</i>	262
8.1.4	<i>Zwakke kanten van de praktische implicaties</i>	264
8.2	Kwalitatieve vooruitblik	264
	<b>Samenvatting</b>	<b>269</b>
	<b>Summary</b>	<b>285</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>301</b>
	<b>Bijlagen</b>	<b>335</b>
	<i>Bij Hoofdstuk 1</i>	
1.1	Enquête onder ontwerpers	335
	<i>Bij Hoofdstuk 2</i>	
2.1	Prenatale groeicurve van de hoofdbreedte volgens Hameeteman (1973)	337
2.2	Tabel met geschatte foetale maten volgens Hameeteman (1973)	

en Stoutenbeek (1982)	338
2.3 Longitudinale groeisnelheidscurve met pré-puberele groeispuurt van de Berkeley kinderen (Bock and Thissen, 1980)	339
2.4 Afmetingen Rob Bruintjes (1989)	340
2.5 Voorspelling volwassen lengte volgens Tanner (1975)	342
2.6 DINED-tabel (1986)	344
2.7 DINED-tabel vergeleken met methode Pheasant	346
<i>Bij Hoofdstuk 3</i>	
3.1 Overzicht van gebruikte antropometrische onderzoeken	347
<i>Bij Hoofdstuk 4</i>	
4.1 Meetdefinities	348
<i>deel 1 Afbeelding volgens Martin</i>	349
<i>deel 2 Overzicht van definities naar antropometrisch onderzoek</i>	350
<i>deel 3 Meetdefinities lichaamsmaten gebruikt bij de proefstudies</i>	352
4.2 Meetresultaten van het DELKI-project	361
4.3 Meetresultaten van het DELSTU-project	366
4.4 Meetresultaten van het GDVV-project	367
<i>Bij Hoofdstuk 5</i>	
5.1 Enkele statistische kentallen van het normaliteitsvraagstuk	368
5.2 Resultaten clusteranalyse bij het normaliteitsvraagstuk	369
5.3 Regressievergelijkingen normaliteitsvraagstuk	371
5.4 Voorbeeld percentielprofiel	372
<b>Lijst van begrippen</b>	<b>373</b>
<b>Auteursregister</b>	<b>379</b>
<b>Trefwoordenregister</b>	<b>385</b>

# 1 Inleiding

## I.1 Algemeen

Alledaagse gebruiksvoorwerpen zijn ontworpen en vervaardigd voor mensen. Dat geldt voor de talloze hulpmiddelen voor 'iedereen' in het huishouden, bij rusten, eten, studeren, schoonmaken ed. of in openbare ruimten bij vervoer, sport ed. Dat geldt tevens voor de beroepsbeoefenaar die eveneens allerlei voorwerpen en toestellen gebruikt. Het zijn vooral de hulpmiddelen die in serie en massa door de industrie worden gefabriceerd, op de markt verschijnen en het dagelijks functioneren ondersteunen en vergemakkelijken, die in deze studie van belang zijn. Willen deze hulpmiddelen aan hun doel beantwoorden, dan zullen ze aan de menselijke mogelijkheden, beperkingen, intenties en gewoonten moeten zijn aangepast. Een belangrijk aspect daarbij is dat ze ook letterlijk moeten passen bij de fysieke kenmerken van de gebruikers: lichaamslengte, gewicht en kracht, armlengte, handmaten en bewegingsmogelijkheden van lichaamssegmenten. De kwaliteit van deze producten wordt derhalve ook bepaald als de produktontwerper ze in die betekenis op maat heeft gemaakt.

Mogelijke oorzaken voor het feit dat er te weinig antropometrische gegevens worden gebruikt waar dit essentieel kan zijn, zijn wellicht:

- ontbreken van gegevens;
- onbruikbare tabellen;
- onjuistheid van data;
- onkunde van ontwerpers en beoordelaars.

In deze studie zal een antropometrisch informatiesysteem worden ontwikkeld, via een uitgebreid literatuuronderzoek, drie proefstudies, een overzicht van een aantal statistische bewerkingsmethoden en een ontwerp van een semi-automatische meetopstelling.

## I.2 Antropometrie en gebruiksvoorwerpen

Vanaf de vuistbijl in de te achterhalen prehistorie tot en met de schop in deze eeuw was de gebruiker bij de maker van het produkt gewoonlijk bekend. De ontwerper en de maker waren heel vaak dezelfde persoon. Al eeuwen lang zijn er groepen mensen op fysieke eigenschappen bestudeerd (Vitruvius, Leonardo da Vinci, Albrecht Dürer, etc.), met als doel een ideaal beeld te scheppen van de menselijke vorm en afmeting (Heberer e.a., 1959). De menselijke verscheidenheid werd pas veel later onderwerp van aandacht

(bijvoorbeeld bij Quetelet in de tweede helft van de 19de eeuw en later bij Martin in het begin van de 20ste eeuw), niet onder invloed van cultuur, arbeid en/of milieu, maar wel onder invloed van voeding, klimaat en aanleg (De Froe, 1948).

Tot midden vorige eeuw werden talrijke 'vuist-regels' (in het Engels 'rules of thumb' genoemd), die op lichaamsmaten zijn gebaseerd, intensief in de maatschappij bij het maken van gereedschappen gebruikt (Drillis, 1963). Onder meer bespreekt hij de relevante produktmaten van de bijl, de zeis, de hark, de moker, de schop, de dorsvlegel, de vijl, de tafel en de stoel, alle uitgedrukt in menselijke maten (Figuur 1.1). Hij concludeert op blz. 427: *'these norms have agreed with those established as optimally by means of biomechanical analysis'*. Dit wil zegen dat de richtlijn, uitgedrukt in eenheden zoals duimen, ellen, vuisten, etc., via trial en error in eeuwen geoptimaliseerd is en biomechanisch verantwoord genoemd zou kunnen worden. Dit bleef echter een individuele aanpassing zolang hierbij de betreffende maten van de toekomstige gebruiker genomen werden. Een vrij recent voorbeeld is dat een sok goed past indien de lengte van de zool gelijk is aan de vuistomtrek; deze regel werd tot de jaren '80 toegepast bij verkoop op markten toen er nog geen verplichte etikettering van schoenmaten op de sokken was.

Antropometrie in de sport wordt geïllustreerd door de volgende voorbeelden van sportattributen met de daarachter vermelde antropometrische variabele (Tabel 1.1). Blijkens gesprekken met sportleraren wordt momenteel de genoemde variabele gebruikt bij de beoordeling van het passende attribuut.

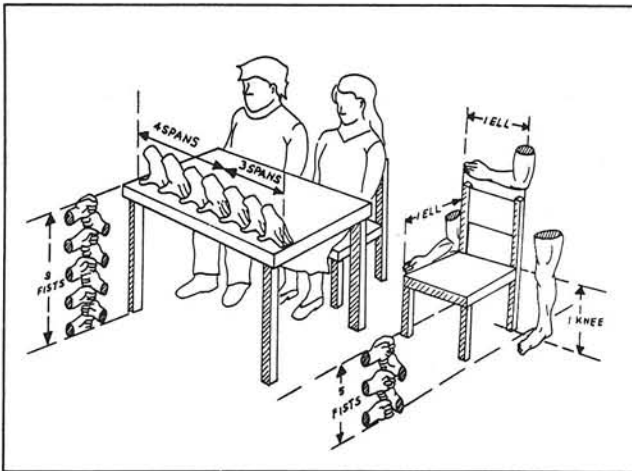
sport attribuut	variabele
hoogte volleybalnet	leeftijd
lengte ski-stok	okselhoogte
lengte langlauf-ski	lichaamslengte + handbreedte
bowlingbal	vingerbreedten
tennisracket	handomvang intern
kogel stoten, discus werpen,	lichaamsgewicht + geslacht
voet- en handballen	leeftijd en geslacht
breedte brug bij turnen	elleboog-vingertop
hardloopschoenen	voetlengte, voetbreedte, geslacht
hockey-stick	navelhoogte

Tabel 1.1: Relevante fysieke variabelen voor enkele sport attributen volgens daartoe geïnterviewde sportleraren.

Voor enkele beroepen en sporten worden mensen geselecteerd op basis van lichaamsafmetingen om ervoor te zorgen dat de bijbehorende functies beter worden uitgevoerd of omdat de bijbehorende attributen dan beter passen, soms om daardoor ongevallen te voorkomen en/of betere prestaties te laten verrichten: piloten, balletdansers, basketballers, marathonlopers, judoka's. Op de ontwikkeling van de antropometrie zal nog verder worden ingegaan in Hoofdstuk 6. Sinds het ontstaan van de serie- en massaproductie aan het eind van de vorige eeuw voor vaag omschreven gebruikerspopulaties bleek steeds vaker dat de gebruiker niet goed kon omgaan met het

aangeleverde produkt, omdat het niet optimaal op zijn/haar fysieke eigenschappen was afgestemd. Dit leidde tot gebrek aan hanteerbaarheid, tot onnodige vermoeiing, minder produktiviteit en ongevallen. Vanuit de militaire sfeer bleek het eerst de noodzaak om hieraan iets te doen. Rond 1950 is hierdoor de ergonomie ontstaan omdat men ontdekte meer menskundige kennis nodig te hebben om op wetenschappelijke wijze de interactie tussen serieuw produkt en onbekende gebruiker te kunnen optimaliseren naar nut, veiligheid, comfort, hanteerbaarheid en doelmatigheid. Voor de afstemming van een produkt op de menselijke maat zijn specifieke antropometrie en daarop geëigende statistiek noodzakelijk. Bij het bepalen van de relevante afmetingen van de gereedschappen die in serie worden geproduceerd, dient men zich te realiseren dat individuele aanpassing vaak te duur is en dat van de toekomstige gebruiker niet de individuele maten bekend zijn, hoogstens statistische gegevens van de groep waartoe de gebruiker behoort.

Bij het ontstaan van de ergonomie bleek dat er overlap bestond met de antropologie voor de seriematige produktie van (gebruiks-) goederen (Industrie Anthropologie in Duitsland, Engineering Anthropology in USA). De kennis van industrieel ontwerpen en fysieke antropologie is met behulp van de statistiek in dit boek geïntegreerd. In deze studie speelt de 'gebruiker' een essentiële rol. De wijze waarop produkten worden gebruikt bepaalt welke lichaamsmaten relevant zijn en welke de toeslag factoren zijn voor kleding en houding en wat de kritische percentielwaarde is.



*Figuur 1.1 Historische standaardmaten voor tafel en stoel, gebaseerd op de menselijke maat (Drillis, 1963).*

## 1.3 Ongevallen

Cijfers over ongevallen die verband houden met verkeerde (menselijke) maatgeving, zijn niet eenvoudig te vinden in documenten over de medisch behandelde ongevallen, hoewel deze veelal uitvoerig worden geanalyseerd, zoals blijkt in onder meer CBS/SMR (1982). De meest genoemde risicovolle afstand in verband met antropometrie is de afstand tussen de spijlen van de box, waar een kinderhoofdje niet door mag kunnen. In de Nederlandse databank PORS (Produkt Ongevallen Registratie Systeem) van de Stichting Consument en Veiligheid te Amsterdam wordt steekproefsgewijs van 10% van alle medisch behandelde ongevallen in de privé-sfeer in Nederland, vastgelegd wat de aanleiding en de oorzaak was. Het zoeken in PORS naar ongevallen met een 'antropometrisch' aspect leverde op dat dit vooral beknellingsongevallen zijn (Hoefnagels en Van Aken, 1991). Van de 2,5 miljoen geregistreerde ongevallen in Nederland in 1992 betrof 1,3% beknelling van hand, voet, hoofd of gehele lichaam. Totaal betekent dit in Nederland een aantal van 32.000 medisch behandelde letsels per jaar en vooral betreft dit kinderen van 0-14 jaar met een piek bij 2-5 jaar. Producten, die hierbij een rol spelen, zijn onder meer speeltoestellen en fietsen. Ten aanzien van dit laatste produkt schatten Bruggers en Mulder (1992) dat er 4000 spaakongevallen in Nederland voorkomen met voetletsels als gevolg. In Donkers et al. (1993) worden de mogelijke relaties tussen de kinderfiets, ongevallen en de menselijke maat geanalyseerd en worden voorstellen voor verbetering van de vigerende normen gedaan. Voor de Europese CEN-norm voor speeltoestellen doen Hoefnagels en Van Aken gedetailleerde voorstellen ter preventie van beknellingsongevallen. Hierbij zijn antropometrische gegevens essentieel. De auteurs concluderen, dat in de meeste antropometrische studies de relevante maten voor beknelling ontbreken. Dit zijn de minimale opening waar een lichaam door heen kan en de grootste diameter van het hoofd.

Enkele andere voorbeelden in verband met veiligheid:

*Politiepistool.* Het Nederlandse politiepistool, de Walther P5 (die aanduiding P5 is eigenlijk cynisch in deze context, want P5 staat verder in dit boek voor '5de percentiel', zodat hier verwacht zou kunnen worden dat het pistool aan de kleine gebruikers is aangepast), is te groot voor kleine handen en is zeker niet geschikt voor vrouwenhanden kleiner of gelijk aan de vijfde percentielwaarde. De experimentele resultaten van Oh en Radwin (1993) met 18 studenten, die geselecteerd werden op hun handlengte, zouden bij de keuze van een nieuw politiepistool zeer nuttig zijn.

*Doorgangen.* Bij huizen, kantoren en fabrieken, maar ook bij schepen, treinen en bussen, spelen doorgangen een essentiële rol bij de aan- en afvoer van mensen. In noodgevallen dienen alle mensen snel een doorgang te kunnen passeren. Doorgangen die vaak door rolstoelgebruikers nog niet gepasseerd kunnen worden, zijn de gangpaden in het openbaar vervoer, zodat bijvoorbeeld zelfstandig toiletgebruik onmogelijk wordt.

*Gevangenis.* Sommige doorgangen dienen echter zodanig te zijn ontworpen dat er geen mens doorheen kan: bijvoorbeeld een etensluikje van 30 \* 17 cm in de gevangenis bleek in 1993 toch te leiden tot 3 ontsnappingen. Enkele cijfers uit eigen onderzoek tonen aan



dat dit te voorspellen was op basis van de lichaamsmaten van de studenten (Hoofdstuk 4):

- de minimale heupbreedte was 278 mm, voldoende smal voor een 300 mm breed luik;
- de minimale borstdiepte was 163 mm, eveneens voldoende klein voor de hoogte van het etensluik van 170 mm.

In het algemeen zijn er weinig normen en wetten waarin antropometrische richtlijnen, gericht op de preventie van ongevallen opgenomen zijn. Enkele uitzonderingen zijn het Speelgoedbesluit en het Bouwbesluit.

In het Speelgoedbesluit van de Warenwet, zijn onder meer de kleinste vingerbreedte, de doorsnede van de keelholte en de hoofdbreedte van een kind maatgevend.

In het Bouwbesluit zijn deurbreedte en deurhoogte gerelateerd aan respectievelijk de breedte en de hoogte van de mens, die al dan niet is voorzien van een rolstoel.

Door de nieuwe aanpak van de Europese Unie en de oprichting van CEN/TC/122 (ergonomie) en ook CEN/TC/252 (kinderveiligheid) neemt het belang van en het aantal 'ergonomische' Europese normen drastisch toe. De antropometrie is bij deze normering van groot belang bij het formuleren van richtlijnen voor veiligheid en comfort. Door de koppeling van de Europese CEN-normen aan de Europese Richtlijnen zijn deze normen een deel van de wet- en regelgeving in de lidstaten van de Europese Unie (Voskamp, 1994). Hierbij worden veel bestaande ISO-normen omgezet in CEN-normen. Dit is onder meer te merken aan de grotere aandacht voor beeldschermwerkplekken, beeldschermbrillen en overige persoonlijke beschermingsmiddelen in het kader van de arbeidsomstandigheden, hetgeen vooral in artikel 3 van de Nederlandse Arbowet tot uitdrukking wordt gebracht. Door de Europese Richtlijnen wordt ook meer nadruk gelegd op de aansprakelijkheid voor de schade die een werknemer kan oplopen. De werkgever dient aan te tonen voldoende zorg te hebben besteed aan de preventie van mogelijke risico's, waardoor er meer belangstelling is ontstaan voor de certificering van producten of van processen.

## I.4 Economie

Naast concrete preventie van ongevallen en het meer abstracte vergroten van comfort is de antropometrie economisch van belang. Hierna volgen enkele voorbeelden, waarbij de antropometrie een rol had kunnen spelen of nog steeds kan spelen:

- 1 Als een zittingdiepte van een stoel 10 cm korter mag zijn, kunnen er meer zittingen uit een plaat gehaald worden, hetgeen minder materiaalverlies en/of een lagere materiaalprijs tot gevolg heeft.
- 2 In het Thialfstadion in Heerenveen bleken slechts 13.000 in plaats van 16.000 toeschouwers te kunnen, omdat er op 4 in plaats van 3 mensen per m<sup>2</sup> is gerekend voor de staanplaatsen. Verder is door de overheid besloten dat vanaf 1994 in stadions alleen maar zitplaatsen aangeboden mogen worden.

- 3 In het stadion van Tokio bij de Olympische Zomer Spelen in 1964 bleken aanzienlijk minder toeschouwers te kunnen dan verwacht, omdat Europeanen forser van afmetingen zijn dan door de bouwers van het stadion was verwacht.
- 4 Bij het vaststellen van de CEN-normen voor kantoor- en schoolmeubelen in de komende jaren met erin relatief veel antropometrische gegevens, zullen de fabrikanten reeds geïnvesteerd hebben in nieuwe produktiemiddelen en voorraadvorming, om zo snel mogelijk de klant een meubel volgens die CEN-norm te kunnen leveren. Nederland heeft hierbij veelal een uitzonderingspositie vanwege de grotere gemiddelde lichaamslengte, hetgeen vaak tot gevolg heeft dat Nederland niet akkoord gaat met een norm-voorstel, tenzij expliciet met die grotere maten rekening is gehouden.

## 1.5 Doel, vraagstellingen en opzet van deze studie

Bij het industrieel ontwerpen van produkten, die tijdens gebruik in aanraking kunnen komen met het menselijk lichaam, of waar het blikveld van de gebruiker een rol speelt, heeft de ontwerper antropometrische gegevens nodig om ontwerpen te kunnen maken en beoordelen. Voor het beoordelen van bestaande produkten geldt hetzelfde.

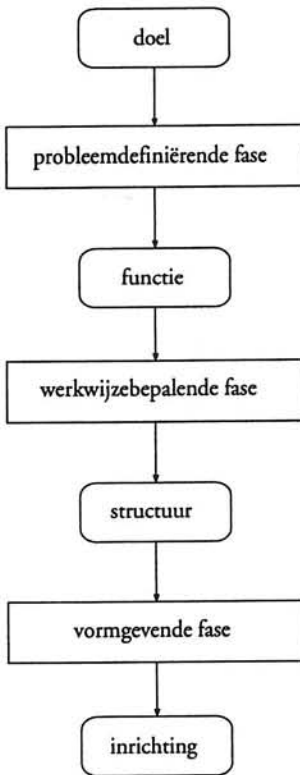
Een ontwerp doorloopt een iteratief proces, dat door diverse auteurs is beschreven, onder meer door Van den Kroonenberg (1974) en Roozenburg en Eekels (1991). Van den Kroonenberg ontwikkelde zijn 3-fasen model voornamelijk voor het werktuigkundig ontwerpen (Figuur 1.2). Roozenburg en Eekels noemen hun 4-fasen model 'de basiscyclus van het ontwerpen', hetgeen is gebaseerd op het industrieel ontwerpen van consumentenprodukten en produkten voor professioneel gebruik (Figuur 1.3).

De antropometrische aspecten bij het ontwerpen zijn niet slechts bij één fase van belang. Wil men een antropometrisch verantwoord ontwerp maken, dan vereist dit een voortdurende terugkoppeling naar het ontwikkelde concept-ontwerp.

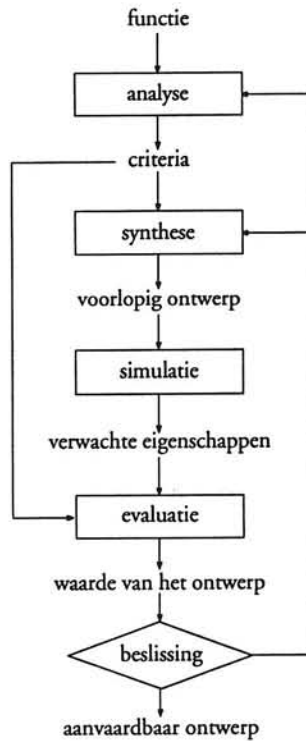
Er is in principe een eindeloze verzameling van meetgegevens over lengten, doorsneden, omvangen, vormen en bewegingskracht-mogelijkheden van de mens. Niet alle zijn relevant voor het omgaan met gebruiksgoederen en per produkt behoeft men slechts een beperkt aantal gegevens tot een bepaalde graad van nauwkeurigheid. Verder vertonen veel gegevens per individu of per groep van de gebruikers een samenhang, zodat uit enkele basisdata redelijkerwijs ook diverse andere maten kunnen worden voorspeld.

### Doel

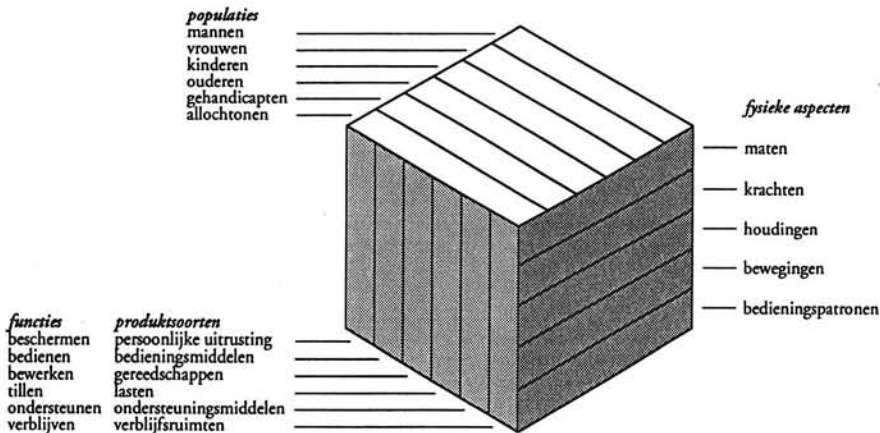
Het doel van deze studie is het ontwikkelen van een antropometrisch datasysteem, dat bruikbaar is voor de ontwerper en produktbeoordelaar en dat met geringe moeite up-to-date kan worden gehouden.



*Figuur 1.2: Fasering ontwerpproces (Van den Kroonenberg, 1974).*



*Figuur 1.3: Basiscyclus van het ontwerpen (Rozenburg en Eekels, 1991).*

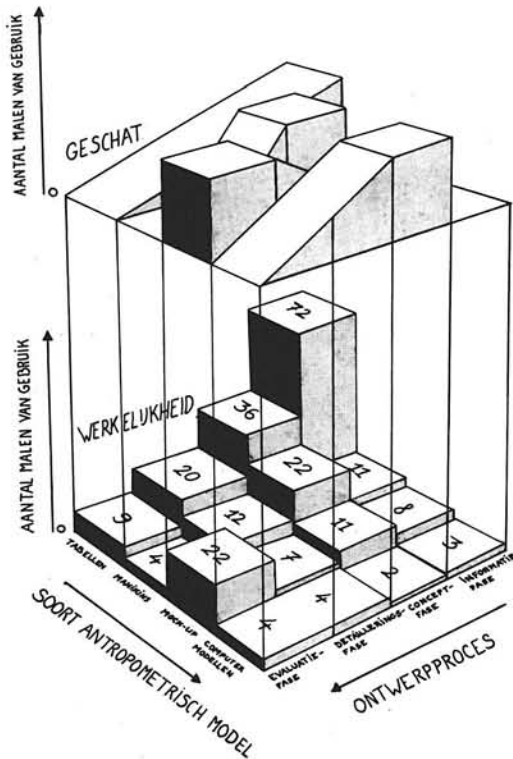


*Figuur 1.4: Kubus-model dat aangeeft binnen welke kader deze studie van de menselijke maat ligt.*

## Vraagstellingen

De vraagstellingen, met daarbij vermeld in welk hoofdstuk deze worden behandeld, zijn:

- 1 Wat is het algemeen belang van antropometrische data en hoe gaat de ontwerper ermee om. Welke antropometrische gegevens moeten minimaal gemeten c.q. gekend worden om maten te kunnen voorstellen die ontwerpers en beoordelaars willen c.q. behoren te weten (Hoofdstuk 1)?
- 2 Welke zijn de belangrijkste factoren die de variatie in vorm en afmeting van het menselijk lichaam bepalen (Hoofdstuk 2)?
- 3 Welke soorten gegevens zijn voor ontwerpers beschikbaar (Hoofdstuk 3)?
- 4 Wat is de variatie bij een drietal steekproeven van kinderen, studenten en bejaarden (Hoofdstuk 4)?
- 5 Wat is van belang voor de ontwerper/beoordelaar in verband met de onderlinge samenhang van de lichaamsmaten (Hoofdstuk 5)?
- 6 Hoe kunnen de benodigde gegevens gemeten worden als ze niet reeds bekend zijn (Hoofdstuk 6)?
- 7 Op welke wijze dienen de gegevens aan de ontwerper/beoordelaar gepresenteerd te worden, zodat optimaal gebruik wordt gestimuleerd (Hoofdstuk 7)?



Figuur 1.5: Overzicht van het aantal malen waarin antropometrische modellen in het ontwerpproces worden ingezet.

## Opzet

In deze studie gaat de aandacht uit naar een aantal lichaamssegmenten en daarvan vervolgens een beperkt aantal typen van antropometrische variabelen: lengte-, breedte-, omvangs- en dieptematen, gewrichtsexcursies, lichaamsmassa en knijpkracht. Een beeld van enkele produktsoorten, ingedeeld naar gebruik en uitgezet tegen fysieke aspecten en tegen diverse populaties (Figuur 1.4), geeft het ruimere kader van deze studie aan. Om een goede uitspraak te kunnen doen welke breedte, diepte en lengte ergonomisch verantwoord zijn, spelen genoemde drie soorten maten vooral een rol door hun variatie en centrale tendenties die met behulp van de statistiek goed te beschrijven zijn. Voor het bepalen van de hoogte van een deuropening dient men bijvoorbeeld niet zijn eigen lichaamslengte te kiezen, of het gemiddelde van een populatie, maar de 'langste' lengte (inclusief enkele toeslag factoren nodig voor helm en schoeisel e.d.). De 'langste' betekent althans een economisch haalbare percentielwaarde, bijvoorbeeld 99,9 %. P99,9 is dan de kritische percentielwaarde (Hoofdstuk 3). De achtergrond van deze variaties van geometrische en andere eigenschappen van gebruikers wordt in Hoofdstuk 2 beschreven. Er zijn diverse wijzen waarop de ontwerper kan inspelen op die variatieproblematiek. In Hoofdstuk 5 worden zes typen van oplossingen genoemd (Tabel 5.2). Dirken (1993) heeft op overeenkomstige wijze zeven ontwerptypen beschreven.

## 1.6 Gebruik van antropometrische data

Het algemeen belang van de antropometrische data is reeds aangegeven in het voorafgaande van dit hoofdstuk. Door middel van een enquête in 1986 onder 40 produktontwerpers is een beeld gekregen van het gebruik van antropometrische data door ontwerpers. Bijlage 1.1 doet verslag van dit onderzoek. Hieruit blijkt dat informatie aan ontwerpers heel gevarieerd dient te zijn, zowel globaal (gemiddelde lichaamslengte van een populatie) als specifiek (P3 pinkbreedte kind van 9 maanden). Qua produktsoort blijkt de steekproef van ondervraagde ontwerpers het meest te ontwerpen: 'ondersteuningsmiddelen', 'verblijfsruimten' en 'bedieningsmiddelen' en minder: 'machines', 'gereedschap', 'lasten' (=door de mens te dragen gebruiksgoederen, zoals koffers, babydraagzakken, rugzakken e.d.) en 'kleding of uitrusting'. Qua functie blijkt de steekproef het meest te maken te hebben met: 'reiken', 'zitten', 'hanteren' en 'staan' en minder met 'liggen'. 'Tabellen' en '2D-manikins' blijken meer gebruikt te worden als databron; daarentegen 'proefpersonen', 'computermodel' of 'draaischijven' minder. Helaas werden soms de eigen lichaamsmaten van de ontwerper als standaard genomen. Qua frequentie van gebruik kwam naar voren dat de variabelen lichaamslengte, reikwijdte, ooghoogte, onderbeenlengte en dijbeenlengte het meest frequent gebruikt werden door de ontwerpers.

Zelfstandig werkende ontwerpers gebruiken vaker antropometrische gegevens dan ontwerpers in instellingen of in een bedrijf. Naast de statische DINED-maten (Molenbroek en Dirken, 1986) heeft men vooral behoefte aan hand-, voet- en hoofdmaten, aan meer functionele maten, aan maten van specifieke groepen, aan

toeslagen en aan gewrichtsexcursies. De resultaten van de enquête geven de noodzaak en de inhoud aan van een antropometrische database.

Omdat de industrieel ontwerper vooral produkt-georiënteerd is, dienen maatgegevens en richtlijnen in dat gegevensbestand gerubriceerd te worden volgens gelijksoortige typen van omgangs c.q. bedieningsfuncties van en aan produkten. Bij het ontwerpen van nieuwe produkten zullen dan sneller verbanden met voorbeelden van andere produkten gelegd kunnen worden. Verder blijkt dat ontwerpers zowel deskundig als onervaren kunnen zijn in het omgaan met gegevens over menselijke afmetingen. Het datasysteem moet dus voor allen bruikbaar zijn. Ontwerpers hebben vaak meer aan gegevens van gebruikers van hetzelfde soort produkt dan aan tabellen en grafieken over het voorkomen van de gebruikerspopulatie naar leeftijd en sexe in het algemeen; bijvoorbeeld over gebruiksomstandigheden van vrachtwagenchauffeurs of met kinderwagens enz. De indruk wordt ook gewekt uit het onderzoek dat ontwerpers, indien ze antropometrische data gebruiken, dit vooral in de informatiefase doen. Omdat dit niet tijdens de korte telefonische interviews te verifiëren was, is een tweede onderzoek opgezet.

Een tweetal studenten heeft voor deze studie nagegaan, hoe het gebruik van antropometrische data tijdens vier fasen van het ontwerpproces (informatie-, concept-, detaillering- en evaluatiefase) gebeurde. Zij turfden in elk van die fasen welk antropometrisch model (tabel, manikin, computermodel of mockup) werd gebruikt. Ook werden de gebruikte maten en bronnen geteld. Dit heeft bij een steekproef van de eerste 400 afstudeeropdrachten van de Faculteit Industrieel Ontwerpen plaatsgevonden (Henstra en Venemans, 1987). Zij kwamen na een globale screening op antropometrisch aspecten op 200 relevante rapporten. Zij controleerden ook of de ontwerper lette op de criteria (relevantie, representativiteit, nauwkeurigheid en populatiebreedte, die uitgebreid in Hoofdstuk 3 besproken worden) uit het dictaat ergonomie (Dirken et al., 1980).

Figuur 1.5 geeft de resultaten grafisch weer. Hieruit blijkt een redelijke bevestiging van het eerder vermelde vermoeden, dat de meeste antropometrie tijdens het ontwerpproces in de informatiefase plaatsvindt en dat in de daaropvolgende fasen dit gebruik sterk afneemt. Verder blijkt de veronderstelling (bovenzijde van Figuur 1.5) van het gebruik van antropometrie volgens Lombaers, Molenbroek en Osinga (1985) redelijk te kloppen behalve voor wat betreft de computermodellen. Deze werden toen gedurende alle fasen veel minder gebruikt dan verwacht.

#### **Wellicht ter verduidelijking**

Dit boek houdt zich niet bezig met de relatie tussen lichaamsvormen en geestelijke capaciteiten zoals Sheldon (1954) en Kretschmer (1940) bijvoorbeeld hebben gedaan.

Ook vinden schedelmetingen in het kader van deze studie niet plaats om uitspraken te kunnen doen over de psychische of fysieke capaciteit van de betreffende persoon, zoals de vroegere frenologie, waar zich Francis Galton onder anderen aan bezondigde (Heberer e.a., 1959). Wel zou het kunnen zijn dat de spreiding van deze lichaamsmaat bij de doelpopulatie gemeten dient te worden voor het ontwerp van een helm. In het recente verleden (bijvoorbeeld tijdens tweede wereldoorlog) werd echter nog weleens

onderzoek gedaan naar die relatie tussen lichaamsafmeting en gedrag om superioriteit van een populatie aan te tonen (eugenetica). Gould (1981) heeft deze en andere verwerpelijke doelstellingen van het meten aan mensen kritisch in kaart gebracht in zijn boek 'The Mismeasure of Man'. Bijvoorbeeld beschrijft hij op sarcastische toon de door Broca bedachte relatie tussen hersen-massa en kenmerken als genialiteit, beroep en huidskleur. Enkele geniale mensen, van wie Broca de hersenen na overlijden mocht onderzoeken, hadden 'helaas' een lagere hersenmassa dan enkele criminelen. Ook komt Maria Montessori er in de ogen van Gould niet goed vanaf, omdat zij, naast haar prijzenswaardige werk voor nieuwe onderwijsvormen, kinderhoofdjes mat en voorspelde dat een kind met een grotere hoofd omvang de beste perspectieven in de maatschappij had.

Na deze inleiding in het doel en de vraagstellingen van deze studie kunnen we overgaan tot de bespreking van de factoren, die samenhangen met de vorm en afmeting van het menselijk lichaam.





# 2 Variatie in menselijke vorm en afmeting

## 2.1 Inleiding

Zoals in het vorige hoofdstuk werd aangeduid, wordt het pas mogelijk de mens-product interactie te optimaliseren naar nut, veiligheid, efficiëncy en comfort indien er voldoende kennis aanwezig is over de variaties in eigenschappen van de componenten mens en produkt.

In dit boek gaat het vooral om de beschrijving van de variaties in de menselijke vorm en afmeting, hoewel op analoge wijze de variaties in vorm en afmeting van een produkt beschreven zouden kunnen worden. In Hoofdstuk 3 wordt op dit laatste verder ingegaan onder het begrip produktmodel.

Enkele factoren waarmee de vorm en afmeting van de mens samenhangen, worden in dit hoofdstuk beschreven vanuit de literatuur, vooral die uit de fysische antropologie. Deze factoren worden onderscheiden in soorten (ARP, 1978; Roebuck et al., 1975) als:

- 1 Intra-individueel: factoren die samenhangen met verschillen in vorm en afmeting in de loop van de tijd bij eenzelfde individu.
- 2 Inter-individueel: factoren die samenhangen met verschillen in vorm en afmetingen tussen individuen.
- 3 Seculair: factoren die samenhangen met verschillen in vorm en afmeting tussen verschillende geboortegroepen (cohorten of generaties) van eenzelfde populatie.

In dit hoofdstuk wordt een voor het industrieel ontwerpen meer functionele indeling van factoren gehanteerd (Tabel 2.1). De paragrafen, waar deze factoren worden beschreven, zijn in de tabel weergegeven. De tweedeling 'belangrijk' en 'overige' is gemaakt op basis van te verwachten verklaarde variantie. De mate, waarin deze factoren een rol spelen bij het ontwerpen, wordt in de volgende paragrafen duidelijk gemaakt en aan het einde van dit hoofdstuk samengevat.

Damon (1977) beschouwde de eerste vier factoren van Tabel 2.1 als de hoofdassen van de meerdimensionale ruimte, waarin de verscheidenheid van menselijke lichamen is te beschrijven.

	factor	paragraaf
De belangrijke vier factoren	1 leeftijd	2.2
	2 geslacht	2.3
	3 etniciteit	2.4
	4 lichaamsbouw	2.5
De overige factoren	5 voedingsgewoonten	2.6.1
	6 seculaire groeiverschuiving	2.6.2
	7 socio-economische status (SES)	2.6.3
	8 persoonlijke uitrusting	2.6.4
	9 omgeving	2.6.5
	10 lateraliteit	2.6.6
	11 etmaalsritme	2.6.7
	12 ziekte	2.6.8
	13 genen	2.6.9
	14 hormonen	2.6.10
	15 houding	2.6.11

Tabel 2.1: Factoren die een rol spelen bij vorm en afmeting van het menselijk lichaam.

## 2.2 Samenhang met leeftijd

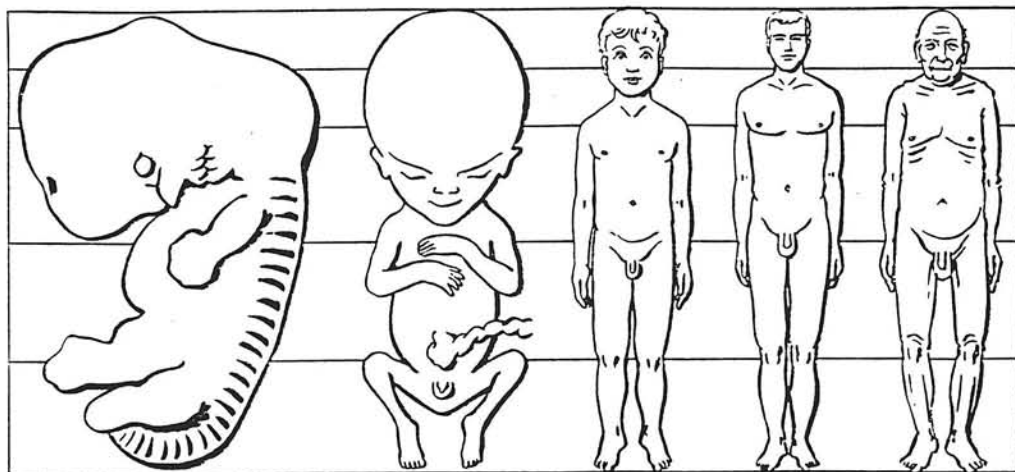
### 2.2.1 Inleiding

De directe invloed van leeftijd op menselijke vorm en afmeting is terug te vinden in het begrip groei, maar ook in de systematische verandering na ongeveer 40 jaar, met vooral vermindering in vele parameters. Groei kan o.a. worden beschouwd als een toename in massa en afmeting; groei impliceert meestal ook een verandering in vorm, in ontwikkeling van vaardigheden, in seksuele rijpheid e.d. In Figuur 2.1 is het embryo van 13 mm en zes weken oud even groot getekend als de vier vormen, die latere levensstadia typeren, om de verandering in de proporties te benadrukken. Het hoofd van de oude man is iets groter getekend vanwege de krimp in de lichaamslengte ten opzichte van de jonge man naast hem. In Tabel 2.2 staan gemiddelde waarden vermeld van lichaamslengte en lichaamsmassa (gewicht) die behoren bij respectievelijk de aanvang en het einde van het bijbehorende (kunstmatige) stadium van het menselijk leven. De kleinere lengte bij 65 jaar ten opzichte van die bij de jong volwassen leeftijd is voor een gering deel het gevolg van krimp en grotendeels het gevolg van seculaire toeneming in de laatste halve eeuw.

De grenzen van de stadia zijn gekozen overeenkomstig het gebruik in de literatuur. Er is over de groei van de mens in het algemeen en over talrijke invloedsfactoren van de groei veel gepubliceerd. Dit specialisme wordt auxologie genoemd (Grieks auxein = groeien).

In de volgende paragrafen wordt groei beschreven met zijn effecten op vooral lengte en gewicht tijdens zes stadia van het menselijk leven.

Ofschoon de stadia voorafgaande aan de geboorte niet erg van belang lijken voor de antropometrie voor produktontwerpen, worden deze toch behandeld wegens de volledigheid en de nadere inzichten in de mechanismen van de groei.



13 mm

6 weken

30 mm

9 weken

158 cm

13 jaar

182 cm

20 jaar

168 cm

65 jaar

*Figuur 2.1: De globale lichaamsvorm van de mens naar leeftijd.*

stadium	periode	afmeting	massa
embryo	0 - 8 weken	0,012 - 4 cm	1,5 $\mu$ g - 2,0 g
foetus	9 - 40 weken	4 - 51 cm	2,0 - 3,5 kg
kind			
meisje	0 - 11 jaar	51 - 147 cm	3,5 - 35 kg
jongen	0 - 13 jaar	51 - 158 cm	3,5 - 45 kg
adolescent			
meisje	11 - 17,5 jaar	147 - 168 cm	35 - 58 kg
jongen	13 - 19,5 jaar	158 - 182 cm	45 - 68 kg
volwassene			
vrouw	17,5 - 65 jaar	168 - 157 cm	58 - 77,4 kg
man	19,5 - 65 jaar	182 - 168 cm	68 - 69,3 kg
oudere			
vrouw	65 - jaar	157 - 154 cm	63 kg
man	65 - jaar	168 - 166 cm	67 kg

*Tabel 2.2: Gemiddelde lichaamslengte en -massa in zes stadia naar geslacht. Bronnen: Roede en Van Wieringen (1985), populatie Nederlandse jeugd 0-20 jaar; Molenbroek et al. (1983), bejaarden te Den Haag; Langman (1973) (1982), onbekende populatie embryo's; CBS (1986), Gezondheidsenquête '81/'84.*

## 2.2.2 Groeistudies

Groei kan op verschillende wijzen worden gemeten:

### Longitudinaal of semi-longitudinaal

Hierbij worden proefpersonen herhaaldelijk gemeten (op al dan niet wijd uiteenliggende tijdstippen). In Nederland zijn er enkele projecten op deze wijze uitgevoerd: Van Venrooy-IJsselmuiden (1977) onderzocht de groei door 2000 kinderen twee keer te meten met een periode van één kalenderjaar ertussen. Van Wieringen (1972) heeft Leidse studenten en rekruten eveneens twee keer gemeten. Prah Andersen et al. (1979) voerden een semi-longitudinaal, vijfjarig, interdisciplinair onderzoek uit (Het Nijmeegs Groei Onderzoek genaamd). Bij semi-longitudinaal onderzoek worden de data van enkele (binnen een beperkte periode gemeten) cohorten, die onderling enige jaren in leeftijd verschillen, gebundeld. Praktische problemen, zoals investering van kosten, energie en tijd bij (semi) longitudinaal onderzoek, beperken zulke studies. Als de te onderzoeken groeiperiode de projectduur overtreft, is semi-longitudinaal onderzoek aangewezen. Susanne (1980) vermeldt verscheidene longitudinale onderzoeken buiten Nederland bij enkele honderden volwassenen en oudere proefpersonen. Damon (1977) meldt dat er minstens 20 longitudinale studies liepen zonder echter te vermelden welke. Tanner (1981) doet dit wel en geeft weer in verhalende vorm, onsystematisch maar uitvoerig, hoe een twintigtal longitudinale studies tot stand is gekomen, met veel achtergrondinformatie over de onderzoekers en hun omstandigheden. Opvallend is hierbij dat er weinig onderling vergelijkbaar is behalve de onbeschrijflijke inzet van enkele onderzoekers. Om de vergelijkbaarheid en coördinatie te bevorderen, werd door UNICEF in Parijs in 1953 het Centre International de l'Enfance opgericht. Vanuit dit centrum werden gecoördineerde longitudinale onderzoeken gestimuleerd in Stockholm, Parijs, Londen, Dakar, Zürich en Brussel. Een van de bekende en omvangrijkste longitudinale onderzoeken is de FELS-studie, die van 1920 tot op heden loopt in Yellow Springs Ohio in de USA (Roche, 1992).

### Transversaal

Hierbij komt elke proefpersoon één keer in het onderzoek voor. Maar de meetwaarden van deze transversale onderzoeken zijn soms wel afkomstig van gemiddelden van meermaals in een kort tijdsbestek gemeten proefpersonen. Dit gebeurt vooral als men de meetfouten wil weten en beperken (Hertzberg et al., 1954; Brekelmans et al., 1986). De transversale studies leveren slechts benaderende, interindividuele groeicurves op en geen intra-individuele groeisnelheden. Ze vormen namelijk curves van verschillen tussen opeenvolgende generaties of leeftijdsgroepen. Ze hebben echter ook voordelen ten opzichte van longitudinale ten aanzien van de cohorten en de benodigde tijd:

- de curves visualiseren verschillen in groeipatroon tussen cohorten; hierdoor krijgt men inzicht in seculaire groeiveranderingen bij (een serie) opeenvolgende studies en kan men eenvoudiger een vergelijking tussen subpopulaties maken;
- de uitvoering kost minder tijd, waardoor men in kortere tijd een groter deel van de populatie kan bestrijken;

- men heeft referenties voor een longitudinale studie (o.a. Van Wieringen, 1987).

Transversale studies hebben ook nadelen. Transversale studies zullen bijvoorbeeld bij het meten van verschillen tussen een twintig-jarige groep en een veertig-jarige groep niet alleen veranderingen tengevolge van de leeftijd meten, maar ook tengevolge van verschillende omstandigheden. Damon (1965, 1977) noteert dat er ook andere oorzaken van verschillen in transversale studies mogelijk zijn, ofschoon hiervan geen bevestiging in de literatuur is gevonden. Volgens hem kan namelijk krimp als negatieve groei theoretisch ook verklaard worden door:

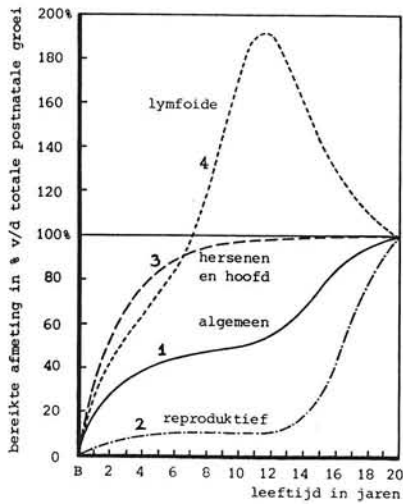
- selectieve overleving doordat kleinere mensen langer zouden leven;
- selectieve migratie: lange mensen zouden wellicht meer emigreren.

Hieraan kan worden toegevoegd dat in Nederland door de immigratie van mensen uit Zuid-oost Aziatische, Midden- en Zuidamerikaanse en Mediterrane streken ook enige vermindering van de gemiddelde lengte van de populatie kan worden verwacht.

Damon (1977) onderscheidt vier typen groei, die in Figuur 2.2 staan afgebeeld.

- 1 Er is een algemene groei curve (Figuur 2.2) die de meeste spier-skelet afmetingen volgen, evenals organen zoals de lever, milt en nieren (type 1).
- 2 De reproductieve organen worden sterk beïnvloed door de geslachtshormonen: oestrogenen en testosteron die tijdens de puberteit sterk in hoeveelheid toenemen (type 2).
- 3 Gedurende de kindertijd is het hoofd meer ontwikkeld dan de rest van het lichaam en zijn de bovenste delen van het hoofd, zoals ogen en hersenen, weer relatief verder dan de onderste delen zoals de kaak en de jukbeenderen. Baby's lijken daarom grote ogen te hebben (type 3).
- 4 Het vierde type groei treft men aan bij het lymfoïde weefsel van de amandelen, lymfeklieren en blinde darm.

Onder meer Van den Brande (1986) onderscheidt een cranio-caudale gradiënt, dus lengte-richting en disto-proximale gradiënt, dus breedterichting (welke onder meer van grote invloed is op de motoriek van handen en voeten = type 1 van Damon).



Figuur 2.2: Diverse groeicurven (Damon, 1977) en typen nummer.

### 2.2.3 Vorm, afmeting en gewicht van een embryo

Figuur 2.1 geeft links de zesde week van embryonale ontwikkeling aan. Bekende handboeken (Warwick et al., 1973; Langman, 1973 en 1982 en Moore, 1977) onderscheiden drie soorten groei:

- Door vermenigvuldiging of proliferatie. Het aantal cellen wordt groter door delingen. Dit gebeurt bij alle zoogdieren maar varieert sterk in differentiatie en rijping.
- Door pure groei per cel. De grootte van de cel neemt toe zonder deling. Voorbeelden: de baarmoederwand tijdens zwangerschap, het centrale zenuwstelsel of de ooglen.
- Door intercellulaire groei. Tijdens vergroting van de cellen wordt ook tussen de cellen materiaal afgezet, dat bij kraakbeen bijvoorbeeld wezenlijk bijdraagt tot de groei van het embryo.

Verschillende groeisnelheden, ontstaan door bijvoorbeeld lokale vergroting van het aantal cellen, zijn essentieel voor veel vormgeving in de embryonale ontwikkeling. Een dalend aantal cellen kan worden veroorzaakt door celsterfte of weefselverwijdering; reeds vanaf ongeveer 100 uur na de conceptie treedt dat ook op. Een voorbeeld van embryonale vormgeving is de typische kromming in cephalo-caudale richting (kop-staart as). Deze kromming van het embryo heeft waarschijnlijk te maken met de enorme toename van het aantal cellen van het zenuwstelsel ten opzichte van de lengte van het embryo.

Het mechanisme van weefsel-homeostase (evenwicht tussen deling, differentiatie, functie en veroudering van de cel) wordt ook ten dele geregeld door de weefsel-specifieke lokale hormonen, chalonen, die invloed op de mitose (celdeling met behoud van het

aantal chromosomen) uitoefenen (Langman, 1973). Ze remmen de mitose af van de weefsels waarin ze worden geproduceerd (Van Buul-Offers, 1986).

### **Differentiatie**

Warwick (1973) en Langman (1973 en 1982) vermelden beiden duidelijke verschillen van afmeting, vorm, chemische samenstelling, functie en structuur tussen volledig gedifferentieerde cellen. Zij concluderen, dat het niet bewezen is dat het ene type gedifferentieerde cel in het andere overgaat. Morfologisch verandert een cel wellicht door de produktie van een nieuw enzym, dat de produktie van een nieuw eiwit veroorzaakt. Differentiatie vindt plaats als cellen met hetzelfde genoom verschillende eiwitten vormen. Het is voor embryologen essentieel te begrijpen hoe de verschillende stuurmechanismen werken waaraan de eiwitten onderworpen zijn. Hoe meer een weefsel gespecialiseerd is, des te minder is het ook moduleerbaar; als voorbeeld hiervan gelden zenuwweefsels. Embryo-cellen zijn in een vroeg stadium echter pluripotent. Genetische theorieën over differentiatie gaan volgens de Wilde (1974) uit van een operon (bestaande uit een structuur gen en een operator gen), dat de aanmaak van bepaalde eiwitten veroorzaakt en een regulator gen, dat het eiwit aanmaakt, welke als repressor werkt. De genen werken volgens de theorie van Jacob en Monod (De Wilde, 1974) afhankelijk van de verstreken tijd in de ontwikkeling. Zo kunnen zij de vorming van nieuwe weefsels beheersen door stimuleren of afremmen volgens een zeer complex ontwikkelingsmodel. De regulaties van celgroei en differentiatie zijn onderling zeer verweven. In principe is dit proces terug te voeren tot de regulatie door de genen die deze processen controleren (Van den Biggelaar, 1987).

### **Relatieve verplaatsing**

Oppervlakte-wijzigingen, ten gevolge van selectieve interacties tussen de contactoppervlakken van cellen, kunnen celbladen, holle balvormen, buisvormen en massieve massa's genereren (Warwick et al., 1973).

### **Ontwikkelingsstadia**

Omdat de absolute afmeting van embryo of foetus geen betrouwbare indicatie van hun werkelijke leeftijd is, is een aantal ontwikkelingsstadia geïnclassificeerd die met foto's zijn vastgelegd (Warwick, 1973).

Omdat de maten van de mens voor een belangrijk deel door de bouw van zijn spierskeletstelsel worden bepaald, wordt hier ingegaan op het ontstaan van enkele weefsels die daarin een rol van betekenis spelen. De kiembladen theorie veronderstelt dat elk kiemblad een specialisatie in zich heeft. Een pas ontstaan embryo bestaat uit twee en later (omstreeks de 17de dag) uit drie kiembladen:

- ectoderm (dit resulteert in huid, zintuigen en zenuwstelsel);
- mesoderm, ontstaan uit het ectoderm (dit resulteert in het spierskeletstelsel);
- entoderm (dit resulteert in vegetatieve systemen zoals voor spijsvertering en ademhaling).

De uitwendige vorm van het embryo wordt sterk beïnvloed door de somieten, een serie mesodermale weefselsegmenten. Deze ontstaan aan het einde van de derde week, eerst craniaal en daarna meer caudaal (Langman, 1982).

Vanaf de leeftijd van 20 dagen neemt het aantal somieten toe met gemiddeld 3,5 per dag. Tegen het einde van de vijfde week zijn 42-44 paar somieten aanwezig: 4 occipitale, 8 cervicale, 12 thoracale, 5 lumbale, 5 sacrale en 8-10 coccygeale paren. In deze periode kan de leeftijd van het embryo worden bepaald door het aantal somieten, omdat deze het meest karakteristieke vormelement zijn. Somieten moeten niet worden verward met de latere wervels, maar men kan ze vergelijken met een moot vis met daarin bot, spier en ander weefsel.

Omstreeks de 4de week beginnen sommige cellen van de somieten actief ander weefsel te vormen: fibroblasten, chondroblasten of osteoblasten, gezamenlijk sclerotoom genoemd, dat zich in ventro-mediale richting verplaatst en het skelet gaat vormen. Het resterende weefsel, dermatoom genoemd, vormt het myotoom weefsel waaruit spieren ontstaan en het dermis, het onderhuids bindweefsel.

### **Kraakbeen**

Chondroblasten vormen een compact celrijk weefsel, het pre-kraakbeen. Intercellulair ontstaat er gelijkertijd (5de week) de kraakbeenmatrix in drie typen:

- hyaline kraakbeen, voor de bekleding van de synoviale gewrichten;
- vezelig kraakbeen, voor de tussenwervelschijven;
- elastisch kraakbeen.

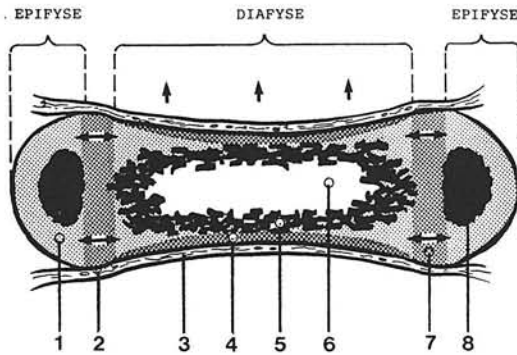
### **Botgroei**

Osteoblasten vormen rijen en scheiden collageen af, osteoid genoemd; vlak daarnaast ontstaat uit osteoid botmatrix dat verkalkt.

Enkele osteoblasten komen toch in het verkalkte bot terecht en heten dan botcellen of osteocyten. Zo ontstaan vanuit het ossificatiecentrum naaldvormige botspangetjes (spiculae), omgeven door periost (beenvlies). Aan de binnenzijde hiervan ontstaat aldus het corticale bot. Bij volwassenen heeft dit een treksterkte van ongeveer  $70 \text{ N/mm}^2$ , in tegenstelling tot het zwakke membraneuse of spongieuse botweefsel, dat een treksterkte heeft van ongeveer  $30 \text{ N/mm}^2$  en dat zich bevindt inwendig van de dunne (1-8 mm) corticale laag. Groei van de schedel vindt in het postnatale leven plaats doordat steeds appositie (= erbij voegen) van nieuwe botlaagjes aan de oppervlakte plaatsvindt en gelijkertijd osteoclasten het bot aan de binnenzijde resorberen.

Rond de 7de week ontstaan de hyaline-kraakbeen modellen, zijnde een pijpbot in spé dat alleen nog uit kraakbeen bestaat (Figuur 2.3), waar eveneens groei in lengte, maar ook in dikte, plaatsvindt door een samenspel van osteoblasten, die bot aanmaken en osteoclasten die bot resorberen.





*Figuur 2.3: Schematische weergave van de groei van een embryonaal pijpbot.*

1 = gewrichtskraakbeen (dit wordt grotendeels botweefsel, zie blz. 43)

2 = gewrichtskapsel

3 = botvlies (periost)

4 = corticale bot

5 = spongieuze bot

6 = mergholte

7 = epifysaarschijf

8 = epifyse kern

Lange botten hebben aan weerszijden een epifysaarschijf, en korte botten, zoals vingerkootjes, hebben één epifysaarschijf aan het distale uiteinde.

#### Regelmechanismen van de groei

Door welk mechanisme de verschillende delen van het groeiproces worden geregeld, is niet precies bekend (Langman, 1982; Niermeyer, 1987). Enkele feiten uit Langman (1973) en Warwick (1973):

- Bij proeven met embryo's van kippen bleek, dat weefseltransplantatie van een embryo met een later ontwikkelingsstadium naar een ander embryo met een vroeger ontwikkelingsstadium het omringende weefsel tot groei stimuleert. Het getransplanteerde weefsel bepaalt dan de functie van dat omringende weefsel. Behandeling met transplantaten van volwassen weefsel heeft geen groei tot gevolg.
- Experimentele resultaten (van Speeman in 1922) bewezen dat de oermondlip (een bepaalde plek herkenbaar op een amfibieën-embryo van enkele dagen) de primaire organisator is, die het omringende weefsel stimuleert om op de transplantatieplaats een embryonale as en bijbehorend weefsel te ontwikkelen, gevolgd door het normale proces van zelfdifferentiatie.
- Groei wordt hormonaal beïnvloed door het schildklierhormoon thyroxine en de geslachtshormonen oestrogeen en testosteron. Als de epifysaarschijven gesloten zijn, komt een overmaat van groeihormoon alleen tot uiting via vergroting van zachtere weefsels (Van den Brande, 1986).
- Naast hormonale beïnvloeding speelt een groot aantal andere factoren een regulerende rol bij de groei (Van Buul-Offers, 1986):
  - somatomedine (een groeibevorderende stof, die onder invloed van het groeihormoon in de lever wordt aangemaakt);
  - de zenuwgroeifactor;

- de epidermale groeifactor stimuleert vooral weefsels van ectodermale oorsprong;
- de fibroblasten groeifactor stimuleert vooral weefsels van endo- en mesodermale oorsprong.
- Celproliferatie (uitbreiding) na de geboorte zou niet plaatsvinden bij de statische celpopulatie, zoals we die bijvoorbeeld in het centrale zenuwstelsel vinden. Het zenuwstelsel kan echter steeds doorgroeien door sommige expanderende celpopulaties (steunweefsel van het zenuwstelsel of glia genoemd) en door het toenemen in grootte van de neuronen. Dit doorgroeien kan geconcludeerd worden uit de toenemende hoeveelheid DNA en het feit dat elke cel een constante hoeveelheid DNA heeft. Knook (1985) zegt hierover dat het verlies van het aantal neuronen in de hersenen gedurende een heel mensenleven niet meer dan enkele procenten bedraagt en daarom voor de hersenen als orgaan verwaarloosbaar klein is. Maar er zijn volgens hem aanwijzingen dat in bepaalde essentiële delen van de hersenen sprake is van een groter verliespercentage. Of dit de achteruitgang van sommige hersenfuncties bij veroudering veroorzaakt, was toen nog niet vastgesteld.
- Vernieuwende celpopulaties vindt men bijvoorbeeld in het darmepitheel.

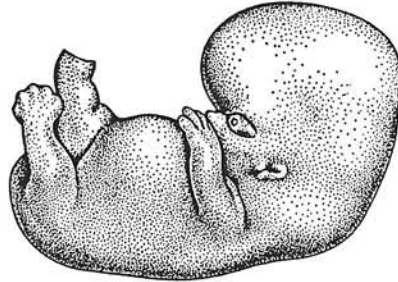
Dat er nog veel onbekend is over hoe groei precies plaatsvindt, blijkt uit de literatuur:

Peltenburg (1984, blz. 11) zegt dat *'it is generally accepted that prenatal growth mainly is based on genetically growth regulating factors'*. Wit (1987b) meldt dat het groeiproces multigenetisch is in combinatie met hormonale invloeden. Helaas wordt ook op de vermoedens over de groeiregulatie, zoals hierboven opgesomd uit Langman (1973), niet teruggekomen in Langman (1982). Niermeyer (1987) meldt dat het niet bekend is in welke verhouding genetische, hormonale en omgevingsfactoren de menselijke groei regelen. Het overzicht van Van den Biggelaar (1987) is verhelderend. Hieruit blijkt over de wisselwerking tussen kern- en cytoplasma, dat:

- in elke celkern van een meercellig organisme in het DNA alle informatie aanwezig is, noodzakelijk voor de vorming van een nieuw individu;
- bij de klievingsdelingen (meiose) het plasma van de eicel, het oplasma, over dochtercellen verdeeld wordt, waardoor elke dochtercel andere impulsen voor verdere ontwikkeling meekrijgt;
- deze impulsen bestaan uit het activeren van de genen in de kernen van de dochtercellen door stoffen in het oplasma;
- omgekeerd verandert het oplasma ook de kern door haar activiteit.

Verder is bij het vormen van specifieke eiwitten de rol van het messenger-RNA (m-RNA) van belang volgens Van den Biggelaar (1987, blz.11): *'Kenmerkend voor de eicel (ook voor de onbevuchte eicel) is dat ze een grote verscheidenheid aan m-RNA's heeft en de geordende distributie daarvan vormt de basis voor een geordend patroon van celgroei en differentiatie. Dit resulteert in weefsels, organen en orgaansystemen waaruit het nieuwe individu is opgebouwd'*.

De samenhang met mechanische aspecten zal hoofdzakelijk postnataal plaatsvinden. Voorbeelden als poliomyelitis, een lang verblijf in een ziekenhuis of een verblijf in gewichtloze toestand illustreren dat actieve spieren en lichamelijke belasting noodzakelijk zijn voor een normale skeletgroei.



*Figuur 2.4: Embryo van 7 weken: de armen zijn verder ontwikkeld dan de benen.*

Vergeleken met de ronde eicel, waaruit het embryo na enkele weken ontstaan is, is er niet alleen maar een toename in afmeting en massa, maar ook in differentiatie (het feit dat een cel nieuwe morfologische en functionele eigenschappen krijgt) en in relatieve verplaatsingen van cellen en weefsel. Aan het einde van de zesde week zijn elleboog, pols, knie en enkel herkenbaar. De vorm van handen en voeten lijkt dan nog op een cirkelvormige schijfje. Tot na de geboorte ligt de ontwikkeling van de armen steeds voor op die van de benen (Figuur 2.4).

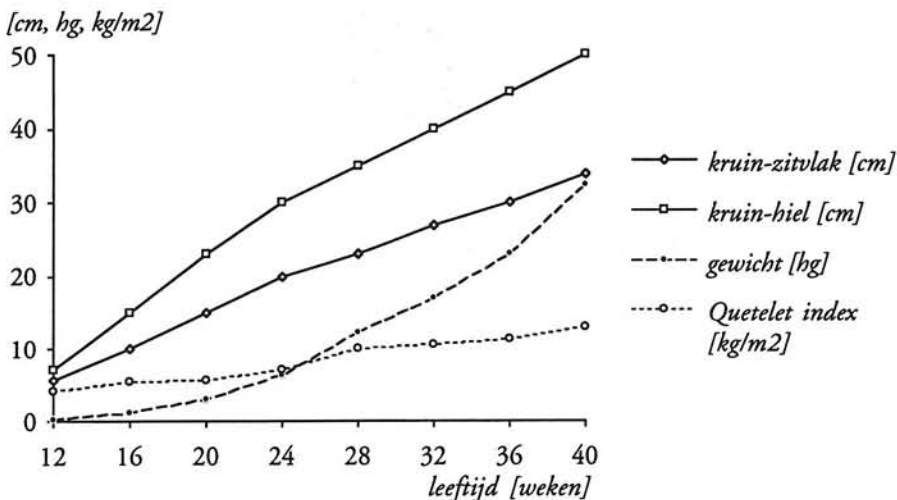
Concluderend over de embryogenese kunnen we met Tanner (1981) zeggen dat alle hormonale, genetische en milieufactoren die hierbij een rol spelen en die zorgen voor de ontogenese (= individuele ontwikkeling), veelal in een bepaalde opeenvolging en afhankelijk van elkaar opereren. De primaire organisator wordt pas actief na een nucleocytoplasmatische interactie die bij elke celdeling plaatsvindt. De secundaire organisatoren kunnen pas in actie komen als de embryonale as gereed is. Hierna treedt weefselvorming op langs een hiërarchisch proces tot het embryo volgroeid is.

#### **2.2.4 Vorm, afmeting en gewicht van een foetus**

Het foetale stadium begint bij de negende week na de conceptie (bij een lengte van ongeveer 4 cm) met meer groei en minder differentiatie dan in de embryonale fase en eindigt bij de geboorte. De groeisnelheid vermindert bij de 30ste week. Een indruk van de grootte van de groeisnelheid geven de piekwaarden: 350 gram per week bij 30 weken en 2,3 cm per week bij 20 weken. Qua vorm wordt de foetus 'menselijker': de ver uiteenliggende ogen trekken samen, de neus wordt meer geprononceerd, de extremiteiten lijken meer op het postnatale stadium (Heberer et al., 1959). Als er een verstoring in de groei plaatsvindt, treedt er daarna vaak, soms pas postnataal, weer een inhaalmanoeuvre op, zodanig dat het groeiproces weer in de buurt van de oorspronkelijke percentielwaarde komt. Men spreekt van 'kanalisatie' (o.a. Tanner, 1978), hoewel de breedte van het kanaal niet gedefinieerd is.

In Figuur 2.5 wordt weergegeven hoe de gemiddelde waarden van enkele belangrijke variabelen tijdens de foetale zwangerschapsduur verlopen.

Classificatie van de afmetingen van de foetus en ook de pasgeborenen zijn vooral gebaseerd op criteria voor gewicht, soms in samenhang met intrinsieke correcties op basis van schattingen van de zwangerschapsduur, etniciteit, pariteit (rangnummer van geboorte) en geslacht.



Figuur 2.5: Groei van een foetus naar gegevens van Langman (1973).

Hediger (1985) publiceerde een systematische benadering van de intrinsieke en extrinsieke correctiefactoren die hun invloed ook tijdens de ontwikkeling in de baarmoeder laten gelden.

Enkele intrinsieke factoren volgens Hediger:

*Zwangerschapsduur.* Voor het vaststellen van de zwangerschapsduur heeft men twee indicaties:

- 1 Het aantal dagen vanaf de eerste dag van de laatste menstruatie.
- 2 Het schatten door middel van echo-cephalometrie (zie ook blz. 36). Hierbij wordt de hoofdbreedte (de distantia bi-parietalis, in de literatuur vaak afgekort tot dbp) gemeten met ultrageluid (ongeveer 1 MHz). Hoe groter de dichtheid van het weefsel, des te hoger is de piek op het echogram. Akoestische eigenschappen van de schedelwand en de schedelinhoud verschillen zodanig dat men een nauwkeurig beeld van de hoofdbreedte kan krijgen. Correctie voor de huiddikte (proximaal en distaal) en van de botdikte (distaal) is noodzakelijk, om de verkregen maat te kunnen vergelijken met een passermaat (Hameeteman, 1973). De nauwkeurigheid, bepaald door direct voor en na de bevalling te vergelijken, blijkt vrij groot: 90% van de verschillen is kleiner dan 2 mm.

Geredeneerd vanuit de spreiding in de hoofdbreedte (zie Bijlage 2.1), is de betrouwbaarheid van de schatting van de zwangerschapsduur volgens Hameeteman het

grootst bij een hoofdbreedte van ongeveer 6 cm. Dit betekent dat de vermoedelijke zwangerschapsduur ligt tussen de 22ste en de 28ste week. Ondanks deze spreiding van 6 weken blijkt de vermoedelijke zwangerschapsduur toch nuttige informatie voor de gezondheidszorg te geven.

*Etniciteit.* Veel van het verschil tussen etnische groepen in het gemiddelde geboortegewicht kan worden verklaard uit omgevingsfactoren, zoals voeding van de moeder. Vooral wordt dit veroorzaakt in het laatste trimester van de zwangerschap, wanneer de meeste groei in gewicht plaatsvindt.

*Rangnummer van geboorte: pariteit.* Eerstgeborenen blijken meestal kleiner te zijn en 100-200 gram minder in geboortegewicht dan geborenen met een hoger rangnummer. Voor een deel hangt dit wellicht samen met het hogere gewicht van de moeder voor de zwangerschap van het volgende kind (zie volgende alinea en 2.6.3).

*Leeftijd, lengte en gewicht van de moeder.* Er bestaat een sterk verband tussen deze variabelen en het geboortegewicht van het kind. Relatief grote en zware kinderen worden geboren als de ouders relatief oud of groot of zwaar zijn. Dit geldt zelfs in extreme situaties van gewicht en lengte, maar niet in het geval van de leeftijd. Een maternale leeftijd boven de 35-40 jaar veroorzaakt lagere geboortegewichten (en een hoger risico op congenitale afwijkingen, zie 2.6.9).

Enkele extrinsieke factoren volgens Hediger:

*Roken tijdens zwangerschap.* Hierdoor blijken lengte en gewicht (vooral de vetvrije massa) van de foetus af te nemen (bij de geboorte is dit gemiddeld ongeveer 200 gram minder). Dit zou niet te wijten zijn aan het effect dat rokende moeders minder eten.

*Alcoholgebruik.* Elke 28 gram alcoholgebruik (ongeveer 2 glas bier/wijn) dagelijks gedurende het laatste trimester van de zwangerschap veroorzaakt een daling van 160 gram in het geboortegewicht. Andere onderzoekers vonden bij alcoholconsumptie van minder dan 9 gram per dag geen effect op het geboortegewicht.

*Hoge bloeddruk.* Alleen een ernstige vorm van hoge bloeddruk (diastolisch groter dan 110 mm kwikdruk) schijnt een duidelijk merkbare daling te veroorzaken op het geboortegewicht.

*Sociaal Economische Status.* Ook anderen dan Hediger, zoals Garn et al. (1984), hebben aangetoond dat socio-economische status-factoren via de moeder positieve correlaties vertonen met afmeting van het menselijk lichaam in het foetale stadium (zie ook 2.6.3).

### **Mathematische modellen**

Hediger (1985) creëerde op basis van het perinatale project in Philadelphia (dat vanaf 1956 loopt en 10.000 kinderen volgt in hun groei tot en met acht jaar) een model voor de intra-uterine groei (IUG), gekarakteriseerd door een index. De IUG-index heeft veel potentie om groeivariaties in het postnatale leven te verklaren, beter dan alleen het geboorte-gewicht op basis van de zwangerschapsduur dit kan doen.

Voor de foetale periode zijn door Hameeteman (1973) enkele wiskundige vergelijkingen geconstrueerd voor de hoofdbreedte van de mens. Deze vergelijkingen zijn afkomstig uit

de biologie, onder andere van de *Drosophila*-populatie (fruitvliegjes). Dit zijn minuscule vliegjes, die vaak voor biologisch onderzoek worden gebruikt. Ze wegen gemiddeld 1 microgram bij een lengte van 2-3 mm (Burkhardt et al. 1969). Hierbij werd aangetoond dat groeiwetten van een populatie overeenkomen met groeiwetten van één individu, opgevat als een populatie van cellen.

Het wiskundig model van Hameeteman is:

$$y(x) = y_{\max} / (1 + e^{a-b \cdot \ln(x)})$$

met

$$0,5 * y_{\max} = e^{a/b}$$

$y$  = hoofdbreedte of dbp in cm

$x$  = zwangerschapsduur in dagen

$a$  = parameter groeiniveau

$b$  = parameter groeisnelheid

De groeisnelheid is de eerste afgeleide van  $y(x)$ :

$$dy/dx = (by/x) * (1 - y/y_{\max})$$

Hameeteman toetste dit bij 82 zwangere vrouwen. Hieruit bleek dat de gemiddelde maximale hoofdbreedte (=dbp)  $y_{\max} = 11,2$  cm. De gemiddelde correlatiecoëfficiënt tussen  $y = \text{dbp}$  en  $x$  (= zwangerschapsduur na transformatie tot het model:

$$\ln((11,20/y) - 1) = a - b \ln(x);$$

welke lineair is op logaritmisch papier) bleek gelijk aan  $r = -0,99$  te zijn. Met behulp van dit model zijn de groeicurven opgesteld, die in Bijlage 2.1 zijn weergegeven.

Het gewicht van de foetus wordt in de literatuur vooral gekenmerkt als maat voor de foetale groei. Over dit gewicht (in relatie tot de rijpheid of maturiteit) wordt echter opgemerkt dat het moeilijk te bepalen is. Dit laatste feit wordt geïllustreerd door de brede marges bij de gewichtspredicties. Door de relatie van lichaamsgewicht met de hoofdbreedte ( $r = 0,59$ ) kan Hameeteman (1973) op de 206de zwangerschapsdag de meest juiste voorspelling doen over het gewicht. Hierbij hoort respectievelijk een hoofdbreedte van 7,4 cm of 7,8 cm. Men spreekt van 'onder-gewicht' bij minder dan 2600 gram bij 280 dagen zwangerschapsduur of 'overgewicht' bij meer dan 4045 gram bij 280 dagen. Bijlage 2.1 geeft de prenatale groeicurve van de hoofdbreedte volgens Hameeteman.

### Meetmethoden in de foetale periode

De vooruitgang in de techniek in de jaren zeventig en begin tachtig wordt weerspiegeld in de echografie (Langezaal, 1971; Troostwijk, 1972; Hameeteman, 1973; Stoutenbeek, 1982; Hediger, 1985 en Evans, 1986).

In 1970 kon men alleen constateren wat een overgang van bot naar ander weefsel is, maar rond 1980 kon men al redelijk juiste dwarsdoorsneden maken met daarin een veelheid van gegevens. Deze hoeveelheid gegevens werd eerder beperkt door het waarnemingsvermogen van degene die het echogram bekijkt dan door de techniek van het meten; 8 grijstinten zijn nog redelijk te onderscheiden (Stoutenbeek, 1982). Was

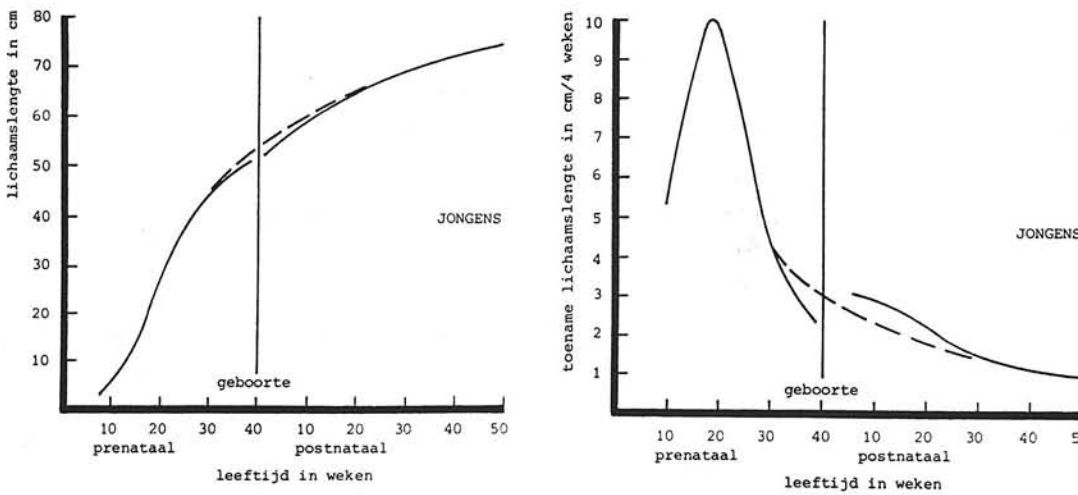
men in 1973 reeds verheugd met de hoofdbreedte of de distantia biparietalis, momenteel meet men talrijke andere variabelen:

- FAC: Foetale Abdomen Omtrek (fetal abdominal circumference)
- FAA: Foetale Abdomen Oppervlakte (fetal abdominal area)
- kop-stuit lengte
- dijbeenlengte.

De gegevens, die Stoutenbeek geproduceerd heeft op basis van een eigen steekproef van normaal ( $n = 42$ ) en niet normaal ( $n = 50$ ) verlopen zwangerschappen en het rekenkundig model, worden in deze studie als referentie gebruikt (Bijlage 2.2). Hij maakte per twee weken 2-3 foto's met een Gray-scale compound-B-scan met een 2,25 MHz transducer. Met één beweging van de ultra-geluidstransducer over de buik van de zwangere werd een volledig beeld verkregen (beeldopnameduur van 1-2 seconden). Hierdoor zijn maternale of foetale bewegingen minder van invloed. Met behulp van een lichtpen-systeem (d.w.z. een lichtgevoelige diode) werd het mogelijk elektronisch gegenereerde markeringen op de monitor te verplaatsen langs de contour van bijvoorbeeld het foetale abdomen. De coördinaten werden opgeslagen en gelijktijdig werden oppervlak (FAA) en omtrek (FAC) afgebeeld. In navolging van Marubini et al. (1971) en Marubini (1978) kiest Stoutenbeek bij de beschrijving van de foetale groei terecht voor een mathematisch model in plaats van voor een hogere graads polynoom vanwege de biologische interpreteerbaarheid. In Bijlage 2.2 staan de resultaten in tabelvorm. Voor de postnatale groeibescrijving zouden eerst meer longitudinale data bekend moeten zijn, om voor de Nederlandse populatie de parameters te kunnen oplossen.

Men gebruikt deze beschrijvingen van de groei vooral om afwijkende groei op te sporen (dysmatuur = te klein voor de zwangerschapsduur). Vooral de gewichtspredictie is preciezer geworden op basis van de thoracometrie, maar de standaarddeviatie is met 12% van het gemiddelde van de voorspelling nog steeds groot.

Aan de hand van de geringe hoeveelheid betrouwbare data over prenatale groei illustreert Tanner in Figuur 2.6 schematisch hoe de groeisnelheid kort voor de geboorte beïnvloed wordt door de beperkingen van de baarmoeder. De piek rond de 20ste week in de zwangerschap in de groeisnelheidscurve van bijna 10 cm per maand (op jaarbasis 120 cm toename!) is zelfs ten opzichte van de puberteitspiek (ongeveer 9 cm per jaar gemiddeld) erg groot. De groei in gewicht vertoont volgens Tanner (1978) en Van den Brande et al. (1986) globaal hetzelfde verloop, zij het dat de pieksnelheid (van 20 kg/jaar) rond de 34ste week van de zwangerschap optreedt. Dit komt doordat in die periode vooral vet wordt aangemaakt als reserve energiebron voor de komende kritische weken. Vandaar dat baby's (met gemiddeld 16% vet) er in vergelijking met mensapen (met gemiddeld 3% vet) wat bollier uitzien.



Figuur 2.6: Groei en groeisnelheid van de lichaamslengte van jongens rond de geboorte (Tanner, 1978).

### 2.2.5 Vorm, afmeting en gewicht van baby tot adolescent

Dit zijn levensstadia, waarbij het op maat maken van velerlei produkten van groot belang is. Als de baby eenmaal geboren is, is het eenvoudiger vorm en afmetingen vast te stellen dan tijdens het intra-uterine leven. Hoewel data over lengte en gewicht van pasgeborenen schaars zijn, zijn er vanaf twee weken tot 15 maanden na de geboorte data over de hoofdomtrek en vanaf een leeftijd van drie weken tot en met 19,5 jaar data over lengte, gewicht en rijpingskenmerken van een representatieve Nederlandse steekproef in 1980 (Roede en Van Wieringen, 1985). Voor ergonomische doeleinden zijn echter ook andere antropometrische variabelen dan hoofdomtrek nodig, zoals breedte- en omtreksmaten van overige lichaamssegmenten of ook over andere leeftijdsgroepen boven de 20 jaar. Tot voor kort behoorden kinderen te zamen met vrouwen, gehandicapte mensen en allochtonen tot de, in dit opzicht, slecht beschreven populaties. Steenbekkers heeft in dit opzicht een deel van deze leemte in Nederland gevuld met haar studie, waarin onder meer de antropometrische resultaten van een representatieve steekproef van 2400 kinderen van 2-12 jaar is beschreven (Steenbekkers, 1993).

Het overgangsgebied rond de geboorte is antropometrisch nog steeds weinig beschreven. Enkele uitzonderingen zijn Brandt (1984) en Tanner (1981).

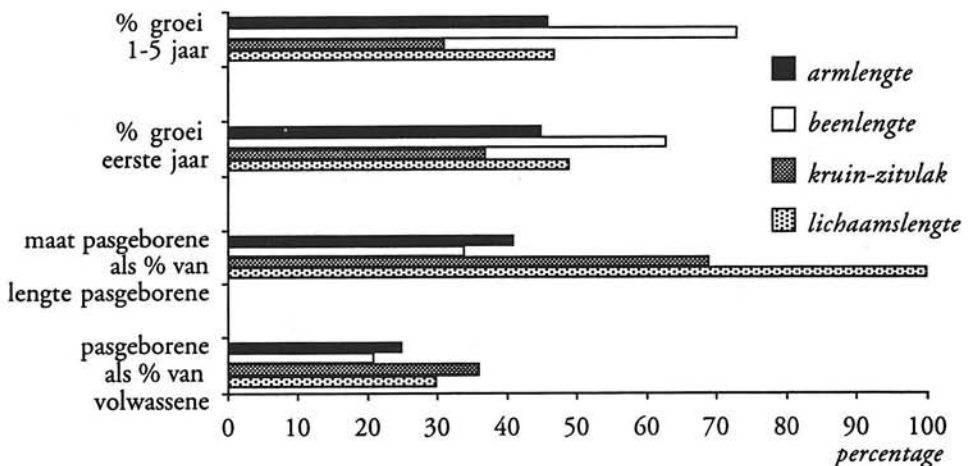
Uit metingen van Brandt resulteren de volgende kenmerken (zie onder meer Figuur 2.7):

- 1 De hoofdomtrek (reeds lang als belangrijke groeiparameter erkend vanwege de nauwe relatie met de ontwikkeling van de hersenen) is bij de geboorte 63% van de waarde bij een volwassen mens. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld de lichaamslengte, die 30% van de volwassen lengte is. In de Europese landen zijn zowel de hoofdomtrek als het lichaamsgewicht van pasgeborenen van overeenkomstige grootte volgens Brandt.
- 2 De geboortelengte heeft een lage tot licht negatieve correlatie met de volwassen lengte. Bij 3-jarigen is de correlatie met de eigen volwassen lengte toegenomen tot



ongeveer 0,83. De lengte bij 0-5 jarige kinderen is in Bonn iets groter dan in Nederland en dat is opmerkelijk, want op volwassen leeftijd zijn de Nederlanders groter.

- 3 De kruin-zitvlak lengte neemt in het eerste jaar toe van gemiddeld 35 tot 48 cm (37% toename) bij een  $s = 1,3$  cm en gedurende de volgende vier jaar van gemiddeld 48 tot 63 cm (= 31 % toename) bij een  $s = 2,2$  cm.
- 4 De beenlengte (in de auxologie in tegenstelling tot in de ergonomie, vaak gedefinieerd als het verschil tussen de lichaamslengte en de kruin-zitvlak afstand; in de ergonomie is beenlengte gelijk aan de bil-voetzool afstand met gestrekte benen in zittende houding) neemt van 0 tot 5 jaar, relatief ten opzichte van de lichaamslengte, toe van 34 tot 44%.  
De toename in het eerste jaar is 63% (28,4 cm). De toename in de volgende vier jaar is 73%, van gemiddeld 28,4 tot 49,1 cm. Na ongeveer 2,5 jaar is de beenlengte groter dan de armlengte (acromion - middelvingertop).
- 5 De armlengte neemt in het eerste jaar toe met 45%, van gemiddeld 21,7 tot 31,4 cm. De armlengte neemt in de volgende vier jaren toe met 46% (31,4-46 cm). De armlengte/lichaamslengte blijft van 0-5 jaren gelijk aan 41%.
- 6 De schouderbreedte (biacromium) neemt in het eerste jaar met 61% (11,2-18,0 cm) toe en in het tweede tot het vijfde jaar met 37% (18,0-24,7 cm).



*Figuur 2.7: Relatieve groei van enkele lichaamssegmenten. Bronnen: ARP (1978), Brandt (1984), DIN33402 (1981), Roede en Van Wieringen (1985).*

Een normaal verloop van het groeiproces houdt in, dat het kind in het eerste jaar volgens Peltenburg (1984) of in de eerste twee jaren volgens Brandt (1984) zijn eigen 'groeikanaal' (zie begin 2.2.4) bereikt en daarna ongeveer op een constante percentielwaarde blijft groeien.

Deze 'kanalisatie' treedt in het algemeen op bij kinderen tot 5 jaar, waarbij ze tussen 0 en 2 jaar meer naar hun 'genetische' lengte toe groeien. Of ze de genetische lengte

bereiken, hangt van diverse factoren af (zie 2.6.9). Vandaar dat de correlatie tussen de biologische ouders en pasgeborenen minder groot is dan bij 5-jarigen en oudere kinderen (Wit, 1987a). De correlatie tussen de ouderlijke lichaamslengte en de lengte van het kind is aanvankelijk erg laag ( $r=0,25$ ), maar is na 2 jaar verhoogd tot  $r=0,75$  voor jongens en  $r=0,47$  voor meisjes (Hediger, 1985).

De Nederlandse groeidiagrammen van De Wijn en De Haas uit 1960, van Van Wieringen uit 1972 en van Roede en Van Wieringen uit 1985 gelden als referentiewaarden voor talrijke toepassingen, o.a. in dit boek.

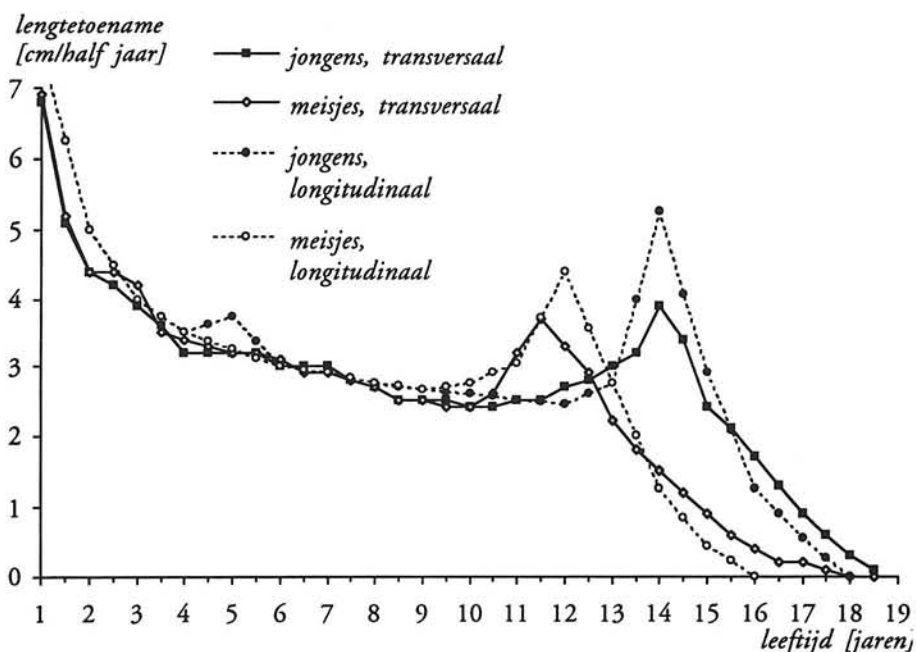
### Adolescentie

In het verleden werd de puberteit als het begin van de adolescentie gezien, waarin de primaire en de secundaire geslachtskenmerken zich ontwikkelen. Voor meisjes is deze periode (Roede en Van Wieringen, 1985) 9-16,5 jaar en voor jongens tussen 11-18,5 jaar. De adolescentie was dan de groeiperiode tussen het optreden van de puberteit en de volwassenheid (Hoolboom-van Dijck, 1974). De adolescentie wordt gekenmerkt door een groeispuurt in o.a. lengte en gewicht (Figuur 2.8) met een grote verscheidenheid tussen individuele kinderen.

Tegenwoordig worden de begrippen puberteit en adolescentie door elkaar gebruikt. In de literatuur zijn groeisnelheidsdata anders dan van totale lichaamslengte zeldzaam, vooral omdat hiervoor longitudinaal onderzoek vereist is. Tanner et al. (1976) presenteerde op die wijze in de Harpenden groeistudie niet alleen lengte maar ook kruin-zitvlak hoogte (wordt ook soms zithoogte genoemd), beenlengte, biacromiale en bi-iliacale diameter van 55 jongens en 35 meisjes over de leeftijd van 0-24 jaar.

Volgens Madlener (1978) wordt de puberteit ingezet door de langzaam verminderde gevoeligheid van de hypothalamus (een deel van de tussenhersenen) voor de negatieve terugkoppeling van de oestrogenen. Tevens wordt de produktie van het GnRH (Gonadotropin Releasing Hormone = hormoon dat geslachtsklieren stimuleert) groter en stimuleert de hypofyse (een endocrien orgaan verbonden met de hypothalamus) tot secretie van LH (Luteïne Hormoon) en FSH (Follikel Stimulerend Hormoon). Rond het achtste levensjaar kan het begin van deze verandering in het endocriene systeem gemeten worden. Welke factoren de hypothalamus tot rijping stimuleren is niet bekend. Madlener vermoedt dat de pijnappelklier (het corpus pineale) via zijn hormonen (melatonine) de gonadotrope activiteiten vermindert.

In Figuur 2.8 wordt de groeisnelheid (longitudinaal gemeten) vergeleken met een grafiek, die de halfjaarlijkse toename (transversaal gemeten) aangeeft volgens de Nederlandse Groeidiagrammen 1965.



*Figuur 2.8: Groeisnelheidscurven op basis van het longitudinale onderzoek van Tanner (1976) met daarop geprojecteerd de toename in lengte volgens het transversale onderzoek uit 1965 van Van Wieringen (1972).*

Ofschoon alle kinderen een groeispuurt hebben aan het begin van de adolescentie, varieert deze in amplitude en duur. Volgens Roede en Van Wieringen (1985) begint de invloed van de eerste groeispuurt voor de transversale curve voor meisjes bij 9,5 jaar qua gewicht en bij 10,5 jaar qua lengte; voor de jongens beginnen lengte en gewicht bij 12,5 jaar extra toe te nemen. Dit betekent dat de meisjes tijdelijk langer (van 11,5-13,5 jaar) en zwaarder (van 11,0-14 jaar) zijn dan de jongens (zie ook Figuur 2.11 (blz. 60 en Tabel 2.2 (blz. 25)). De gemiddelde pieksnelheid voor de groei van de lichaamslengte is 8 cm per jaar volgens Roede (1979), welke ongeveer overeenkomt met de vermelde halfjaarlijkse incrementen van 3,9 en 4,4 cm bij jongens van respectievelijk 13,5-14,0 en 14,0-14,5 jaar in Roede en Van Wieringen (1985).

Het verschil van 13,7 cm tussen de gemiddelde volwassen lengte van mannen en vrouwen heeft als oorzaak:

- dat jongens 0,6 cm groter zijn bij het begin van de groeispuurt van de meisjes;
- dat jongens 2 jaar later spurten en bij het begin van hun spurt 9,7 cm langer zijn dan meisjes bij het begin van hun spurt;
- dat jongens tijdens en na de groeispuurt 3,4 cm meer groeien.

In de auxologische literatuur is er naast de acceptatie van de referentiewaarden nog wel discussie over de vorm en de plaats van de pieken in de groeisnelheidscurve. Prader (1984) vond een kleine prepuberale groeispuurt rond het zevende jaar. In Roede (1979) is

te vinden dat er een soort plateau in de puberale groeipiek is. Roede (1979) pleit voor wijziging van de term 'piek' in het plateau bij de groeisnelheidsgrafiek, omdat uit het Nijmeegs Groeionderzoek bleek dat dit plateau gemiddeld 0,83 jaar ( $sd = 0,55$  jaar) aanwezig is. Volgens Peltenburg (1984) geldt dat het moment waarop de groeisput begint, een voorspellende waarde heeft voor de volwassen lichaamsbouw. Relatief lange kinderen beginnen eerder met een relatief langduriger groeisput. Kleine kinderen hebben omgekeerd een late start en een relatief korte puberteit.

De mediane volwassen lichaamslengte was in 1980 in Nederland voor de generatie, geboren in 1960 en 1961, 182,0 cm voor mannen en 168,3 cm voor vrouwen, waarbij één op duizend langer was dan 202 cm, respectievelijk 187 cm. De resultaten van de lengte metingen van de militaire keurlingen in 1980 (gemiddeld 1803 mm bij gemiddeld 18 jaar), komen echter niet precies overeen met de waarden van de groeidiagrammen bij dezelfde leeftijd (mediaan 1809 mm bij 18-jarigen). Echter wel met die van een half jaar jonger. Dit verschil lijkt te wijten te zijn aan een verschil in rapportage van de leeftijden (Van Hussen, 1986, 1988, 1990). De laatste CBS gegevens (CBS, 1994) laten bij 20-jarige mannen een lichaamslengte van 183,3 cm zien en bij 20-jarige vrouwen een lichaamslengte van 170,0 cm. De lichaamsgewichten zijn respectievelijk 76 kg en 63 kg.

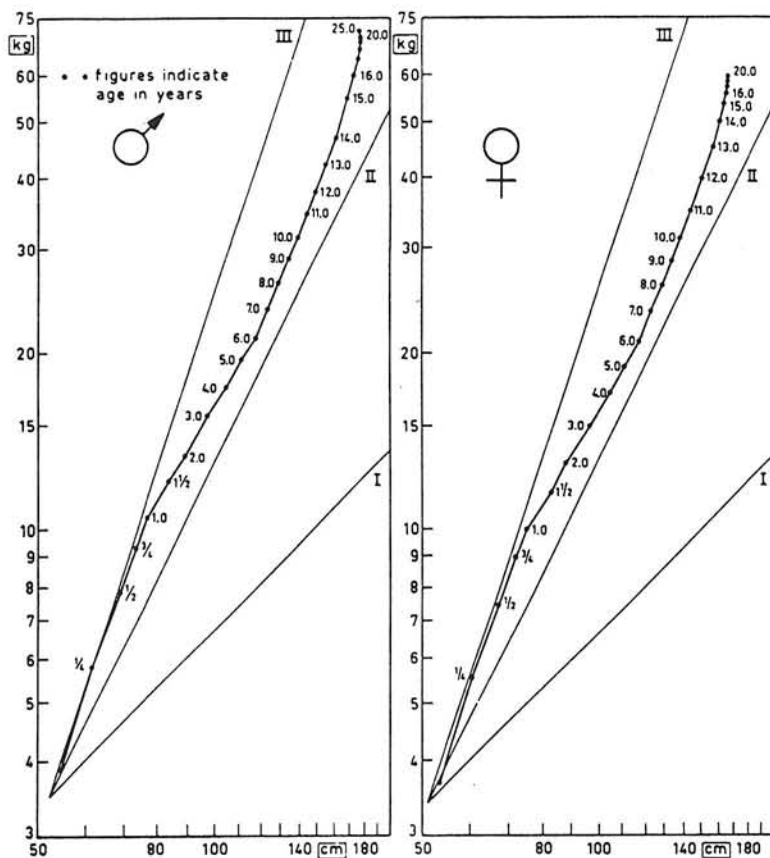
### Quetelet-index

Het verloop van de lichaamsbouw van kind naar volwassene wordt in Figuur 2.9 (Van Wieringen, 1972) geïllustreerd door dubbel-logaritmisch de relatie tussen de mediane waarden van lengte en gewicht uit te zetten. Hieruit wordt een indruk gekregen van de grootte van de coëfficiënt  $x$  in de theoretische Quetelet-index  $G/L^x$ . Als functie van de leeftijd blijkt:

- in de eerste twee levensmaanden is  $x > 3$ ;
- de rest van het eerste jaar is  $2 < x < 3$ ;
- van 1-6 jaar geldt ongeveer  $1 < x < 2$ ;
- bij 6 jaar is er bij jongens en meisjes een knik in de curven;
- van 6-10 jaar geldt  $2 < x < 3$ ;
- bij meisjes van 10-13 en bij jongens van 12-14 geldt ongeveer  $x = 3$ ;
- bij oudere adolescenten geldt steeds meer  $x > 3$ .

De wisselende vormveranderingen bij kinderen van 'bolvormig' bij  $x = 3$  naar 'langgerekt' bij  $x = 1$  worden hiermee geïllustreerd.

Een opvallend verschijnsel doet zich voor in deze dubbellogaritmische grafiek, indien men de curven doortrekt naar hogere leeftijden. De curve zal dan eerst naar punten gaan met een hoger gewicht bij dezelfde lengte en vervolgens een 'bocht terug naar links' maken voor het bereiken van de punten met een lager gewicht en lengte, waardoor er een begin van een 'soort hysteresis' ontstaat. Met de meer recente gegevens over kinderen van Steenbekkers (1993) en die van het CBS over keurlingen en volwassenen, zou dit een interessante vergelijking kunnen zijn (zie ook Paragraaf 2.5.3).



Figuur 2.9: Het verloop van de Quetelet-indices  $G/L^x$  volgens Van Wieringen (1972) ( $x = 1$  bij I;  $x = 2$  bij II en  $x = 3$  bij III).

### Skelet leeftijd

De chronologische leeftijd heeft enkele tekortkomingen als indicatie van de lichamelijke rijpheid, vooral tijdens de groeispurt in de puberteit doordat er een grote variatie bestaat in de voortgang van de ontwikkeling in vorm en afmeting. De skeletleeftijd vertoont een grotere samenhang met de rijping en impliceert de mate van verbening/verkalking van de epifysairschijven, of soms de mate van de gebitsontwikkeling (zie ook Figuur 2.3 op blz. 31).

Bij de geboorte is de diafyse meestal al verbeend; de verbening van de epifysen volgt spoedig daarna tot spongieus bot, bedekt door een kraakbeenlaag. De epifysairschijf, de kraakbeenplaat tussen de ossificatiecentra van diafyse en epifysen, speelt een essentiële rol bij de lengtegroei van de lange pijpbeenderen. Door metingen van de dikte van de epifysairschijven bij de linker handbeentjes van kinderen (maturatiescore) voorspelt men de te bereiken volwassenen lengte; dit is namelijk de lengte die men bereikt op het moment dat de epifysairschijf verbeend en dus gesloten is.

Volgens Cameron (1984) en Prahl-Andersen et al. (1979) bestaan er drie technieken om de skeletleeftijd te bepalen.

Hierbij vergelijkt men röntgenfoto's van de hand of van de knie met een standaard set foto's in een atlas. De technieken worden genoemd naar de samenstellers van de atlassen:

- Greulich-Pyle (vergelijken van beeld van hand-foto's);
- Tanner-Whitehouse et al. (tellen van verbeningskernen van hand-foto's);
- Roche-Wainer-Thisssen (knie-foto's).

Bij de Nijmeegse Groeistudie (Prah-Andersen et al., 1979) heeft men tevergeefs geprobeerd ook een Nederlandse standaard te maken voor de skeletleeftijd. Na controle bleek echter dat de Nijmeegse kinderen in groei achter waren op grond van deze atlas, terwijl de andere atlassen, die 20 jaar daarvoor tot stand waren gekomen, meer acceptabele resultaten te zien gaven, in overeenstemming met de resultaten van het antropometrisch onderzoek. Qua lengte en gewicht kwamen de kinderen uit de Nijmeegse Groeistudie echter goed overeen met de Nederlandse Groeidiagrammen 1980.

De oorzaak van het verschil in skeletleeftijd zou volgens de auteur te wijten kunnen zijn aan genetische verschillen, seculaire groeiverschuiving of meetverschillen die te wijten zijn aan de methoden van de onderzoekers.

#### Voorspelling van volwassen lengte

Op basis van de skeletleeftijd kan men een redelijke voorspelling doen over de te bereiken volwassen lengte. Dit wordt in de geneeskunde vooral gebruikt bij extreme lichaamslengten (hierna formule 1). Cameron (1984) noemt naast de skeletleeftijd nog 4 andere factoren voor een goede voorspelling: etniciteit, chronologische leeftijd, lengte van de ouders en medische geschiedenis van de betrokkene. Hierna volgen enkele formules uit de literatuur waarmee men op basis van lengte, leeftijd en eventueel geslachtskenmerken de volwassen lengte kan voorspellen. In Paragraaf 2.7 wordt nader ingegaan op het nut hiervan voor ontwerpers en produktbeoordelaars.

*Formule 1.* Tanner et al. (1975) presenteren een formule die in tabel en vorm redelijk hanteerbaar en betrouwbaar lijkt (Flügel et al. 1986). Hierin is de geschatte volwassen lengte af te lezen afhankelijk van de lichaamslengte (L) in cm, de skeletleeftijd (SLFT) in jaren en de kalenderleeftijd (KLFT) in jaren (Bijlage 2.5).

Voorbeeld: De schatting voor een 10-jarige jongen met een lichaamslengte van 140 cm en een skeletleeftijd van 9 jaar is:

$$\begin{aligned}\text{Volwassen lengte} &= L * 1,2 - \text{KLFT} * 6,2 - \text{SLFT} * 1,0 + \text{constante} \pm \text{spreiding} \\ &= 140 * 1,2 - 10 * 6,2 - 9 * 1,0 + 83 \pm 3,6 \\ &= 180,6 \pm 3,6 \text{ cm.}\end{aligned}$$

*Formule 2.* Van Wieringen et.al. (1985) en Wit (1987a) beschrijven een eenvoudiger predictie formule. Voor een jongen geldt als te verwachten lengte in cm binnen een gebied van  $\pm 8$  cm = 16 cm:

$$3 + 0,5 * (\text{LV} + \text{LM} + 12)$$

en voor een meisje:

$$3 + 0,5 * (LV+LM-12)$$

met LV= lengte vader, LM= lengte moeder.

De formule is ontwikkeld naar aanleiding van de correlatie die Tanner vond tussen de lengte van kinderen en de 'mid-parent-height'. De term '+ 3 cm' komt overeen met de gemiddelde seculaire groeiverschuiving tussen 1965 en 1980 bij mannen en vrouwen samen. De term '12 cm' komt overeen met het gemiddelde verschil tussen jonge volwassen mannen en vrouwen in 1965.

Aangezien de standaarddeviatie bij volwassen jongens/meisjes 6,7 respectievelijk 6,2 cm is, betekent de 16 cm spreiding een marge van 76% van de populatie. Dit lijkt voor ontwerpdoeleinden niet zoveel bij te dragen aan wat men op het oog zou kunnen schatten bij een klein of een groot kind vanuit technisch oogpunt gezien! Het doel van bovenstaande formule is echter om geneeskundigen hulp te bieden bij de beoordeling of de groei van een kind extreem is.

*Formule 3.* De formule volgens Marubini et al. (1971):

$$Y = P + K / (1 + e^{a-b \cdot t})$$

met Y = afhankelijke variabele: de lichaamslengte in cm

t = onafhankelijke variabele: de leeftijd in 0,01 maand

P = lichaamslengte aan het begin van de te beschouwen periode

K = groei in cm tijdens de te beschouwen periode

a = integratie constante

b = richtingscoëfficiënt als (1/ leeftijd)

Marubini bepaalde de parameters voor een groep van 121 meisjes in Italië tijdens hun groeispurt. De groeisnelheidscurve is nu eenvoudig de eerste afgeleide van Formule 3 maar bovendien symmetrisch ten opzichte van het buigpunt  $t^* = a / b$ , waar de helft van de groeispurt is doorlopen. De waarde  $1 / b$  (in 0,01 maanden) kan als de natuurlijke breedte van de curve gelden.

De pieksnelheid is gelijk aan:

$$\frac{dY}{dt} [t = t^*] = \frac{bK}{4}$$

Voor de steekproef van Marubini hadden de parameters de volgende waarden:

P = 122,35 (cm) met SE = 0,60

$$SE = \text{standaardfout} = s * \sqrt{(1 - r^2)}$$

(een maat voor de grootte van het betrouwbaarheidsinterval)

K = 38,03 (cm) SE = 0,57

a = 9,59 SE = 0,23

b = 7,57 (100/maand) SE = 0,18

*Formule 4.* Heberer et al. (1959) vermelden de 'allometrische' formule van Huxley  $g = b x^a$  ofwel  $\log g = \log b + a \log x$  met a en b als constanten die voor elk

lichaamssegment andere waarden hebben. De gedachte hierachter is dat de groeisnelheid  $g$  van een lichaamssegment in constante verhouding staat tot die van een ander lichaamssegment of van het totale lichaam  $x$ ; dan geldt:

$$dg/dx = a * g/x$$

Integreert men deze formule dan verkrijgt men:

$$g = b x^a$$

Verder geldt bij  $a > 1$  een positieve allometrie, zoals voor de beenlengte van kinderen en bij  $a < 1$  een negatieve allometrie, zoals bij de hoofdhoogte.

*Formule 5.* Tanner (1978) beschrijft in een kleine variant op formule 4 de lichaamslengte in meters als functie van de tijd:

$$L = 0,7301 + 0,0437t + 0,2589 \log t, \text{ met } t \text{ in jaren.}$$

Deze formule is opgesteld voor kinderen in de leeftijd van 3,5 - 10 jaar in 1960.

*Formule 6.* De vijfde formule, die in deze paragraaf wordt aangehaald, lijkt op een verdrievoudiging van de formule van Marubini (Formule 3). Het concept is echter van Robertson uit 1908 en Burt uit 1937, volgens welke de volwassen lichaamslengte is opgebouwd uit de sommatie van drie processen (Bock and Thissen, 1980).

$$Y = P_1 + K_1 * (1 + e^{a-bt}) + P_2 + K_2 * (1 + e^{c-dt}) + P_3 + K_3 * (1 + e^{f-gt})$$

Deze drie processen hebben ieder een eigen maximumgroeisnelheid, een eigen bijbehorende leeftijd en een eigen bijdrage tot de volwassen lengte. Soms werken deze drie processen simultaan, maar in feite zouden slechts twee ervan effectief actief zijn op hetzelfde moment. Vanaf 1 jaar tot volwassenheid blijkt dit opmerkelijk reproduceerbaar te zijn bij de Berkeley-kinderen (Bock en Thissen, 1980).

De groeisnelheidscurve die hieruit resulteert laat duidelijk een prepuberale groeispuurt zien rond 6 en 7 jaar in overeenstemming met andere auteurs, zoals Prader (1984) (zie Bijlage 3).

*Formule 7.* Voor het meer wiskundig beschrijven van de groeicurve van een menselijk organisme op grond van longitudinaal vermelde gegevens geeft Marubini in Marubini et al. (1971) en Marubini (1978) twee methoden:

- met een mathematisch model;
- met een hogere graads polynoom.

Het voordeel van het eerste is dat aan de aanwezige parameters een biologische betekenis kan worden toegekend. De tweede methode levert een nauwkeurige aanpassing van de meetwaarden, maar een minder duidelijk beeld van de interindividuele variabiliteit.

Marubini pleitte in 1982 op het derde Auxologie Congres (Borms et al., 1984) echter voor het 'switch off-model', waarin twee termen, die de groei respectievelijk prepuberaal en gedurende de puberteit beschrijven, gekoppeld worden door de functie  $\phi$ . Dit in tegenstelling tot de sommatie in formule 6. Verder beschrijft hij de groei nu als



een functie van de groeisnelheid en niet van de lengte, omdat de snelheidsfunctie beter het dynamische karakter van de groei aangeeft. In Marubini (1987) wordt nader ingegaan op verwerking van de data met diverse methoden.

Het 'switch-off model' is in de volgende formule samengevat:

$$V(t_j) = a_{1i} s_1 \left( \frac{t_j - b_{1i}}{c_{1i}} \right) \Phi \left( \frac{t_j - b_{2i}}{c_{2i}} \right) + a_{2i} s_2 \left( \frac{t_j - b_{2i}}{c_{2i}} \right) + e_{ij}$$

- met  $V(t_j)$  = de groeisnelheid  
 $t_j$  = de leeftijd in jaren  
 $S_1$  = een vormfunctie specifiek voor de prépuberale periode  
 $S_2$  = een vormfunctie specifiek voor de puberale periode  
 $\Phi$  = de functie die het verband legt tussen de twee periodes zodanig dat de groei vanwege de eerste component vermindert als de groei van wegen de tweede component begint.

$a_{1i}$ ,  $b_{1i}$ ,  $c_{1i}$  En  $a_{2i}$ ,  $b_{2i}$ ,  $c_{2i}$  zijn individuele constanten voor de intensiteit, de tijd en de duur van de prépuberale en de puberale groeispuurt.

Deze laatste formule voldoet het best aan het criterium van biologische interpreteerbaarheid, maar welke van de zes gepresenteerde formules bruikbaar is, hangt erg van de omstandigheden af. Validatie-onderzoeken van deze formules, die behalve bij formule 2 nauwelijks uitgevoerd zijn, zouden het inzicht in de waarde van deze groei-formules aanzienlijk doen toenemen.

### Conclusie

Over de wiskundige groeibescrijvingen valt op te merken dat voor ingenieurs transversale doorsneden meer in de behoefte voorzien dan longitudinale, want transversale data sluiten beter aan bij momentaan gebruik van serieprodukten.

In het kader van het kunnen voorspellen van afmetingen kunnen de wiskundige omschrijvingen van Marubini of Bock echter nuttig zijn; vooral indien deze formules voor lichaamssegmenten bepaald zouden worden. Bijvoorbeeld bij het vaststellen van verstellereiken bij een produkt, dat moet kunnen 'meegroeiën' met een individueel kind; of voor het geval produkten op voorraad aangeschaft worden voor een kind, waarbij de kind-produkt interactie pas over enkele maanden of jaren plaatsvindt, zoals bijvoorbeeld bij luiers of fietsen.

Het zou aanbevelenswaardig zijn de resultaten van bovenstaande formules in één grafiek uit te zetten, toegepast op bijvoorbeeld het voorspellen van de volwassen lengte van een 5-jarige jongen.

## 2.2.6 Vorm, afmeting en gewicht van een volwassene

Er zijn, ook nadat de groeisnelheid van de lichaamslengte gemiddeld ongeveer gelijk aan nul is geworden, zoveel variaties in vorm en afmeting overgebleven, dat er bijna geen individu gelijk is aan een ander.

Op statistische basis zijn er tien tot de macht 2,4 miljard mogelijke combinaties in de DNA-massa, equivalent aan de hoeveelheid die in de 46 menselijk chromosomen aanwezig is (Anthropology Research Project (ARP), 1978). Zelfs al is het aannemelijk dat slechts een gedeelte hiervan verantwoordelijk is voor de morfologie, dan blijft het toch nog een indrukwekkende hoeveelheid. Ook identieke tweelingen (met hetzelfde genotype) zullen na verloop van tijd verschillen door invloeden van de omgeving (Paragraaf 2.6.9). Bijvoorbeeld: invloed op de groei van botten impliceert ook invloed op vorm en afmeting van het spier-skelet-stelsel. Pathologische vormen zijn vaak duidelijk herkenbaar, maar er is ook veel overlap met de variatie van het normale.

In de literatuur over schaalfactoren in de natuur worden twee soorten verklaring gegeven waardoor mensen wellicht niet extreem veel kleiner of groter kunnen worden (McMahon, 1973; McMahon et al., 1983; Kruit, 1987).

De eerste verklaringen zegt dat een relatief klein dier zoals een muis (met lengte  $a$ ) nooit zo groot als een olifant (met lengte  $b$ ) kan worden, omdat die muis dan door zijn eigen gewicht (evenredig met  $a^3$ ) door zijn poten (met een oppervlak evenredig met  $a^2$ ) zou zakken. Als de lengte groter wordt neemt het volume en dus het gewicht met de derde macht van de lengte veel sterker toe dan op basis van de oppervlakte met de tweede macht in relatie tot het gewicht (een soort toelaatbare druk) acceptabel zou zijn. Deze redenering geldt echter alleen bij kubus en bolvormen en bij gelijkblijvende botdichtheid. Schmidt-Nielsen (1984) illustreert dit met het voorbeeld van bruggen. Kleine bruggen zijn vaak van steen en ontworpen op drukbelasting; grote bruggen zijn veelal van staal (met een veel grotere dichtheid dan steen) en ontworpen op trekbelasting.

De tweede verklaring gaat over warmte en zegt dat bij gelijkblijvende warmteproductie per eenheid van volume, een grotere kubus problemen krijgt met de uitstraling van de warmte, omdat het oppervlak slechts kwadratisch toeneemt. Uit het feit dat bij mensen tijdens het postnatale leven, het volume met een factor 30 en het oppervlak met een factor 10 toeneemt, kan men afleiden dat de interne warmtehuishouding tijdens de groei aangepast wordt. Men dient daarom de literatuur over schaalfactoren kritisch te bezien. De volwassen mens lijkt immers qua vorm veelal meer op een cilinder dan op een kubus en zelfs een mollige baby komt qua gelijkenis niet in de buurt van een kubus. Van Wieringen (1972) illustreerde dit door aan te tonen dat er niet continu sprake is van een kubische relatie tussen lengte en gewicht van het menselijk lichaam (zie Figuur 2.9).

McMahon (1973) geeft een overzicht van hoogten versus diameters van enkele organismen in de natuur. De hoogte van bomen en de lengte van takken blijken evenredig te zijn met de  $2/3$  macht van de diameter. Het is echter de vraag of de extreme waarden in antropometrische variabelen, waarbij het dus gaat om de variatie binnen één soort organisme (de mens), ook aan die wetmatigheid voldoen. Het is wel duidelijk dat bij evolutionaire differentiatie er een relatie is tussen vorm en functie.

De natuur selecteert over generaties heen, zodanig dat individuen met gunstige eigenschappen beter kunnen reproduceren, maar de samenleving op zich selecteert binnen een generatie en binnen veel nauwere grenzen. Bijvoorbeeld dragen sport- en

beroepseisen ertoe bij dat alleen 'gunstige' eigenschappen in die tak van sport of in dat beroep voorkomen (zie ook Paragraaf 2.6.3).

Volgens het Groot Guinness Record Boek (Russel, 1988) zijn de volgende extreme waarden in lichaamslengte en gewicht voldoende zorgvuldig vastgesteld. Uit Tabel 2.3 volgt een range in lichaamslengte van de kleinste (59 cm) tot de grootste (272 cm) van 213 cm. Als we 1 per 1000 uitsluiten in de 'normale verdeling' van de lichaamslengte van de Nederlandse Groeidiagrammen, dan zijn de grenswaarden 161,9 cm en 202,1 cm. Dit komt neer op 3 keer de standaarddeviatie boven en onder het gemiddelde. De extreme waarden uit Tabel 2.3 liggen echter in de orde van 10-15 keer de standaarddeviatie. De bijbehorende grenswaarde voor het lichaamsgewicht met uitsluiting van 1 promille zijn 49 en 90 kg bij 20-jarige jongens volgens de Nederlandse Groeidiagrammen (Tabel 2.5).

nummer	lengte (cm)		sexe	gewicht (kg)	land
	kleinste	grootste			
1	59		v	4	Nederland
2	67		m	5	USA
3	72		m	7	Dominicaanse Republiek
4		247	v		China
5		272	m	222	USA
6		234	m	230	Nederland
7		221	m	134	Nederland
8		226	m		Irak
9		250	v		Nederland
10		137	m		Zaire
11		183	m		Ruwanda/Sudan

Tabel 2.3: Overzicht van extreme waarden in lichaamslengte van volwassenen, individuen en etnische gemiddelde (Russel, 1988). Toelichting:

1	Pauline Musters	1876 - 1895
2	Calvin Philips	1791 - 1812
3	Nelson la Rosa	1968 - ...
4	Zen Jinlian	1964 - 1982
5	Robert Wadlow	1918 - 1940
6	Rigardus Rijnhout	1922 - ...
7	Rob Bruintjes (zie Bijlage 2.4)	1951 - ...
8	Kazim Hussein	1968 - ...
9	Trijntje Cornelisdochter Kever	1616 - 1633
10	Pygmeëen gemiddeld	
11	Tutsi, Watutsi en Dinka $\bar{x}$ uit Sudan en Ruwanda	

De waarden uit Tabel 2.4 liggen dan zelfs in de orde van 40 keer de standaarddeviatie.

nummer	gewicht (kg)		sexe	lengte (cm)	land
	grootste	kleinste			
1	399		v		USA
2	635		m	185	USA
3	223		m		NL
4	408		m	193	USA
5		2	v	67	Mexico

Tabel 2.4: *Overzicht van extreme waarden van lichaamsgewicht (Russel, 1988) van volwassenen. Toelichting*

1	<i>Pearcy Pearl</i>	1926 - 1972
2	<i>John Brower Minnoch</i>	1941 - 1983
3	<i>Jan Claeszoon Clees</i>	1570 - 1612
4	<i>T.J. Albert Jackson</i>	1941 - ...
5	<i>Lucia Zarate</i>	1863 - 1889

Bij de berekening van de percentielwaarden van het gewicht in Tabel 2.5 is rekening gehouden met de scheve verdeling van deze antropometrische variabele. Uit de werkelijke P<sub>50</sub> en P<sub>3</sub> is  $s_l = 6,8$  kg (voor de linker zijde;  $s_l = s_{links}$ ) berekend en  $P_{0,1} = P_{50} - 3 * s_l$ . Op dezelfde wijze berekend blijkt uit de werkelijke P<sub>50</sub> en P<sub>97</sub> dat  $s_r = 10,5$  kg (voor de rechter zijde;  $s_r = s_{rechts}$ ).

$$P_{99,9} = P_{50} + 3 * s_r$$

		lengte (cm)	gewicht (kg)
gemiddeld	$\bar{x}$	182	72,0 kg
standaarddeviatie	s	6,7	7
5e percentielwaarde	P <sub>5</sub>	170,9	57,5
95e percentielwaarde	P <sub>95</sub>	193	80,6
3e percentielwaarde	P <sub>3</sub>	169	58
97e percentielwaarde	P <sub>97</sub>	195	90,5
range van 94%	P <sub>3</sub> -P <sub>97</sub>	26	32,5
eerste promillewaarde	P <sub>0,1</sub>	161,9	51,6
laatste promillewaarde	P <sub>99,9</sub>	202,1	103,5
range van 99,8%	P <sub>0,1</sub> -P <sub>99,9</sub>	40,2	51,9

Tabel 2.5: *Lengte en gewicht van Nederlandse 20-jarige jongens (Roede en Van Wieringen, 1985), met hun theoretische extreme waarden volgens de Gauss-curve.*

### Spreiding

De spreiding van een ontwerprelevante variabele zoals lengte en gewicht hangt nauw samen met de aanwezigheid van andere determinanten. Bijvoorbeeld met sexe en leeftijd in het geval men een busstoel ontwerpt en de relevante afmetingen wil weten van een samengestelde populaties van de twee sexen. Dan blijkt dat de standaarddeviatie voor de lichaamslengte met ruim 40% vergroot wordt. Voor de Nederlandse volwassen mannen en vrouwen geldt volgens de CBS Gezondheidsenquête (Appelboom, 1984 en Seidell, 1985a) dat de gemiddelde waarden en standaarddeviatie gelijk zijn aan

respectievelijk 179,4 (6,4) cm en 165,1 (6,5). De meer recente publicaties van het CBS leidden niet tot hogere gemiddelde waarden. Bovendien ontbreekt de standaard deviatie veelal. Vandaar dat voorgaande cijfers hier nog steeds worden gebruikt.

Met de formule (Molenbroek en Dirken, 1986):

$$s_g^2 = \frac{1}{2}s_m^2 + \frac{1}{2}s_v^2 + \frac{1}{4}(\bar{x}_m - \bar{x}_v)^2$$

die in Hoofdstuk 5 wordt toegelicht, kan als nieuwe standaarddeviatie gelden  $s_g = 9,6$  cm bij een gemiddelde lichaamslengte van mannen + vrouwen  $\bar{x} = 172,3$  cm. Weiner (1969) benadrukt in zijn analyse van de intra- en interpopulatievarianties een tweede belangrijk aspect van de spreiding van verschillende variabelen. De inter-populatie standaarddeviatie ( $s^{ie}$ ) geeft de spreiding aan van de gemiddelden van een reeks populaties.

De intra-populatie standaarddeviatie ( $s^{ir}$ ) geeft de gemiddelde spreiding van elk van die populaties aan. Voor veel variabelen blijkt de verhouding  $s^{ir}/s^{ie}$  groter dan 1 te zijn (1,1 - 1,5), dus is de spreiding binnen een populatie groter dan tussen de populaties. Dit bleek in maten zoals: kruin-zitvlak hoogte, lichaamslengte, spanwijdte, hoofd lengte en bekkenbreedte. Enkele variabelen leverden echter een grotere spreiding tussen de populaties aan, zoals: neusbreedte, hoofdbreedte, handbreedte, handlengte en schouderbreedte. De verhouding  $s^{ir}/s^{ie}$  lag dan tussen 0,77 - 0,99.

Binnen een populatie zijn er zeer typische functionele variabelen met een relatief grote variatiecoëfficiënt  $V = (100 * s / \bar{x}) \%$  (naar Weiner, 1969):

	V	functie
knieschijf - buik afstand (horizontaal, zittend)	7,80%	vrije horizontale ruimte onder tafel
elleboog - zitvlakhoogte afstand (verticaal, zittend)	11,90%	armsteun instelling
dijbeendikte (verticaal, zittend)	9,80%	vrije verticale ruimte onder tafel
breedte over de ellebogen (horizontaal, zittend)	9,70%	bank-breedte
taille hoogte (verticaal, zittend)	8,30%	pantalon lengte

Hiertegenover staan enkele kleine variatiecoëfficiënten van:

	V	functie
schouder - elleboog afstand	1,80%	vrije ruimte rugleuning
onderbeenlengte	4,50%	zittinghoogte

De genetische gemiddelde overeenkomst tussen groepen is blijkbaar groter dan tussen individuen binnen een groep. Zogenaamde etnische groepen zijn dan ook zeer heterogeen en de etnische groepen onderling nogal overeenkomstig. Dit heeft wellicht te maken met de herkomst van de populaties. Met onderzoeken zoals van Cann et al. (1984) naar mitochondriale DNA is in de toekomst wellicht te traceren welke de meer

oorspronkelijke populaties waren, waaruit wij geëvolueerd zijn. Zij zochten bij 112 mensen op vier continenten naar de aan- of afwezigheid van een splitsing op 441 locussen in de mitochondriale DNA. 278 Locussen bleken hierbij invariant en 163 waren polymorf, dat wil zeggen twee of meer allelen kwamen voor op één locus. Kritiek op de bruikbaarheid van mtDNA wordt onder meer weergegeven in Schellekens (1994) en in Lemonick (Time, 1994).

De grote variatie in lichaamsafmetingen binnen een land of een bereikbaar afzetgebied van consumentengoederen is nog meestal onvoldoende onderkend. Met behulp van meer antropometrische kennis bij ontwerpers zou het duidelijker worden dat er ook buiten de modale waarden nog veel afzetmogelijkheden en ten onrechte vergeten consumenten zijn. Dit betekent anderzijds voor die vergeten consumenten dat er ook voor hen meer bruikbare produkten ontwikkeld kunnen worden. In Nederland waren er in de groep volwassenen van 18 jaar en ouder in 1985/87 0,7% = 39.000 vrouwen langer dan 183 cm. Tegelijkertijd waren er 8,7% = 483.000 vrouwen kleiner dan 157 cm (CBS, 1988). Voor vrouwen met deze lengten is bij het ontwerpen en beoordelen van consumentengoederen slechts zelden aandacht. Om een indruk te geven van reële extremen zijn twee tabellen (Tabel 2.6 en Tabel 2.7) samengesteld met P1 en P99 waarden van enkele kenmerkende variabelen uit het Anthropometric Source Book (ARP, 1978). Dit boek geeft een indruk van de wereldpopulatie (zie Paragraaf 3.2.2).

	P1	P99	Populatie
lichaamslengte	144,5	175,3	Health Exam 1962 USA (vrouwen)
breedte over de ellebogen	29	53,6	Health Exam 1962 USA (vrouwen, 25-40 jr)
borstdiepte	18	28,6	USAF survey 1965
handlengte	15,6	19,6	WAC Separatee 1946
handbreedte	6,6	8,6	WAF Nurse OFCRS
hoofdomtrek	50,8	57,3	Vietnam Military

Tabel 2.6: Laagste 1ste percentiel en bijbehorende 99ste percentielwaarden van enkele antropometrische variabelen van diverse populaties uit het Anthropometric Source Book (ARP, 1978).

Deze zijn natuurlijk minder extreem dan die van het Guinness Book of Records (Tabel 2.3 en 2.4), die grotendeels als pathologisch beschouwd kunnen worden. De selectie van de populaties vond plaats op basis van de meest extreme waarde.

	P99	P1	Populatie
lichaamslengte	192,9	163,1	USAF-RID aviators 1967
breedte over de ellebogen	54,6	40,7	Italian Mil. 1961
borstdiepte	29,7	20,5	USAF Rated Pilots 1967
handlengte	22,3	17,4	Basic Trainees 1965 USA
handbreedte	10,3	7,7	Navy Enlisted 1966 USA
hoofdomtrek	61,1	54,7	USAF Rated Pilots 1967

Tabel 2.7: Hoogste 99ste percentiel en bijbehorende 1ste percentielwaarden van enkele antropometrische variabelen uit het Anthropometric Source Book (ARP, 1978).

## Zwangerschap

Snijders et al. (1984) melden een verlenging van enkele millimeters tot 1 cm tijdens de zwangerschap, gemeten bij 16 vrouwen. Flügel et al. (1986) geven een overzicht van de invloed van de zwangerschap op 30 afmetingen. De zwangere proefpersonen werden gemeten in de 4de en de 10de maand.

De verschillen waren: (groter in 10e dan 4e maand)

1-5 cm bij:	borstbreedte	1,1 cm
	bekkenbreedte	1,2 cm
	kuitomvang	1,3 cm
	halsomvang	1,4 cm
	dijbeenomvang	2,4 cm
	bovenste abdomen-boog	4,3 cm
	(= afstand borstkas-navel in het midsagittale vlak)	
5-10 cm bij:	heupomvang	4,4 cm
	borstomvang op tepelhoogte	6,0 cm
	borstomvang onder de borsten	6,3 cm
	totale abdomen-boog	8,7 cm
(= afstand borstkas-schaambeent)		
10-20 cm bij:	buikomvang ter hoogte van de navel	19,8 cm
> 20 cm bij:	taille	20,5 cm
> 10 kg bij:	lichaamsgewicht	10,4 kg

## Groei na de adolescentie

Groei in de lichaamslengte stopt wanneer de epifyseaire schijven zich sluiten aan het einde van de adolescentieperiode. Maar de groei duurt voort in botten die door appositie (toeneming van buitenaf) in afmeting toenemen, zoals de tussenwervelschijven.

Vandaar dat de lichaamslengte tussen de leeftijd van 20 en 30 jaar alsnog met gemiddeld 6 mm toeneemt volgens Damon (1977). Tevens neemt de schouderbreedte toe na de leeftijd van 30 jaar door de lengtegroei van de sleutelbeenderen. Enkele hoofdafmetingen, zoals neuslengte en oorlengte groeien door bij het ouder worden door de activiteit van de hypofyse. Het lichaamsgewicht neemt (Damon, 1977;

Susanne, 1980) toe met 0,4 kg per jaar tussen 25 en 55 jaar en neemt daarna weer af tot 65 jaar met 0,1 kg per jaar, overeenkomstig het verloop van het lichaamsvet tot 65 jaar.

Bij een transversaal onderzoek onder 2015 blanke oorlogsveteranen uit Boston bleek volgens Damon (1977) echter geen toename in lichaamsgewicht tot het 45ste jaar. Dit betreft echter een gemiddelde van 80 kg, wat 10 kg hoger is dan het gemiddelde van de Nederlandse keurling. Na het 45ste echter bleek wel een afname van 0,2 kg per jaar op te treden. Dit zou aan de relatief goede conditie van de militairen toe te schrijven zijn, ware het niet dat de Amerikanen met een veel hoger gewicht zijn begonnen.

Binnen de extreme waarden van de tabellen 2.6 en 2.7 varieert de volwassen menselijke vorm en afmeting niet willekeurig, maar hangt samen met een reeks van factoren waarvan in deze paragraaf de leeftijd en in de paragrafen 2.3 - 2.6 de overige worden besproken.

## Veroudering

Het grootste deel van de ergonomische gegevens is gebaseerd op de groep 20-35 jarige mannen. Daardoor blijft veroudering in ergonomische data veelal onderbelicht, maar

desalniettemin ontwerprelevant; zie onder meer Damon en Stoudt (1963). Enkele typische veranderingen in veel gebruikte antropometrische gegevens door veroudering zijn:

- vermindering van spierkracht na het 30ste jaar;
- toename in gewicht en buikomvang vooral tussen 25 en 35 jaar;
- vermindering van bewegingsmogelijkheden (gewrichtsexcursies zowel als snelheid).

In Sinclair (1989) worden als illustraties van deterioratie ('aftakeling') van 20-80 jaar onder meer genoemd:

- 15% daling van geleidingssnelheid van de zenuwvezels;
- 25% daling van de knijpkracht;
- 45% daling van de vitale capaciteit van de longen;
- 50% daling in reactietijd op licht en geluid;
- 15% daling van de hersenmassa.

Beroep en sport of hobby kunnen het verouderingseffect evenwel aanzienlijk vertragen. Aan de Stanford University werd een groep van 498 hardlopers (50-72 jaar) vergeleken met 365 personen, gematched naar leeftijd en geslacht, die niet gewend waren om te joggen. De joggers kwamen er qua lichamelijke mogelijkheden uitstekend vanaf. Verouderingsverschijnselen traden bij hen minder op (Lane, 1987). Chow (1987) bewees dat lichamelijke oefening botverlies beperkt. Een groep 'postmenopauzale', gezonde vrouwen (50-62 jaar) werd in groepen onderverdeeld. Een groep, die een jaar lang 3 maal per week aerobics moest dansen, had niet alleen een significant betere conditie, maar ook meer botweefsel (Calcium).

Damon et al. (1972) illustreerden transversale verschillen in een aantal antropometrische variabelen. Lichaamslengte en de daarmee gecorreleerde segmentlengten nemen transversaal gestaag af met de leeftijd. Damon interpreteert dit als een seculaire trend naar grotere lichaamslengte, omdat er voor alternatieve verklaringen, zoals selectieve migratie of overleving, geen bewijzen zijn en omdat longitudinale studies zoals van hemzelf (1965) nauwelijks krimp tonen tussen de derde en zesde decade van de levenscyclus.

Susanne (1980) geeft een overzicht van 10 andere longitudinale studies die een krimp van 0,056 tot 0,155 cm per jaar melden. Susanne (1977) constateerde naar aanleiding van een eigen onderzoek 0,083 cm krimp per jaar in de lichaamslengte na 45 jaar.

Krimp als natuurlijk negatief groeiproces in de lichaamslengte kan worden veroorzaakt door:

- osteoporose;
- thoracale kyfoserings;
- dunner worden van de tussenwervelschijven;
- doorzakken van de voetboog;
- verkleining van de hoek tussen femurhals en schacht (Von Lanz en Wachmuth (1959) noemen een daling van 131 naar 115 graden);



- verkorten van de hamstrings (spieren achterzijde dijbeen).

### 2.2.7 Vorm, afmeting en gewicht van een oudere

Ouderen behoren naast kinderen, vrouwen en gehandicapten tot de minder onderzochte groepen op het gebied van antropometrie en ergonomie.

Aandacht van de ergonomie voor ouderen heeft twee redenen:

- de toename van de omvang van de populatie (zie Hoofdstuk 5);
- ontoereikend aantal produkten dat aan (vitale) ouderen is aangepast;
- de ernst en grootte van het aantal ongevallen bij ouderen.

De leeftijd van 65 jaar is arbitrair, maar is algemeen gebruikelijk als de start voor de periode van de 'ouderen'.

Bij ouderen, die 13% van de bevolking vormen (CBS, 1994), gebeuren 75% van de dodelijke privé-ongevallen in Nederland. In 9 van de 10 gevallen was een valpartij aanleiding of oorzaak van het ongeval (Rogmans et al., 1983) en we mogen aannemen dat dit in de laatste 10 jaar nauwelijks is gewijzigd. In de laatste 15 jaar is het aantal dodelijke verkeersongevallen wel gedaald van ongeveer 2400 naar ongeveer 1000 per jaar, maar het aantal privé-ongevallen en het percentage valpartijen is ongeveer constant gebleven. Volgens CBS (1994) waren er in 1992 540 dodelijke valpartijen bij mannen en 1041 bij vrouwen te betreuren. Oudere vrouwen lopen, wat deze ongevallen betreft, een twee keer zo groot risico als mannen. Dit komt door het dalend volume aan corticaal bot bij vrouwen na de menopauze (bij ongeveer 50 jaar), welke daling bij mannen pas na een leeftijd van 60 jaar optreedt. Gekwantificeerd betekent dit dat vrouwen 50% van hun botweefsel tussen 25 en 90 jaar verliezen, terwijl mannen in dezelfde periode slechts 15% verliezen. De osteoblasten kunnen met hun opbouwwerk de osteoclasten met hun afbraakwerk niet bijhouden (Duursma, 1984).

Preventie van osteoporose heeft hoge prioriteit vanuit de medische discipline, onder meer vanwege de prijs voor de samenleving (Storm, 1990). Aangenomen mag worden dat ergonomisch ontworpen produkten en omgevingen ook het aantal ongevallen kunnen doen dalen. Voor dat ergonomisch ontwerp, waarbij de interactie mens-produkt dus is geoptimaliseerd, zijn overzichten nodig van eigenschappen van ouderen. Onder meer heeft Freudenthal (1993) een nieuw gerontechnologisch project gestart, dat de komende jaren juist op deze problematiek is gericht, maar een veel breder gebied bestrijkt dan de antropometrie en richtlijnen voor ontwerpers als doelstelling heeft.

Binnen het kader van deze studie, die zich in principe op alle leeftijdsgroepen richt, ligt de aandacht vooral op de ontwerprelevante antropometrische eigenschappen, die blijkens het voorgaande een grote samenhang met de leeftijd vertonen.

#### Veroudering genetisch?

Als de levensduur van een mens of dier alleen genetisch werd bepaald, dan zouden alle volledig ingeteelde proefdieren met dezelfde genetische informatie in een laboratoriumsituatie op dezelfde dag sterven (Knook 1982). Maar dat gebeurt niet. De levensduur varieert evenzo als van niet ingeteelde proefdieren. Wel is er een algemeen

verband tussen de afmeting en massa (o.a. genetisch bepaald) van een organisme en zijn levensduur (McMahon et al., 1983). Grote dieren (zoals olifanten) en grote planten leven langer, de activiteiten van hun individuele cellen zijn trager en hun uiterlijke vorm verschilt in hoge mate van die van de kleine organismen (zoals insecten). Grote afmetingen van een organisme betekenen veelal ook grotere massa's van organen. In Schmidt-Nielsen (1984) en in McMahon et al. (1983) worden diverse allometrische vergelijkingen genoemd; onder meer het verband tussen de hersenmassa (HM) en de lichaamsmassa (LM) als  $HM = 0,085 * LM^{0,66}$ . McMahon noemt ook het verband tussen de levensduur en de lichaamsmassa. Variatie in levensduur is er niet alleen tussen verschillende soorten organismen en verschillende individuen van één soort, maar ook tussen verschillende soorten cellen in eenzelfde individu. Rode bloedlichaampjes leven enkele maanden, terwijl zenuwcellen even lang kunnen leven als het individu, waarin ze aanwezig zijn. De overige cellen of cel-elementen leven soms slechts enkele dagen. Dat er elke dag hersencellen sterven, is reeds vermeld op blz. 32. Volgens Knook (1982) is dit deel waarschijnlijk verwaarloosbaar klein. Men dient niet te vergeten dat er een continu proces van opbouw en afbraak in de cellen aan de gang is gedurende het gehele leven. Maar doordat het verlies aan hersencellen in bepaalde delen van de hersenen groter is, zal het effect vaak merkbaar zijn.

Parallel aan de opvatting over ontwikkeling en differentiatie tijdens de embryonale fase zou de veroudering genetisch geprogrammeerd kunnen zijn, als een laatste stadium van het leven.

Een tweede opvatting is dat veroudering een gevolg kan zijn van foute aflezingen van de genetische codes, waardoor nieuwe eiwitten niet correct worden aangemaakt, in combinatie met andere fouten zoals mutaties in het DNA. In ieder geval heeft de aanwezige fragmentarische kennis over verouderingsprocessen toch al geleid tot beschrijvingen van duidelijke relaties met een aantal functiestoornissen die met de leeftijd samenhangen (Knook, 1982 en 1985).

De reikhoogte, de knijpkracht en de onderbeenlengte zijn voorbeelden van puur functionele antropometrische variabelen, die zeer relevant zijn voor het ontwerpen van huisvesting en bedieningsfuncties voor ouderen. Voor het ontwerpen van hendels, knoppen en bergruimte voor ouderen is onvoldoende bekend welke antropometrische richtlijnen men dient te hanteren en welke de gevolgen zijn als men daar veel van afwijkt.

In Dirken (1963, 1968 en 1972) wordt het begrip 'functionele leeftijd' bij Nederlandse industrie arbeiders beschreven aan de hand van een omvangrijk transversaal onderzoek. Dit begrip is van belang om objectief vast te stellen wat een mens nog wél en wat hij niet meer kan doen.

Een betrouwbare maatstaf hiervoor zou gebruikt kunnen worden bij vraagstukken over pensionering, omscholing, taakverruiming, personeelsselectie e.d.

Met het begrip functionele leeftijd is meer bekend over welke arbeidscapaciteiten verschillende leeftijdsgroepen hebben en tegen die achtergrond kan men bepalen welke functionele leeftijd bij een persoon hoort, gezien zijn vermogens.

Er zijn zeven varianten van de maatstaf ontwikkeld. Eén variant van de functionele leeftijd in jaren is gelijk aan:

- + 95,18
- 0,169 \* waarde proef hoge tonen onderscheiden
- 0,036 \* waarde proef gezichtsscherpte
- 0,012 \* waarde proef knijpkracht van de hand
- + 0,038 \* waarde proef concentratievermogen
- 0,344 \* waarde proef figuren herkennen
- + 0,103 \* waarde proef reactiesnelheid
- 0,002 \* waarde proef inhoudscapaciteit longen
- 0,092 \* waarde proef maximale inspanning

De wegingsfactoren zijn onderling niet uitwisselbaar door verschillende schaalgrootte.

Voor het meten van de afhankelijke variabelen is een uitgerust laboratorium nodig; vandaar wellicht dat dit beginsel toch niet op grote schaal door de bedrijfsgeneeskundige diensten is ingevoerd.

De spreidingsbreedte die qua functionele leeftijd bij 326 personen door Dirken c.s. gemeten is, is uit te drukken met de standaarddeviatie van 6,15 jaar. Dit betekent dat *'ruim 30% van de mannelijke industriële arbeiders hooguit 6 jaar ouder en ruim 30% hooguit 6 jaar jonger is dan hun kalenderleeftijd'* is (blz. 76, Dirken, 1968). Of meer extreem geformuleerd: er is slechts een kans van 1% dat een 52-jarige functioneel 65 jaar is.

Enkele vragen die dit onderzoek oproepen:

- waardoor wordt de snelheid van het verouderen beïnvloed?
- is de functionele leeftijd stabiel?

Hiervoor is een meer tijdrovend longitudinaal onderzoek nodig, dat voor zover bekend nog niet uitgevoerd is. In Dirken (1972) wordt de mogelijkheid hiervan nader onderzocht. Uit een enquête onder 180 functionarissen in de bedrijfsgezondheidszorg en het personeelsmanagement bleek dat de kennis over het arbeidsvermogen van een medewerker slechts één van de vele aspecten is die bij de personele besluitvorming een rol speelt. 151/180 Respondenten zien wel toepassingsmogelijkheden van de ontwikkelde maatstaf, maar slechts 25/180 vinden dit ontwerp *'very well applicable'* (blz. 210). In Dean (1988) is een uitgebreid overzicht gepresenteerd van de methoden en technieken om vaardigheden bij ouderen te meten.

Susanne (1977) onderzocht longitudinaal het verouderingseffect op enkele andere antropometrische variabelen bij ouderen gedurende de leeftijd van 60-80 jaar (Tabel 2.8). Hiermee wordt het beeld gecreëerd, dat men ook ziet in een bejaarden- of verpleegtehuis: mensen met relatief dunne armen en benen, een ingezakte romp en meer vet rond hun buik/heupen ('ton-vorm').

	verandering in cm/jaar
kruin-zitvlak hoogte	-0,282 tot -0,623
biacromiale diameter (schouderbreedte)	-0,025 tot -0,115
bicristale diameter (heupbreedte)	+0,286 tot +0,306
arm omtrek	-0,33 tot -0,093

Tabel 2.8: Longitudinaal gemeten verouderingseffekt van 60-80 jaar (Susanne, 1977).

Bij niet-ambulante ouderen is het moeilijk de lichaamslengte vast te stellen. Omdat de lichaamslengte in relatie tot het lichaamsgewicht vaak als referentie wordt gebruikt, bij het beoordelen van de voedingstoestand bijvoorbeeld, is het wenselijk deze variabelen betrouwbaar te kunnen voorspellen uit één of meer segmentmaten bij liggen of zitten.

Chumlea (1985) publiceerde twee regressievergelijkingen voor de lengte van mannen en vrouwen, met een 95% betrouwbaarheidsinterval van respectievelijk  $\pm 7,2$  en  $\pm 6,9$  cm. Dit is niet zo accuraat, gezien het feit dat de standaard deviatie ongeveer even groot is.

De vergelijkingen van Chumlea luiden: voor mannen:

$$\text{lichaamslengte in cm} = 60,65 + 2,04 * (\text{kniehooft in cm})$$

en voor vrouwen:

$$\text{lichaamslengte in cm} = 84,88 + 1,83 * (\text{kniehooft in cm}) - 0,24 * (\text{leeftijd in jaren}).$$

De factor leeftijd verbeterde bij mannen niet de voorspelde variantie van lichaamslengte; bij vrouwen echter wel.

Ten aanzien van de afmetingen van ouderen, beweert Annis et al. (1991), in tegenstelling tot wat wellicht verwacht werd, dat ergonomische werkplekken niet hoeven te worden aangepast ten gevolge van de leeftijd van de gebruikers. Volgens hen is de spreiding in de verstelmogelijkheden reeds voldoende en niet strijdig met de antropometrie van de ouderen in de USA. In Nederland zullen we dat nog nader dienen te onderzoeken.

Samenvattend is uit de literatuur te concluderen dat veroudering veroorzaakt wordt door erfelijke invloeden, mutaties in erfelijke factoren, foute aflezingen bij de dagelijkse opbouw en afbraak van cellen en door omgevingsinvloeden. Veroudering is af te lezen aan vorm, afmeting, samenstelling en functiemogelijkheden van het lichaam, hetgeen gekarakteriseerd wordt door een verandering in functionele leeftijd. Antropometrische aanpassingen bij ergonomisch ontworpen producten dienen nader onderzocht te worden.

## 2.3 Samenhang met sexe

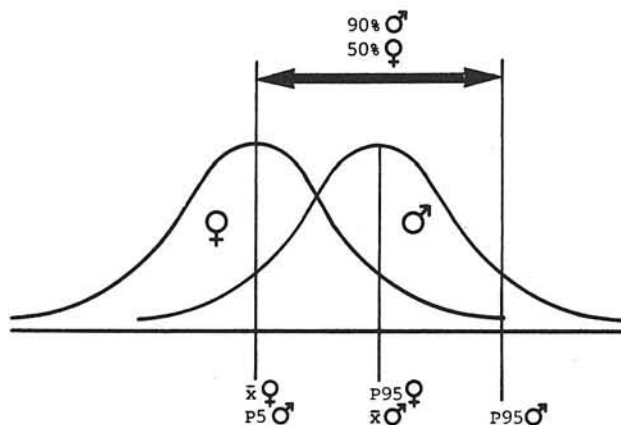
Ontwerpers zullen de biologische, sociale en sexeverschillen niet ontkennen, maar men houdt er nog vaak onvoldoende rekening mee dat deze consequenties kunnen hebben voor het produktontwerp. Dit geldt vooral voor de extreme percentielwaarden.

Als een stoel voor 90% van de mannen is ontworpen, blijkt dat deze slechts bruikbaar is voor iets minder dan 50% van de vrouwen (Figuur 2.10). Dit voorbeeld is voor veel variabelen geldig zolang het gaat om één aspect van een product, bijvoorbeeld de zittingdiepte van een stoel. Wil men de consequenties overzien voor verscheidene, gecombineerde aspecten, zoals zittingdiepte en zittinghoogte, dan dient ook het effect van de onderlinge correlatie meegenomen te worden (Hoofdstuk 5).

Er zijn enkele fysieke eigenschappen waarbij de vrouwelijke waarden hoger zijn, zoals gewrichtsexcursies.

De eenvoudige vuistregel van Murell (1969), dat vrouwen qua gemiddelde kracht overeenkomen met het 2/3 deel van de gemiddelde kracht van mannen, dient eveneens meer gedifferentieerd te worden bekeken (Redgrove, 1979, 1984). Figuur 2.11 geeft ter illustratie de spreiding van de sexeverschillen bij de lichaamslengte in Nederland volgens de Nederlandse Groeidiagrammen 1980, als functie van de leeftijd.

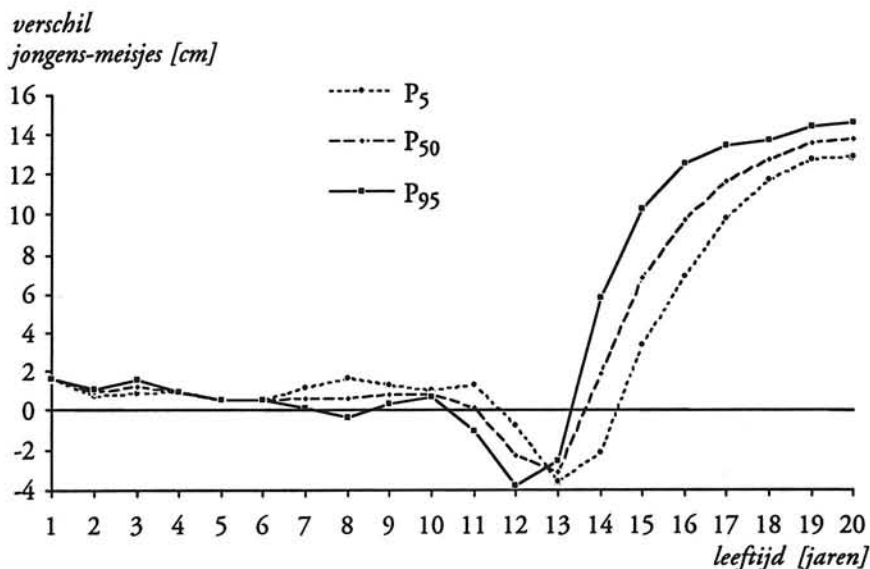
Bij afmetingen van kinderen beneden de tien jaar wordt er soms geen sexeverschil gepresenteerd (DIN33402, 1981) terwijl anderen (Van Wieringen, 1972; Roede en Van Wieringen, 1985 en Prader, 1984; Steenbekkers, 1993) duidelijk onderscheid maken vanaf 0 jaar. Deze verschillen in de gemiddelden bij kinderen zijn echter bij de lichaamslengte niet groot.



Figuur 2.10: Ligging van veel fysieke sexe verschillen. Verticaal staat hier de frequentie uit van een fysieke eigenschap.

Figuur 2.11 toont dat deze verschillen er wel degelijk zijn tot 10 jaar, maar beperkt blijven tot een orde van 1 cm of 1% bij de lichaamslengte.

Ten aanzien van spierkracht geldt dat de sexeverschillen in een vroeger stadium dan bij afmetingen duidelijk aanwezig zijn en dat deze ook op volwassen leeftijd groter blijven. Zo bijvoorbeeld zijn vanaf 4 jaar jongens al 5 tot 10% sterker dan meisjes, terwijl dit bij 14 jaar opgelopen is tot 20% voor de P50-waarde (Roede, 1979).



*Figuur 2.II: Het verloop van het verschil in lichaamslengte naar sexe van drie percentielwaarden volgens Nederlandse Groeidiagrammen 1980 (Roede en Van Wieringen, 1985).*

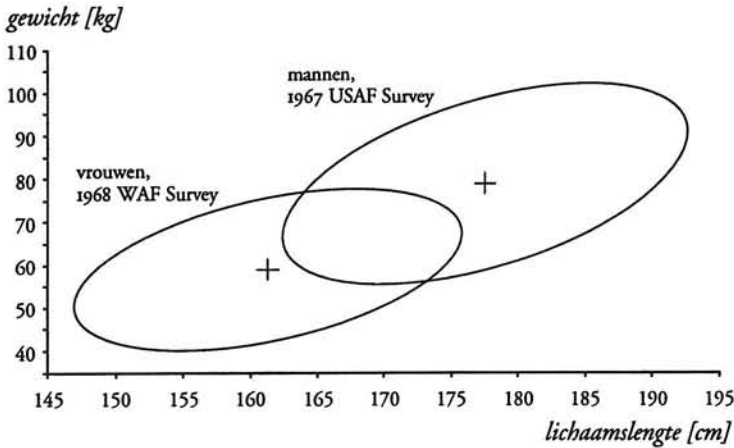
Voor volwassenen, stelt Laubach en McConville (1976), dient de spierkracht onderscheiden te worden naar de ledematen die de kracht uitoefenen, naar statische of dynamische belasting en dienen zij bovendien, evenals afmetingen van de mens, uitgedrukt te worden in termen van een gemiddelde waarde en een standaarddeviatie. De gemiddelde spierkracht van de vrouw is dan volgens Laubach en McConville gemiddeld 63,5% van die van de man, terwijl over 90% van de gevallen het vrouw/man % ergens ligt tussen 35-86%; derhalve:  $\bar{x}_{\text{man}} / \bar{x}_{\text{vrouw}} = 1,57$ .

Hierbij geldt echter ook dat de verhouding tussen de spierkracht in de benen en in de armen, bij de vrouwen groter is dan bij de mannen.

Het sexeverschil bij het lichaamsgewicht is zeer expliciet aanwezig (Figuur 2.12). De variatiecoëfficiënt:  $V = (100 * s / \bar{x})\%$  is overigens bij beide sexen bij het gewicht (16%) groter dan bij de lengte (3%).

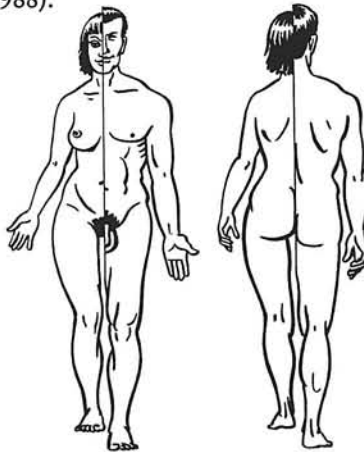
Ondanks de genoemde verschillen en de daaruit voortvloeiende gewoonte om ergonomische data voor beide sexen gescheiden te presenteren indien er bij beide sexen gemeten is, is het anderzijds zeer gebruikelijk dat produkten worden ontwikkeld voor een populatie bestaande uit mannen en vrouwen.

Vandaar dat het wenselijk zou zijn om ergonomische data en richtlijnen ook voor beide sexen gezamenlijk te presenteren, zoals blz. 51 bovenaan. In Hoofdstuk 5 wordt nader ingegaan op de mogelijkheden hiervan, uitgaande van separate data.



*Figuur 2.12: Bivariate distributieverdeling van lengte en gewicht (ARP, 1978).*

Sexeverschillen zijn in de medische literatuur uitvoerig bestudeerd. Zie bijvoorbeeld literatuuropgave in Gray's Anatomy (Figuur 2.13) (Warwick, 1973) of in de fysisch antropologische literatuur zoals het Lehrbuch der Anthropologie van Martin (Saller, 1957) of in Knussman (1988).



*Figuur 2.13: Sexueel dimorfisme anatomisch gezien naar Warwick (1973).*

Iscan (1983) toonde aan dat de sexe van opgegraven skeletten met behulp van discriminant-analyse met 88% zekerheid was vast te stellen door meting van de pelvis. Dit bleek uit meting van 400 pelvis-beenderen van beide sexes van bekende leeftijd en etniciteit. (Sexeverschillen bij mensen zijn vergeleken bij dieren eigenlijk slechts gering).

Mannelijke atleten verschillen qua lichaamsbouw het meest van vrouwelijke bij roeien en kanoën en het minst bij turnen en lange afstand lopen. Qua heupbreedte en dijbeenomtrek zijn de verschillen in het algemeen bij atleten zeer gering; daarentegen verschillen de huidplooidikten meer. Mannelijke atleten zijn in alle sporten meer

mesomorf en minder ectomorf. De verschillen in somatotypen tussen mannelijke en vrouwelijke atleten zijn even groot als tussen mannelijke en vrouwelijke studenten aldus Carter et al. (1982) na hun uitvoerig antropometrisch onderzoek bij de Olympische atleten in Montreal.

## 2.4 Samenhang met etniciteit

Onder etniciteit wordt verstaan het behoren tot een onderscheiden bevolking met gemeenschappelijke uiterlijke, fysieke en culturele, veelal linguïstische kenmerken. Vroeger werd dit wel als 'ras' aangeduid, wat biologisch en evolutietheoretisch geen zinvol begrip is. Gebruikelijker is het om ook hiervoor het begrip 'populatie' te hanteren, hetgeen alleen betekent dat er minstens één fysiek of cultureel kenmerk gemeenschappelijk is.

Ontwerpers in Nederland creëren vaak producten die voor export bedoeld zijn. Bovendien is er vanaf 1992 sprake van een geïntegreerde Europese markt. Vandaar de noodzaak om ergonomische gegevens van diverse etnische groepen binnen hun bereik te brengen. Zelfs voor binnen de Nederlandse grenzen toe te passen producten is er al sprake van dezelfde noodzaak vanwege de aanwezigheid van Turken, Marokkanen, Surinamers en anderen (totaal waren er 692.000 mensen met een niet-Nederlandse nationaliteit in Nederland woonachtig op 1 januari 1991 volgens CBS, 1993).

Gesteld kan worden dat talrijke werkplekken en producten, die voor de gemiddeld langere Nederlander gemaakt zijn, minder bereikbaar zijn voor de buitenlanders. Om deze reden werd onlangs de keuringseis voor vrouwelijke politieagenten: > 160 cm, vervallen verklaard. In Duitsland heeft men om die reden in de DIN33402 (1981) aparte richtlijnen opgenomen voor mensen, die rond de Middellandse Zee zijn geboren (Beiblatt 3 Teil 2).

Volgens deze norm concentreert zich het verschil in lichaamsbouw vooral in de lengtematen van de romp en benen.

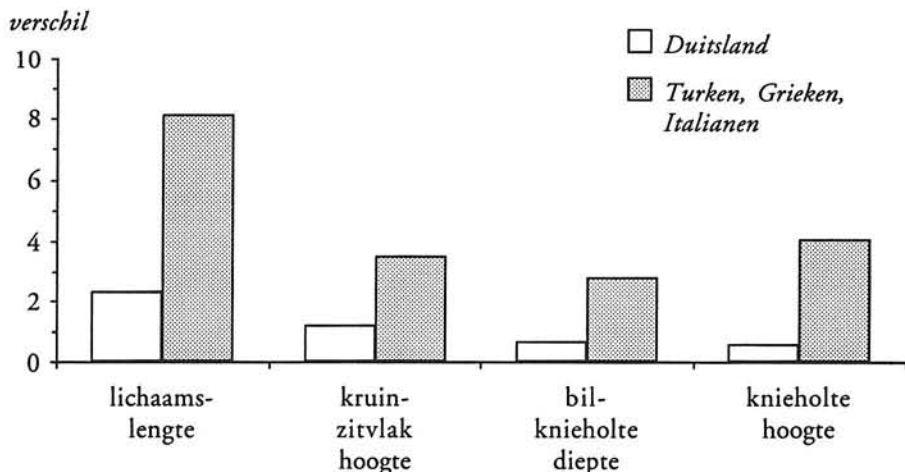
In Figuur 2.14 worden deze verschillen geïllustreerd. Er is sprake van ongeveer 8 cm significant verschil in gemiddelde lichaamslengte en 4-5 cm in de gemiddelde onderbeenlengte.

Eén van de handboeken op het gebied van antropometrie is het reeds herhaaldelijk geciteerde *Anthropometric Source Book* (ARP 1978). Hierin staan resultaten over 195 menselijke maten van 61 populaties uitgebreid beschreven (zie ook Hoofdstuk 3).

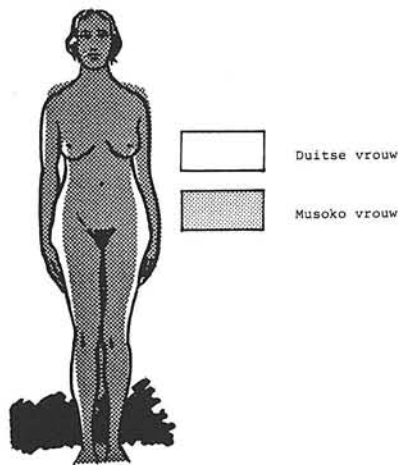
ARP (1978) komt bij het beschouwen van zwarte en blanke leden van de US-Air Force tot de conclusie dat zwarte mensen langere benen, armen, handen en voeten hebben. Blanke mensen hebben daarentegen grotere romp-afmetingen. Verder hebben zwarte mensen ook een langere horizontale schedeldiameter (voorachterwaarts), bredere aangezichten en minder lichaamsvet. Bij vergelijking met oosterse mensen blijkt dat blanke Amerikanen gemiddeld 10 cm langer zijn. De kruin-zitvlak hoogte is bij deze drie groepen ongeveer even groot; mede door de variatie in hoofd- en nek lengte. Het



verschil zit dus voornamelijk in de benen. Illustratief voor de rol van de etniciteit in het antropometrisch ontwerpen zijn Figuur 2.15 en de anekdote over de Olympische Spelen in Tokio (zie blz. 16). Recentelijk (Ingenieurskrant 27, december 1993) bleek dit fenomeen nog steeds aanwezig, toen bij het nieuwste type van een bekend Japans automerk, de forse Nederlandse monteur bij een wedstrijd, in wie het snelst de auto kon repareren, zijn hand niet achter het benzinefilter kon krijgen.



Figuur 2.14: Overzicht van enkele typische verschillen in gemiddelde afmetingen tussen enerzijds Nederlanders en anderzijds Duitsers en Turken, Grieken en Italianen (in procenten negatieve afwijking).



Figuur 2.15: Dimorfisme en etniciteit (Saller, 1957). De heupbreedte van de Europese vrouw is groter dan de schouderbreedte.

De sexeverschillen zijn overigens niet in dezelfde mate aanwezig bij verschillende etniciteiten.

Figuur 2.15 geeft het verschil aan volgens Martin in Saller (1957) tussen de heupbreedten van Europeanen en Noord Amerikanen enerzijds en Afrikanen (Masai en Musoko) anderzijds. De thorax-breedte index (= bicristale (heup) breedte/biacromiale (schouder) breedte) geeft dit verschijnsel goed weer.

Voor de ontwerper is het van belang te weten voor welke landen dezelfde databronnen aangehouden kunnen worden en voor welke niet.

Het onderscheid in 'rassen' is nog lange tijd door fysisch antropologen gehuldigd, zelfs toen de biologen deze typologische opvatting over soorten al een eeuw hadden verlaten. Darwin zorgde in 1859 met zijn 'Origin of Species' voor deze opvatting van de biologen door te benadrukken dat elke soort voortdurend verandert en intern allerlei verschillen vertoont (Lewontin, 1985). Pheasant (1982) gaat ervan uit dat de populaties in Noord-Amerika en Europa qua lichaamsbouw zo weinig van elkaar verschillen, dat onderlinge verschillen voldoende nauwkeurig met twee parameters ( $\bar{x}$  en  $s$  van de lichaamslengte) beschreven kunnen worden.

#### Oorzaak van variatie

De oorzaak van de variatie in vorm en afmeting is vanuit verschillende invalshoeken te beschrijven (Rigters-Aris, 1986).

A De variatie in lichaamsafmeting op een bepaald moment binnen een bepaalde populatie.

B De variatie in lichaamsafmetingen tussen populaties in het algemeen.

Bij beide invalshoeken spelen genetische en omgevingsfactoren in constante wisselwerking hun eigen rol (Lewontin, 1985). Volgens Howells (1960) gelden voor punt B vier factoren:

- genetische drift (verschuiving in de verhouding van de frequenties van kenmerken; dit kan positief of negatief zijn voor een kenmerk);
- natuurlijke selectie (een gunstig kenmerk wordt bevoordeeld);
- mutaties (een plotselinge wijziging in het genetisch materiaal);
- inteelt.

Volgens Constandse-Westermann (1986) is adaptatie aan een bepaalde situatie de oorzaak. Zij onderscheidt vier soorten adaptaties die ten dele analoog geformuleerd zijn aan die van Howell:

- individueel op korte termijn (1) of lange termijn (2) waarbij de erfelijke eigenschappen niet veranderen;
- genetische adaptatie (3) van een populatie in de natuurlijke selectie over verscheidene generaties, mutaties, random genetic drift, etc.;
- culturele adaptatie (4) door middel van kleding, verwarming, voedsel etc. eveneens zonder erfelijke implicaties.

(2) En (3) zorgen volgens haar vooral voor de bestaande variabiliteit tussen populaties. (4) Is de belangrijkste factor voor de lengte- en gewicht-verschillen tussen populaties. De lichaamslengte van de man van 20 jaar is in Nederland immers toegenomen van gemiddeld 165 cm in 1865 tot 183 cm in 1992. Maar de gedachte, dat kleine mensen, die door armoede ondervoed zijn en daardoor een kleinere lichaamslengte hebben, 'beter aangepast' (4) zouden zijn dan minder ondervoede dorpsgenoten, is niet correct.

Bij het populatiegenetische mechanisme achter de erfelijke oorzaak dient gedacht te worden aan het evenwicht tussen mutatie en selectie.

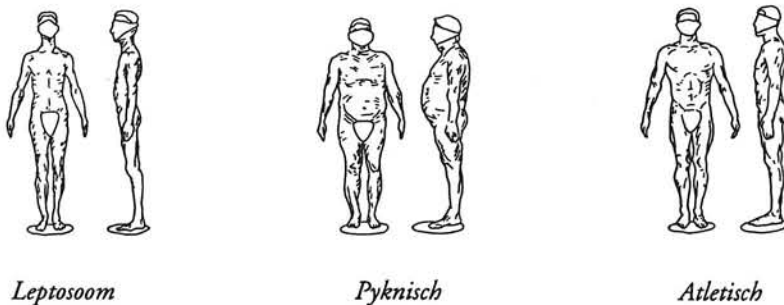
Mutaties spelen op zich niet zo'n grote rol, omdat de frequentie van voorkomen 1: 100.000 tot 1: 1.000.000 is. Het is juist de geslachtelijke voortplanting die ervoor zorgt dat de genetische mutaties leiden tot nieuwe genetische combinaties (Lewontin, 1985).

## 2.5 Samenhang met lichaamsbouw

### 2.5.1 Inleiding

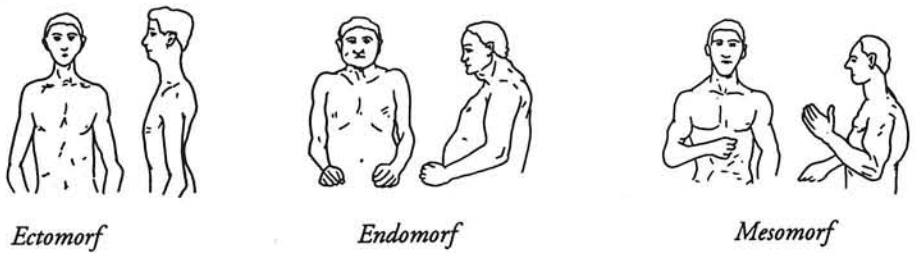
Naast leeftijd (zie 2.2), geslacht (zie 2.3) en etniciteit (zie 2.4) speelt de lichaamsbouw als aanduiding van de totale lichaamsvorm een essentiële rol als vierde factor in de beschrijving van de variatie van vorm en afmeting van het menselijk lichaam. Voor het ontwerpen is de lichaamsbouw relevant, omdat deze een sterke relatie heeft met de menselijke bezigheden. Hierop wordt ingegaan in deze paragraaf en in 2.5.2.

Twee auteurs, Sheldon en Kretschmer, hebben in de jaren tussen 1930 en 1960 de basis voor de systematische beschrijving van de lichaamsbouw ofwel somatotypologie uitgebreid onderzocht en er nieuwe theorieën over gepubliceerd. Deze basis was in het verleden gelegd door Hippocrates, Griekse bouwheren zoals Vitruvius en later door Albrecht Dürer en Leonardo Da Vinci. Lamberts (1969) vermeldt het bestaan van wel 60 verschillende typologieën. Kretschmer (1940) onderscheidde in Duitsland drie polaire typen van lichaamsbouw: 'leptosoom', 'pyknisch' en 'atletisch' (Figuur 2.16).



Figuur 2.16: Somatotypen van Kretschmer.

Sheldon et al. (1954) beschrijven deze drie typen echter als uitersten van een continue verdeling. Hij noemt ze: 'ectomorf', 'endomorf' en 'mesomorf' (Figuur 2.17), analoog aan de benaming van de embryonale kiembladen. Zie Paragraaf 2.2.3 op bladzijde 29.



*Figuur 2.17: Somatotypen van Sheldon.*

Een korte beschrijving van de drie typen leidt tot:

- leptosoom of ectomorf: platte, lange borstkas; relatief breed bekken; weinig vet; lange, dunne extremiteiten;
- Pyknisch of endomorf: korte, diepe, gewelfde borstkas, veel vetweefsel; ronde vormen; relatief, korte extremiteiten;
- Atletisch of mesomorf: brede, sterke schouders; trapeziumvormige romp met relatief smal bekken; krachtig, soepel spierweefsel; stevige extremiteiten; grote handen en voeten.

Kretschmer baseert zijn theorie op een onderzoek bij slechts 400 mannelijke en vrouwelijke psychiatrische patiënten. Sheldon beschrijft in zijn Atlas of Men 1175 gestandaardiseerde foto's van een random steekproef uit 46.000 mannelijke proefpersonen van 18 tot en met 65 jaar uit de USA.

Het somatotype volgens Kretschmer en Sheldon zou betrekking hebben op datgene wat in een mens niet of bijna niet verandert: het grondpatroon van een individu. Terwijl het fenotype gelijk is aan de waarneembare verschijning van het lichaam op een bepaald moment, waardoor predictie betrekkelijk is, zou het somatotype gelijk zijn aan de genetische determinant van de lichaamsbouw, het 'morfogeenotype' volgens Verdonck (1972). Ouderen blijken echter meestal endomorfer gezien hun hogere Quetelet-index en volgens De Wijn (in Haak et al., 1968) verandert het somatotype tijdens de adolescentie vaak aanzienlijk. Het is moeilijk vol te houden dat de somatotypering onveranderd blijft. Daarentegen ziet men sterke individuele veranderingen van de proporties tijdens de groei en tevens de kans op een positieve of negatieve seculaire groeiverschuiving van de lengte-gewicht relatie (Van Wieringen, 1972).

De continue verdeling van Sheldon is meer overeenkomstig de variabiliteit van het menselijk lichaam. Deze variabiliteit is immers continu ten aanzien van veel lichaamseigenschappen, zoals afmetingen en krachten. De door Sheldon gekozen

componenten endomorfie, mesomorfie en ectomorfie zijn alle drie min of meer onafhankelijk van de lichaamsgrootte.

De mate, waarin elk van de componenten bij een individu aanwezig is, wordt door Sheldon subjectief via somatoscopie (dit is bekijken van foto van een lichaam op een gestandaardiseerde wijze) in een cijfer uitgedrukt op een zeven-punts schaal (Figuur 2.18).

Het somatotype volgens Sheldon wordt uitgedrukt door drie cijfers, bijvoorbeeld 632, waarbij cijfers de mate van endomorfie, mesomorfie en ectomorfie op de genoemde zevenpunts schaal aangeven. Het somatotype 722 is dan in belangrijke mate endomorf. (Figuur 2.18).

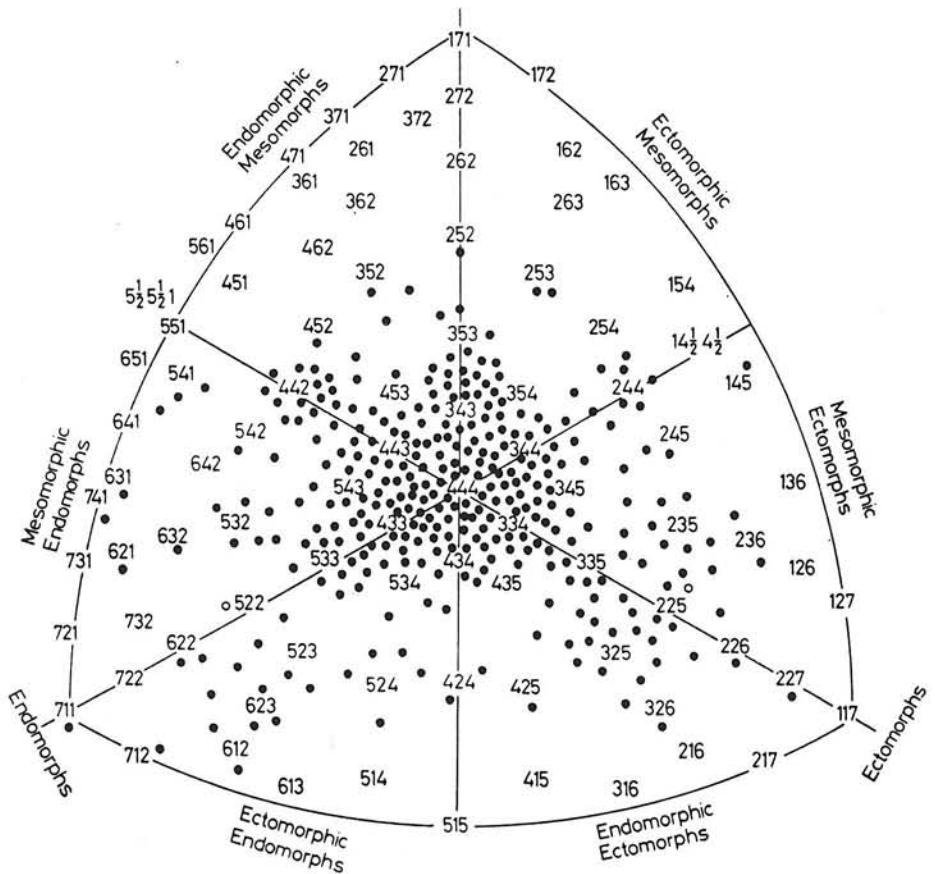
Het feit dat deze classificatie een subjectieve beoordeling is, is een veel genoemd bezwaar. Later is getracht dit op te heffen door meer te kwantificeren o.a. door Heath and Carter (1969).

Behalve door Verdonck (1972) wordt ook door Lamberts (1969) een overzicht gegeven van de kritiek op Sheldon's somatotypologie. Algemeen wordt door de 'tegenstanders' het objectiveren bepleit door factoranalyse van de (somatometrische) meetgegevens, waardoor de subjectieve beoordeling weggelaten kan worden. Hoewel ook daarmee weer problemen ontstaan:

- Lamberts vindt dat het praktisch geen zin meer heeft om Sheldon's methode op andere wijze te valideren en te modificeren, omdat deze achterhaald is (door de stand van de wetenschap wellicht?).
- Tanner et al. (1964) vindt dat de factoranalytische classificatie methode de somatoscopische methode wel kan completeren, maar ook hij houdt twijfel ten aanzien van de biologische interpreteerbaarheid.

Enkele specifieke problemen met Sheldon's typologie:

- 1 Hoewel Sheldon's methode subjectief is (het toekennen van cijferwaardering aan een foto), blijkt dat ze in 85-90% van de gevallen tot op een half punt reproduceerbaar is, zowel intra-waarnemer als inter-waarnemer (Tanner, 1968). Hierbij dient men echter wel te bedenken dat de waarnemersparen volgens Tanner, geen 'tegenstanders' van Sheldon's theorie vormen.
- 2 Een tweede probleem is de onderlinge afhankelijkheid van de componenten. Een hoge score op de ene component gaat gepaard met een lage score op de beide andere; daarom zijn het type 777 of III onmogelijk. Hierdoor werden de theoretische hoeveelheid van  $7 \times 7 \times 7 = 343$  somatotypen beperkt tot 88 verschillende typen. Later werden, bij een poging tot objectivering van de somatotypen door gebruik te maken van de Trunk-index (= verhouding van de oppervlakten van het borst- en buiksegment), van de lichaamslengte en de Ponderal-index ( $L^3/G$ ), er weer 267 somatotypen vastgesteld (Verdonck, 1972).



Figuur 2.18: Verdeling van somatotypen bij 7-10-jarige Nederlandse meisjes (Petersen, 1959, 1967) ( $n = 331$ ).

Damon (1977, blz. 206) is evenals Verdonck positief over Sheldon's werk: *'Sheldon's somatotype system, despite many unanswered questions concerning the stability of somatotype with age and under varying conditions of nutrition, and biological interpretation of components, has provided a useful description of physique'*.

Samenvattend blijkt uit de literatuur dat enerzijds de theorie van Sheldon wel bruikbaar is, in de zin van biologisch interpreteerbaar, doch er blijft anderzijds het probleem van de afhankelijke factoren die moeilijk wetenschappelijk te verdedigen zijn.

Worden deze somatotypen wiskundig antropometrisch geobjectiveerd met factoranalyse en dergelijke, dan blijft het de vraag of de morfologische interpreteerbaarheid inzichtelijk blijft. Het blijft een moeilijke opgave om de verscheidenheid van vormen aan een lichaam gecompriemd tot een woord of drie cijfers adequaat weer te geven. Zeker als blijkt dat 90% rondom het midden ligt (Figuur 2.18) en dus eigenlijk moeilijk onder de typologie is te brengen.

Voor produktontwerpers en produktbeoordelaars zouden die drie cijfers echter een praktisch bruikbaar gegeven kunnen zijn. Hiermee kunnen grote variaties in lichaamskenmerken hanteerbaar gemaakt worden met als doel, om voor functies zoals

bedienen, tillen, beschermen, bewerken, ondersteunen en verblijven (zie kubus-model Hoofdstuk 1) gegevens of richtlijnen te kunnen produceren. In vergelijking met solid-modelling bij Computer Aided Design (CAD) zou de ontwerper hier enkele eenvoudige uiteenliggende lichaamsvormen als uitgangspunt kunnen worden aangeboden (In de computerprogramma's, zoals ANYBODY, CADPEOPLE en MANNEQUIN (Paragraaf 3.2.4) is deze faciliteit mogelijk). Dit betekent dat bijvoorbeeld een standaard dikke, dunne, grote of kleine persoon, met overigens redelijke proporties, in het computerprogramma aanwezig is. Analoog neemt men eenvoudige geometrische figuren, zoals vierkant, driehoek, cirkel en kegel als uitgangspunt bij het creëren van nieuwe vormen in CAD. Hiervan maakt men vervolgens omwentelingslichamen door deze op Booleaanse wijze te bewerken (voornamelijk optellen en aftrekken bij delen van de genoemde vormen) en creëert zo geheel nieuwe drie-dimensionale vormen (Van Wijk, 1986).

De argumenten waarom de somatotypologie van Sheldon e.a. door de huidige psychologische discipline wordt bestreden (vooral betreffende de hypothetische relatie tussen lichaamsbouw en gedrag) zijn voor ontwerpers waarschijnlijk niet van belang; de beschrijving van de lichaamsbouw is dit echter wel.

Dat er een relatie is tussen lichaamsbouw op volwassen leeftijd en de embryologische ontwikkeling, is in Paragraaf 2.2.3 en 2.2.4 aangetoond in het bijzonder met behulp van de IUD-indices van Hediger (1985) maar ook via Tanner (1978) en Brandt (1984).

De relatie tussen 'nature' (genetisch) en 'nurture' (omgeving, (op) voeding, sport, werk) is voor het industrieel ontwerpen alleen maar van belang, als daar de spreiding in lichamelijke kenmerken beter door beschreven of voorspeld zou kunnen worden. Het verband tussen 'nature' en 'nurture' is vaak bediscussieerd: verkrijgt men lichamelijke vorm en afmeting via genetisch vastgelegde codes of komen deze toch via voeding en leefwijze tot stand. Lewontin (1985) stelt terecht dat een mens continu in ontwikkeling is als gevolg van een combinatie van beide factoren. De invloed van elk van beide factoren afzonderlijk is moeilijk vast te stellen. Wel kan men formuleren dat er een genetisch maximale lengte is en een met het leven verenigbare (genetische) minimale lengte. Tussen beide extreme waarden in hebben voeding en omgevingsfactoren veel invloed op de vorm en afmeting van de mens. Deze discussie lijkt meer interessant te zijn voor biologen, antropologen, sportleraren of voedingsleerdeskundigen dan voor ontwerpers.

## 2.5.2 Lichaamsbouw en menselijke activiteit

In deze paragraaf komt die relatie aan bod, die voor de ontwerper interessant lijkt: de relatie met menselijke activiteiten, zoals sport en beroep. Soms kan men aan de lichaamsbouw van een persoon zijn beroep of sport herkennen. Is dit een eenduidig verband, zou men zich kunnen afvragen.

Het is bekend uit de biomechanica, dat botten, spieren en vet qua vorm en afmeting door belasting in ieder geval tijdelijk te beïnvloeden zijn. Het is echter minder bekend of een bepaalde lichaamsbouw het gevolg is van intensieve training of beoefening van

een beroep, dan wel dat men met een bepaalde lichaamsbouw eerder een bepaalde tak van sport of een bepaald beroep kiest. Van bovengenoemde verbanden tussen lichaamsbouw (fenotypisch en of genotypisch) en activiteit zijn in de literatuur enkele onderzoeken te vinden.

Lewin et al. (1969) vonden duidelijke verschillen in de afmetingen van het gezicht bij drie steekproeven van vrouwen uit:

- a de totale bevolking van de stad Göteborg;
- b een fabriek;
- c een groep verpleegkunde-studenten.

Van Wieringen (1972 blz. 152) constateert: *'Vanaf 12,5 jaar zijn jongens en meisjes uit hogere beroepsgroepen lichter dan sexegenoten met gelijke lengte uit middelbare beroepsgroepen'*. Althans dit blijkt uit de gemiddelden en de percentielwaarden, maar de overlapping is aanzienlijk.

Onderzoek naar somatotype (in de zin van Sheldon's typologie) en beroep is voor zover bekend niet uitgevoerd.

Het verband tussen lichaamsvorm en afmeting en beroep leidt verder in de literatuur nergens tot concrete ontwerprichtlijnen per beroepsgroep of per clusters van beroepsgroepen. Wel kan men constateren dat in verscheidene beroepen een antropometrisch geselecteerd publiek voorkomt: politieagent, balletdanser, piloot, soldaat (Tabel 2.9). Voor postbodes bleken geen antropometrische criteria te zijn. De motivatie voor deze selectie is meestal praktisch van aard, zoals de in voorraad zijnde uitrusting of de functie beter te kunnen uitoefenen. Ook kan men constateren dat samenhang met bepaalde beroepsgroepen via de SES-factoren verloopt (SES = Sociaal Economische Status).

Ook door het ontwerp van sommige producten worden gebruikers geselecteerd naar hun afmetingen: cockpit, auto, treincabine etc. Dit verband tussen beroep en afmeting van het menselijk lichaam betekent dat een produktontwerper of beoordelaar voor het ontwerpen voor deze beroepen beter geen algemene populatie gegevens kan gebruiken, maar bij voorkeur beroepsspecifieke data (met een kleinere spreiding door een voorselectie) in zijn ontwerp toepast. Als voorbeeld kan hierbij gedacht worden aan treinmachinisten die geworven worden met o.a. als criterium een lichaamslengte van 168-188 cm (voorbeeld). Stel dat de lichaamslengte van een machinist verder overeenkomt met de proportionele verdeling volgens de DINED-tabel (Molenbroek en Dirken, 1986). De ingekorte normale verdeling dient dan in rekening gebracht te worden. Dan blijkt dat 168 cm overeenkomt met de 4de percentiel lichaamslengte en 188 cm met P92 volgens DINED. Een bepaalde percentielwaarde in de machinistenpopulatie  $P_x$  (ned) is dan gelijk aan:

$$P\{100 * (x-4) / (92-4)\} \text{ (machinist).}$$

Dit wil zeggen dat:

$$P_{10} \text{ (ned)} = P\{100 * (10-4) / (92-4)\} = P_7 \text{ (machinist) en}$$



$$P90 (\text{ned}) = P\{100 * (90-4) / (92-4)\} = P98 (\text{machinist})$$

Dit betekent voor het ontwerpen dat de oorspronkelijke 80% van de DINED-populatie is vergroot door de voorselectie tot 91% van de machinisten-populatie.

beroepsgroep	keuringseisen
politie	mannen > 170 cm (deze eis blijft) vrouwen > 160 cm (deze eis verviel per 1-8-87 o.a. om allochtonen meer kans te geven) bron: Politie Voorlichting Delft (1987)
ballet	Leden van een groep zoveel mogelijk gelijke lengte. In duet vrouwen kleiner of gelijk aan mannen en alleen in slapsticks vrouwen groter dan mannen. In het Lido te Parijs zijn bij wijze van uitzondering vrouwen groter of gelijk aan 170 cm. Uitgedraaid kunnen zijn in de heupen heeft prioriteit. bron: Sylvia Gentil, lerares ballet Den Haag, 1987
postbodes	geen aparte criteria voor afmetingen bron: bedrijfsarts PTT Den Haag, 1987
piloten F16	164 ≤ lengte ≤ 193 cm kruin-zitvlakhoogte ≤ 98 cm dijbeenlengte ≤ 66 cm (grotere dijbeenlengte zou risico's geven voor de knieschijven bij gebruik van de schietstoel) bron: IZF/TNO (1988)
piloten Bolkow 105C helicopter	163 ≤ lengte ≤ 193 cm kruin-zitvlakhoogte ≤ 102 cm dijbeenlengte ≤ 67 cm bron: IZF/TNO (1988)
dienstplichtigen	160 ≤ lengte ≤ 199 cm bron: IZF/TNO (1988)

Tabel 2.9: Antropometrische keuringseisen van enkele beroepsgroepen.

Ten aanzien van sportactiviteiten zijn enige onderzoeken bekend die specifiek de relatie sport-somatotype tot doel hadden.

Tanner et al. (1964) bewees dat topprestaties in verscheidene sporten slechts voor een beperkt aantal somatotypen gereserveerd waren. Aangegeven in Sheldon's typologie betekende dit dat bij alle deelnemers de mesomorfe component de overhand had, hetgeen niet zo verwonderlijk is.

Maas (1974) vond eveneens een beperkt aantal somatotypen na een discriminantanalyse en clustering van 14 sporten. Deze clusters waren mannelijke beoefenaars van de volgende 4 groepen:

- 1 schaatsen, wielrennen;
- 2 zwemmen en waterpolo;
- 3 volleybal, basketbal en roeien;
- 4 gymnastiek, skiën, kanoën, lichtgewicht judo en 100 m hardlopen.

Een gewicht-lengte analyse laat ongeveer hetzelfde beeld zien.

Alle vier te onderscheiden groepen zijn zwaarder dan gemiddeld, maar minder dan P90 van gewicht naar lengte volgens de data van Roede en Van Wieringen (1985). Alleen judoka's zijn zwaarder dan P90.

Bij 305 studenten, die niet eerder serieus getraind hadden, heeft Maas onderzocht wat het effect van zware training is op de lichaamsbouw. 20 Studenten hiervan ondergingen 4 jaar achtereen de training. Enig effect van de training bleek nauwelijks aantoonbaar te zijn behalve bij enkele breedte- en omtreksmaten. Zijn conclusie is dat deze proefpersonen reeds, als een geselecteerde groep, een volledig ontwikkeld lichaam hadden, toen zij meededen met het eerste onderzoek. Ze waren immers langer en zwaarder en hadden een grotere omvang dan de 305 die bij de aanvang van het project meededen. Enkele meetresultaten uit zijn onderzoek staan in Tabel 2.10. In kolom A staan ter vergelijking Delftse studenten Industrieel Ontwerpen (IO), gemeten in 1985. In de studie van Maas is de leeftijd van de proefpersonen niet vermeld als één van de variabelen. Daarom kan op basis van Tabel 2.10 alleen een schatting worden gemaakt van het effect van training.

	studenten		studenten		onderzoek 1		onderzoek 2		verschil		toproeiërs	
	Delft IO		Leiden		Leiden		Leiden		Leiden		Nederland	
	A		B		C		D		D-C		E	
	n = 265		n = 305		n = 20		n = 20		n = 20		n = 30	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
lichaamsgewicht (kg)	71,9	8,1	73,7	7,2	76,8	6,1	80,1	6,5	3,2	2,3	84,8	5,3
lichaamslengte (cm)	181,9	6,6	181,7	6,4	184,8	5,6	185,4	5,5	0,6	1,0	188,0	5,2
kruin-zitvlakhoogte (cm)	94,6	3,3	94,2	3,1	96,0	2,5	97,0	2,8	1,0	1,5	96,7	3,4
schouderbreedte (cm)	39,5	2,2	40,0	1,7	40,7	1,5	41,3	1,6	0,6	0,7	41,2	1,6
borstomvang (cm)	-	-	95,4	4,5	96,7	4,8	100,3	5,1	3,7	2,2	100,9	2,4

Tabel 2.10: Effect van training bij roeien volgens Maas (1974).

A= groep 3de jaars studenten uit Delft

B= groep ongetrainde 1ste jaars studenten uit Leiden

C= groep ongetrainde 1ste jaars studenten uit Leiden die 4 jaar gingen trainen

D= groep getrainde 4de jaars studenten uit Leiden

E= groep Nederlandse toproeiërs

De 305 studenten in kolom B zijn eerstejaars studenten die zich voor de roeisport hadden aangemeld. De 20 studenten (roeiers) in de derde en vierde en vijfde kolom hebben zich voor het vierde jaar voor het roeien aangemeld na een driejarige periode van zware training. De laatste kolom geeft ter vergelijking dezelfde gegevens van 30 toproeiërs in die tijd in Nederland. De 20 studenten zijn gemiddeld langer en zwaarder dan hun leeftijdsgenoten in Nederland volgens de Nederlandse Groeitabellen, die in

1965 gemiddeld 178 cm en 69,2 kg waren en in 1980 182 cm en 70,8 kg; ook zijn ze langer en zwaarder dan 454 leeftijdsgenoten in 1965 uit Leiden (Van Wieringen, 1972), van wie lengte en gewicht respectievelijk 181,9 en 69,7 kg waren.

Het zou beter zijn geweest als Maas parallel aan de 20 trainende studenten 20 ongetrainde studenten had gevolgd in hun verandering van afmeting. Vandaar dat in de eerste kolom ter vergelijking dezelfde gegevens van studenten Industrieel Ontwerpen (waarvan aangenomen wordt dat ze niet speciaal getraind zijn) in 1985 staan vermeld. Deze gegevens komen uit eigen onderzoek dat in Hoofdstuk 4 uitgebreid wordt besproken.

In het MOGAP-project (MOGAP = Montreal Olympic Games Project) (Carter, 1982) wordt eveneens uitgebreid ingegaan op de relaties tussen antropometrie en sport. Hieruit blijkt eveneens dat studenten uit de controle groep kleiner zijn dan de atleten voor bijna alle gemeten variabelen; dat mannelijke atleten ouder zijn, smallere heupen hebben en dunnere huidplooiën, en dat vrouwelijke atleten lichter zijn en ook dunnere huidplooiën hebben. Uit de somatotype-analyse blijkt dat atleten van beide sexen minder endomorf en meer mesomorf zijn dan de studenten. Ten aanzien van de proporties geldt dat de atleten langere ledematen hebben bij overeenkomstige lichaamsmassa's, bredere botten (maar smallere heupen), een grotere romp omvang en een grotere bot-, spier-, en overige-massa hebben.

### 2.5.3 Het kwantificeren van de lichaamsbouw (proportionaliteit)

Er zijn in de literatuur talrijke methoden te vinden om de lichaamsbouw van de mens te kwantificeren. Enkele daarvan zullen in deze paragraaf besproken worden, omdat de ontwerper en de produktbeoordelaar deze typering zouden kunnen gebruiken en een kritische beschouwing hiervan op zijn plaats is. Enkele van deze methoden zijn uitvoeriger beschreven in Lamberts (1969):

#### 2.5.3.1. Indices

Het gebruiken van een index (verhoudingsgetal tussen twee of meer dimensies) is een tijd in de mode geweest onder fysisch antropologen. Sommige indices, zoals één van de Quetelet-indices  $G/L^2$ , worden nog steeds gebruikt. Martin (1925) en Martin en Saller (1957) beschrijven meer dan 130 indices met hun referentiewaarden. Deze referentiewaarden blijken nogal tijdsafhankelijk te zijn en kunnen dus niet zomaar 50 jaar later gebruikt worden (zie onder Broca-index). Extreme waarden van indices werden disproporties genoemd en verbanden werden gezocht met psycho-sociale activiteiten. In Damon (1977, blz. 205) staat als typerende beschouwing over die periode: *'Superior performers within an occupation had fewer disproportions than average performers'*.

Tanner et al. (1964) voert als bezwaar aan tegen deze indices dat ze zowel niet zo simpel zijn als wel niet zo informatief zijn als ze lijken. Dit blijkt inderdaad een goede karakterisering te zijn van de indices, zoals in dit hoofdstuk en Hoofdstuk 5 van deze studie zal blijken.

Statistisch geven indices interpretatieproblemen, omdat de variantie van een index een onontbindbare combinatie is van die van de afzonderlijke variabelen van de index en die bovendien veelal niet-Gaussisch verdeeld zijn. In Hoofdstuk 5 wordt hierop nader ingegaan. Volgens Lamberts (1969) is het gebruik van indices verminderd, doordat men steeds meer de lichaamssamenstelling (hoeveelheid bot, vet en spiermassa) als factor zag voor een interpreteerbare relatie tussen vorm en functie van het menselijk lichaam.

Het gebruik van indices voor ontwerpers etc. zou daarom hoogstens het voordeel kunnen hebben dat classificatie van de antropometrische data sneller tot inzicht leidt over de mogelijke bruikbaarheid van een ontwerp voor een bepaalde doelgroep.

In het verleden zijn diverse pogingen gedaan om met 'lichaamslengte' en 'lichaamsgewicht' een bruikbare index te creëren, die een goede indruk gaf van de globale vorm van een menselijk lichaam. Vooral om het juiste gewicht bij een bepaalde lengte te kunnen bepalen, werden referentie-waarden vastgesteld (Muller, 1980).

Enkele indices, die veelvuldig in de literatuur genoemd werden, zijn:

1. Q.I. = Quetelet-index =  $G/L^2$ ; ook wel BMI = Body Mass Index genoemd (zie Paragraaf 2.5.3.7, voor verdere behandeling van de Q.I.). Huidige normaal waarden 20-25 kg/m<sup>2</sup> (normaal gewicht), of  $\leq 18$  (matig onder gewicht) en  $\geq 27$  kg/m<sup>2</sup> (matig overgewicht) voor volwassenen < 65 jaar. Voor ouderen  $\geq 65$  jaar zal een andere norm gelden (Chumlea, et al., 1986). Ideaal gezien zou de Quetelet-index, waaraan men de kwalificatie 'gezond gewicht' ontleent, moeten voldoen aan de volgende eisen: onafhankelijk van lengte en leeftijd, gemakkelijk te meten en uit te rekenen.  $G/L^2$  blijkt de minst slechtste van een reeks (De Wijn, 1955) en wordt ook het meest gebruikt, bijvoorbeeld in de CBS-gezondheidsstatistieken en in de nomogrammen van de Nederlandse Hartstichting. Ergonomisch gezien is de aflezing uit nomogrammen niet eenvoudig en is die beter te vervangen door een tabel, waarin per regel voor elke lichaamslengte de bijbehorende grenzen van het 'gezonde gewicht' staan in twee of meer kleurcodes. Zo'n tabel zou dan zo weinig mogelijk lengten, gewichten en leeftijden dienen uit te sluiten.
2. Ponderal-index =  $(L / \sqrt[3]{G})$ .
3. Broca-index: de referentiewaarde voor het gewicht (G) is gelijk aan lichaamslengte (L) in cm - 100 kg. Het bereik van deze waarde is volgens Martin (1925) slechts geldig voor  $L=155-165$  cm. Steeksproefsgewijs bleek dat deze formule 'L-100' moest worden herzien rond 1925. Voor  $166 < L < 175$  moest gelden 'L-105' en voor  $176 < L < 185$  moest gelden 'L-110'. Deze correcties waren noodzakelijk volgens Martin (1925) om te voorkomen dat er te weinig mensen waren met dat gewicht. De meesten hadden toen blijkbaar een lager lichaamsgewicht dan volgens deze Broca-index!

De referentiewaarden worden ook wel met 'juist' of 'normaal' (Muller, 1980) aangeduid. 'Normaal' betekent dan: veel voorkomend, met implicaties: wenselijk en gezond. Deze conclusie is te generaliseren voor alle 'normaal waarden' van indices: de normaal waarden zijn gebonden aan tijd (kans op seculaire groeiverschuiving), aan cultuur, aan etniciteit en aan somatotype. Beter is het daarom te spreken van 'referentiewaarden'

(Van Wieringen, 1989), bij voorkeur onder opgave van het jaar waarin ze zijn vastgesteld.

### 2.5.3.2 Somatotypologie volgens Sheldon (zie ook Paragraaf 2.5.1)

*De methode van Parnel (Lamberts, 1969)*. Endomorfie wordt door drie huidplooidikten geschat (opgemerkt moet worden dat de betrouwbaarheid van huidplooidiktemetingen te wensen over laat; zie blz. 78). Ectomorfie wordt met de Ponderal-index ( $L^3/\sqrt{G}$ ) geschat.

Mesomorfie wordt geschat met de lichaamslengte  $L$ , twee skeletbreedten en twee omtrekken. Totaal meet Parnel 9 lichaamsmaten. Later wijzigde Parnel zijn methode door slechts twee componenten te gebruiken: een vet component en een vet-vrije component met een onderling lage correlatie van  $r = -0,207$ . Voor de ontwerper zou dit alleen van belang zijn, als de somatotypologie van Sheldon bruikbaar blijkt.

*Regressievergelijkingen van Damon*. Damon et al. (1962) produceerden een serie regressievergelijkingen, om de primaire componenten volgens Sheldon te kunnen schatten aan de hand van antropometrische metingen aan (blanke) soldaten. Alle maten zijn in mm, gewicht in hectogrammen.

De eerste component van Sheldon:

$$\begin{aligned} \text{ectomorfie (R = 0,90)} = & + 0,01372 \text{ (lengte)} - 0,01 \text{ (gewicht)} \\ & + 0,02435 \text{ (huidplooidikte subscapulaire)} \\ & - 14,2077 \end{aligned}$$

De tweede component van Sheldon:

$$\begin{aligned} \text{endomorfie (R = 0,78)} = & + 0,1822 \text{ (voorspelde ectomorfie)} \\ & + 0,04798 \text{ (huidplooidikte triceps)} \\ & + 0,01747 \text{ (huidplooidikte subscapulaire)} \\ & + 3,070 \cdot 10^{-4} \text{ (lengte)} \\ & + 0,0112 \text{ (gewicht)} \\ & + 0,00196 \text{ (buikomtrek)} \\ & + 0,00178 \text{ (borstdiepte)} \\ & + 0,00324 \text{ (kuitomtrek rechts)} \\ & + 0,00129 \text{ (buikdiepte)} \\ & - 0,004548 \text{ (breedte humerus)} \\ & + 1,9578 \end{aligned}$$

De derde component van Sheldon:

$$\begin{aligned} \text{mesomorfie (R = 0,66)} = & + 0,7009 \text{ (voorspelde ectomorfie)} \\ & - 1,2162 \text{ (voorspelde endomorfie)} \\ & - 0,00036 \text{ (huidplooidikte biceps)} \\ & + 0,00908 \text{ (schouderbreedte bideltoidius)} \\ & + 0,01017 \text{ (polsomtrek)} \\ & + 0,00034 \text{ (borstomvang bij expiratie)} \\ & - 0,00793 \text{ (breedte humerus)} \\ & + 0,00484 \text{ (breedte over de ellebogen)} \end{aligned}$$

- + 0,00284 (kuitomtrek, rechts)
- + 0,00820 (dijbeendikte)
- + 0,8133

Somatotypering was op deze wijze voorspeld door de antropometrische metingen aan 369 blanke en 81 zwarte soldaten. Het bepalen van de somatotypen door middel van antropometrische metingen en de genoemde regressie-vergelijkingen leidden tot een redelijke overeenkomst met de gebruikelijke subjectieve foto-beoordeling. De nauwkeurigheid bleef voor 80% binnen een fout van een ½ punt op de reeds genoemde 7-punts schaal en de standaard foto-beoordeling van Sheldon. Volgens Damon et al. heeft die foto-beoordeling trouwens een hogere betrouwbaarheid dan veel medische observaties (Damon et al., 1962). Damon et al. vroegen zich af of deze vergelijkingen ook golden voor zwarte soldaten en voor oudere mannen. Voor zwarte soldaten bleken ze niet te kloppen en voor oudere mannen ontbraken voldoende data voor een controle. Over het gebruiksgemak kan men stellen dat regressievergelijkingen in principe te gebruiken zijn in een computer, waarin de onafhankelijke variabelen opgeslagen zijn in een gegevensbestand. Helaas moet opgemerkt worden dat er geen bestanden zijn aangetroffen in de literatuur, waarbij expliciet alle door Damon gebruikte variabelen gemeten zijn. Daardoor zijn zijn regressievergelijkingen moeilijk te gebruiken.

De ontwerprelevantie van de Sheldon typologie is twijfelachtig, doch een andere methode, om een totaalvorm van een lichaam of de vorm van een segment ervan ontwerprelevant te typeren, blijft wenselijk.

#### 2.5.3.3 Modificaties van Heath and Carter

Modificaties van Sheldon's typologie zijn door zijn medewerkers Heath en Carter gepubliceerd (Heath and Carter, 1969). Deze modificaties bestaan uit het valideren van Sheldon's theorie met enkele voorbeelden, o.a. obese vrouwen, en het creëren van een kwantificeerbare typologie. De eerste component van hun typologie heeft een correlatie van  $R = 0,95$  met de som van drie huidplooidikten (biceps, triceps en iliacaal) en wordt op basis van deze som dan ook geschat.

De tweede component kan volgens hun theorie het beste voorspeld worden door de diameters van de distale condylen van humerus en femur, omtrekken van de ontspannen bovenarm en kuit.

De derde component is volgens hen voorspelbaar via de regressievergelijking  $y = 2,42x - 26,56$ . Hierin is  $x$  gelijk aan de Ponderal-index (zie 2.5.3.1).

Helaas hebben Heath en Carter niet duidelijk gemaakt waarom deze gekozen lichaamsmaten de beste zijn voor het kunnen voorspellen van de lichaamsvorm en is bovendien hun validering niet een echte validatie, maar een overeenstemming tussen gebruikers van eenzelfde methode.

#### 2.5.3.4 MIRA-project (MIRA = Motor Industry Research Association) (Haslegrave 1979, 1980)

Het MIRA-project heeft voor de produktgroep Britse personenwagens geresulteerd in enkele drie-dimensionale 1:1 manikins (antropometrische modellen), waarbij de

belangrijkste vormen en afmetingen zijn vastgesteld na een analyse van metingen aan 2000 Britse autorijders. De onderzoekers gebruikten o.a. partiële correlaties voor hun analyses en kwamen zo in eerste instantie tot:

- een lengte-factor;
- een 'gewicht/lengte'-factor;
- een 'relatieve segmentlengte'-factor.

Daarna werden in tweede instantie dezelfde data gefactoranalyseerd met het doel om de principiële factoren te vinden die de lichaamsvorm samenvattend beschrijven. Hiermee moest een serie testdummies gemaakt worden, die noodzakelijk zouden zijn voor het cabine-ontwerpen. Deze dummies moesten qua vorm en afmeting het bereik overspannen van die dimensies, die van belang zijn bij comfort en veiligheid.

Om de invloed van lengte en gewicht te elimineren, heeft men de dataset genormaliseerd. Dit betekende dat alle verticale maten door de lengte werden gedeeld en alle horizontale maten door de gemiddelde lichaamsdiameter (GLD). De GLD is de diameter van een cilinder met dezelfde hoogte en massa als de proefpersoon en heeft een specifieke dichtheid van  $1 \text{ kg/liter} = 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$ . Dit wil zeggen (analoog aan Van Wieringen (1972)):

$$\text{GLD} = 2 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{\left(\frac{G}{\pi L}\right)}$$

L = lichaamslengte in cm

G = lichaamsgewicht in kg

Drie vorm-factoren resulteerden uit deze analyse:

- een thorax diepte index: (borstdiepte + buikdiepte)/GLD;
- een thorax breedte index: (schouderbreedte + borstbreedte + heupbreedte zittend)/GLD;
- een segmentlengte index: som van vier segmentlengten/L.

Hierbij zijn de vier segmentlengten: kniehoogte, bil-knie diepte, schouder-elleboog lengte en elleboog-vingertop lengte.

Tezamen met de lichaamslengte en de lichaamsmassa moeten deze vijf factoren de lichaamsvorm goed kunnen beschrijven, aldus Haslegrave (1979, 1980).

Het is geen toeval dat de drie gecreëerde factoren overeenkomen met de drie typen van Sheldon, met dien verstande dat ze nu gekwantificeerd zijn voor een bepaalde doelgroep. Daarom is het MIRA-onderzoek een belangrijke bijdrage aan het antropometrisch ergonomisch ontwerpen. De eerste dummy voor het MIRA-project is gebaseerd op de 5de percentiel lichaamslengte van Engelse vrouwen (= 153,7 cm. Dit is 7 mm kleiner dan de Nederlandse P5 volgens de DINED-tabel; dus wel acceptabel in Nederland) en voor de rest op de gemiddelde waarden van de vrouwen met een lichaamslengte van P10 of kleiner. Immers iemand, die op meer dan één lichaamsdeel eenzelfde percentielwaarde heeft, is zeldzaam (zie percentielprofiel in Hoofdstuk 5). De

tweede dummy van het MIRA-project is gebaseerd op de 95ste percentiel lichaamslengte van de mannen (= 185,1 cm. Deze is 49 mm kleiner dan volgens de DINED-tabel en daarmee niet bruikbaar voor Nederland zonder modificatie) en voor de rest op de gemiddelde waarden van de mannen met een lichaamslengte van P90 of groter. Bij beide dummies zijn de lengte en het gewicht overeenkomstig de P5, respectievelijk de P95 waarden. De overige maten komen overeen met de mediane waarden van de steekproef. In 1985 bood Haslegrave (Haslegrave, 1985) ontwerpers echter 3 modellen aan om de extreme vormen te karakteriseren:

- A op basis van lengte;
- B op basis van gewicht;
- C op basis van lengte en gewicht.

De overige maten zijn dan afkomstig van een selectie van haar steekproef, waarbij de lengte tussen bijvoorbeeld P92,5 en P97,5 lag. In dat geval voldeden er 83 van de 2000 mensen aan die voorwaarde. Aan de gecombineerde voorwaarden voldeden slechts 11 van de 2000 mensen in haar steekproef.

Het MIRA-onderzoek is een van de weinige onderzoeken die een bruikbaar model voor ontwerpers als doel hadden en daarin ook geslaagd zijn, zij het alleen voor de Britse populatie van autorijders.

### 2.5.3.5 Bepaling van vetvrije massa

De Vetvrije Massa (VVM) van het menselijk lichaam bestaat uit cel-weefsel en extracellulair weefsel, dat weer is samengesteld uit bloedplasma, lymfe, celvloeistof, mineralen en eiwitten.

De VVM bestaat uit ongeveer 72% water, 65 milli-equivalent kalium en heeft een dichtheid van 1100 kg/m<sup>3</sup>. Overgewicht (zonder te veel vet) kan bij (professionele) sporters bestaan uit zware botten en spieren. De Quetelet index differentieert hierin niet. In de literatuur wordt de formule van Von Döbeln meestal genoemd om de VVM te bepalen, hoewel de kritiek erop is dat er nog geen relatie is bewezen tussen de hoeveelheid bot- en spier- en vetmassa (bij Sheldon's mesomorfie wordt deze relatie wel aangenomen).

De formule van Von Döbeln (1968) luidt:

$$VVM = 15,1 * (L^2 * (KBR+KBL) * (PBR+PBL))^{0,712}$$

- met L = lichaamslengte in cm
- KBR = kniebreedte rechts in cm
- KBL = kniebreedte links in cm
- PBR = polsbreedte rechts in cm
- PBL = polsbreedte links in cm

Hierbij neemt Von Döbeln aan dat de skeletmassa een constant deel (20%) van de VVM is. Volgens Lamberts (1969) klopt dit percentage niet bij inhomogene populaties, maar hij past de formule wel toe wegens gebrek aan een betere bij zijn steekproef (n = 400 Nederlandse soldaten met een gemiddelde lengte L = 177,5 cm, s = 6,4 cm en met gemiddelde G = 70,0 kg, s = 7,5 kg). Uitgaande van een vetmassa VM van 15,3%,



$G = 10,7$  kg (geschat volgens Durnin en Ramahan) blijft er een vetvrije massa  
 $VVM = 84,7\%$   $G = 59,3$  kg. De skeletmassa volgens Von Döbeln is dan 20% VVM en  
gelijk aan 11,86 kg, ofwel 14%  $G$ .

Muller (1972) heeft een alternatieve formule voor de VVM ontwikkeld op basis van  
eigen data:

$$VVM \text{ in kg} = -42,3 + 0,388 * L + 0,654 * B$$

met  $L$  = lichaamslengte in cm;

$B$  = dijbeen omtrek in cm.

Toegepast op de data van de controle groep van Lamberts levert dit overeenkomstige  
resultaten als bij Lamberts' eigen methode:  $VVM = 60,6$  kg en  $VM = 9,4$  kg. Het  
lichaamsgewicht van 70 kg bestaat dan uit 10,5 kg vetmassa + 59,5 kg vetvrije massa  
inclusief 20% skeletgewicht.

Totaal gemiddeld: 15% vet + 14% bot + 60% spier + 11% rest volgens De Wijn (1968).

### 2.5.3.6 Bepaling van de vetmassa

De hoeveelheid vet in een menselijk lichaam kan vastgesteld worden op diverse wijzen:

#### *Huidploidikte meting*

Deze methode heeft beperkingen, maar is relatief eenvoudig uit te voeren. Lamberts  
(1969) somt onder meer de volgende kenmerken op:

- 1 Een mechanische huidploidikte meting meet twee keer de dikte van de huid (0,96 tot 3,40 mm) en twee keer de subcutane weefseldikte.
- 2 De correlatiecoëfficiënt tussen de huidploidikte en de dikte van de subcutane vetlaag bleek 0,84 te zijn bij postmortaal onderzoek.
- 3 Het vetgehalte en de samenstelling van het subcutane weefsel is inter- noch intra-individueel constant.
- 4 De vetverdeling over het subcutane en het overige vet hangt af van leeftijd, geslacht, relatieve vetmassa en plaats op het lichaam.
- 5 De intercorrelaties tussen de verschillende huidploidikten zijn niet hoog. Dit betekent dat een groot deel van de variantie van de ene niet door die van een der andere plooien verklaard kan worden. De reden is dat de verdeling van het subcutane vet ook niet gelijkmatig is. Dit doet extra twijfel rijzen aan de huidploidikte als voorspeller van geheel anderssoortige variabelen.
- 6 Sommige huidplooien zijn niet gemakkelijk van de onderlaag op te nemen.
- 7 De compressie (10N/cm<sup>2</sup>) van de huidplooï bij de Harpenden-huidploidiktemeter bedraagt 30-40% in vergelijking met de dikte op een röntgenfoto.
- 8 Om de scheve frequentieverdeling van de huidploidikte weer 'normaal' te maken, stellen Tanner et al. (1976) een logaritmische transformatie voor.

- 9 De reproduceerbaarheid van de huidplooidikte laat te wensen over. Een intra-waarnemer fout van 0,3-0,6 mm en een inter-waarnemer fout van 0,4-1,3 mm worden door Lamberts genoemd bij een huidplooidikte van 7 mm.
- 10 De correlatie tussen mechanische metingen en meting door röntgen is 0,88 en is 0,98 tussen de mechanische meting en de meting door ultrasoon geluid.

Uit eigen ervaring kan hier nog aan toegevoegd worden dat de tijdsduur van de meting, de dikte van de huidplooi en de moeilijkheid om de 'juiste' plek te vinden tevens een rol van betekenis spelen. Immers de indrukking van een huidplooi hangt mede af van de tijd gedurende welke de krachtsuitoefening erop door de huidplooidiktemeter plaatsvindt.

Ondanks deze beperkingen is de voorspelling van de relatieve vetmassa, gebaseerd op de som van de vier huidplooien (sub-scapulair, triceps, biceps en supra-cristaal), de meest aanvaardbare methode.

Durnin en Ramahan (1967) vonden een hoge correlatie ( $r = 0,8$ ) tussen de relatieve vetmassa en de vier bovengenoemde huidplooidikten. Op basis daarvan maakten zij een tabel, waarmee de som van vier huidplooien leidt tot een schatting van de relatieve vetmassa met een fout van ongeveer 4%.

In Hoofdstuk 5 zal deze tabel gebruikt worden bij verwerking van eigen metingen, omdat de hierna te noemen methoden complexer en duurder in uitvoering zijn.

#### *Quetelet-index (QI)*

Deze index blijkt volgens Garrow et al. (1986) een bruikbare relatie op te leveren met de hoeveelheid lichaamsvet. Hij kwam tot twee regressievergelijkingen:

$$VM = (0,713 * QI - 9,74) * L^2, \text{ kg vetmassa voor vrouwen en}$$

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

met  $QI = G/L^2$  en met G als lichaamsmassa in kg en L als lichaamslengte in m.

De correlatiecoëfficiënt tussen de schatting van VM en QI is 0,955.

Bij een onderzoek naar de ernst en omvang van obesitas in Nederland heeft Baecke (1982) voor de leeftijdsgroep van 19-31 jaar een representatieve steekproef onderzocht in Ede, bestaande uit 2092 vrouwen en 1765 mannen. De mediane waarden van de Quetelet index waren respectievelijk 21,8 bij vrouwen en 23,1  $\text{kg/m}^2$  bij mannen voor deze steekproef.

De huidige 'normwaarden' van de index (18-27  $\text{kg/m}^2$  (Sonsbeek, 1985)) zouden voor ouderen boven de 65 jaar wel eens anders kunnen liggen. Uit een longitudinaal onderzoek uit Baltimore (Costa, 1993) blijkt dat het ideale gewicht (ideaal op basis van onderzoek naar sterfte risico voor verzekeringsmaatschappijen) voor iemand met een lengte van 1,75 bij 25 jaar varieert van 55-73,5 (QI: 18-24). Voor iemand van 65 jaar kan dit gewicht bij dezelfde lengte variëren van 76-94 kg, ofwel een QI van 25-31  $\text{kg/m}^2$  (Riesenberg, 1986). Deze waarden komen ook overeen met die Chumlea et al. (1986) gevonden hebben; zij vonden een QI van 17-34 en met een daling over de gemiddelde waarden als functie van de leeftijd van 65 tot 90 jaar.

### *Plethysmograaf*

Gundlach (1985) van de LU Wageningen gebruikte een staande cilinder met 900 liter lucht, waarvan hij de druk nauwkeurig kon meten.

Hierin hoeven proefpersonen slechts enkele seconden te verblijven, om met behulp van de wet van Boyle ( $P \times V = \text{constant}$ ) vast te stellen wat het volume ( $V$ ) van hun lichaam is. Verder gebruikt hij de formule van Brozek: de relatieve vetmassa in % =  $495/D - 450$  met  $D = G/V$  als gemiddelde dichtheid in kg/liter van alle lichaamsweefsels en met de aanname dat vet een dichtheid heeft van 0,9 kg/liter en dat de vetvrije massa een dichtheid heeft van 1,1 kg/liter.

Internationaal wordt ook een gelijkvormige formule met andere coëfficiënten gebruikt (Parizkova, 1968): % vet =  $(4,201 / D - 3,813) \times 100$ . Het verschil tussen beide formules wordt geïllustreerd door een bepaalde  $D$  in beide in te vullen. De eerste formule levert bij een  $D = 1,05$  een vetpercentage van 21,4 en de tweede formule levert 18,8.

### *Computer Tomogram (CT-scan)*

Ashwell et al. (1985) onderzochten met behulp van een CT-scanner de relatieve vetmassa van een groep vrouwen. Zij definieerden twee indices: A en O.

A is de verhouding tussen de oppervlakte (men ziet immers een transversale doorsnede van het lichaam op een CT-scan) van het intra-abdominale vet en de oppervlakte van het subcutane vet op het niveau van de navel.

O is de verhouding tussen de taille omtrek en de heupomtrek. Zij vonden een significante ( $p < 0,001$ ) correlatie ( $r = 0,61$ ) tussen A en O.

De Quetelet-index correleerde hoog ( $r = 0,91$ ) en significant ( $p < 0,001$ ) met de totale hoeveelheid lichaamsvet en met de hoeveelheid subcutaan vet, maar niet met de index A.

Zij onderscheidden van daaruit 'appel'-vormige vrouwen met meer intra-abdominaal vet rond hun middel en 'peer'-vormige vrouwen met meer vet rond hun heupen.

Binnen deze leeftijdsgroep was de QI onafhankelijk van de lichaamslengte ( $r = -0,11$  voor vrouwen en  $r = -0,08$  voor mannen), maar de correlatie met de relatieve vetmassa was veel lager dan Garrow en Webster (1986) vonden:  $r = 0,79$  en  $r = 0,81$ .

Ernstige obesitas (gedefinieerd als  $QI > 30 \text{ kg/m}^2$ ) kwam slechts voor in 2% van de gevallen bij beide sexen.

In overeenstemming met de resultaten van Ashwell et al. (1985) beveelt Seidell (1985b) aan de taille/heup (T/H) index te gebruiken, naast de Quetelet index, om daarmee de plaats van het lichaamsvet te kunnen bepalen (Tabel 2.11).

De taille/heup index zou daarmee ook een additionele gezondheidsindicator kunnen zijn, want volgens Meyboom-de Jong (1986) correleert deze index bovendien in hoge mate met de mortaliteit en morbiditeit. Door Deurenberg en Seidell (1984) wordt dit verband in twijfel getrokken.

	taille/heup index
onderlichaam	< 0,75
normaal	0,75 - 0,85
bovenlichaam	> 0,85

Tabel 2.11: Plaats van het lichaamsvet wordt aangegeven naar de waarde van taille/heup index (Deurenberg en Seidell, 1984).

De Quetelet-index wordt vaker en op basis van meer onderzoek als voorspeller voor de levensverwachting gebruikt (Meyboom-de Jong, 1986; Vandenbroucke et al., 1982). Recentelijk gaat Costa (1993) hier uitvoerig op in vanuit een economisch-historisch perspectief; zij komt tot de conclusie dat een  $QI < 21$  of  $> 28$  met een hoger sterfte-risico gepaard gaan. Veranderingen in de Quetelet-index van 1900-1986 in de USA, zijn volgens haar verantwoordelijk voor de daling van 20% van het sterftecijfer. Haar data zijn afkomstig uit de archieven van de 'White Union Army veterans' en worden onder meer vergeleken met Noorse en Nederlandse data.

Voor de 800 militaire proefpersonen van Lamberts staan in dit verband van typering van totale lichaamsvorm, de resultaten over de taille- en de heupomvang in Tabel 2.12. Zijn steekproef bestond uit 400 Nederlanders, die op geestelijke instabiliteit waren afgekeurd voor de militaire dienst (de S5-groep) en 400 goedgekeurde militairen (de controlegroep).

Hieruit blijkt dat bij hen het lichaamsvet vooral op het bovenlichaam zit.

	controlegroep		S5 groep	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
T	70,4	4,7	68,6	5,2
H	79,8	4,7	78,3	4,9
T/H	0,882		0,876	
H-T	9,4	3,1	9,7	3,1

Tabel 2.12: Taille- en heupomtrek van 800 militairen gemeten door Lamberts. Met T = taille omtrek (cm) en H = heupomvang (cm).

Voor ontwerpers is de Quetelet-index van belang, omdat over deze variabele regelmatig gepubliceerd wordt in samenhang met andere variabelen zoals leeftijd, geslacht, lengte en gewicht, waardoor meer inzicht verkregen kan worden in de lichaamsvorm en -afmeting.

Sonsbeek (1985) rapporteert de frequentieverdeling van de  $QI$  bij de Nederlandse bevolking tussen 1981 en 1983. 17% van de volwassen mannen en 16% van de volwassen vrouwen blijken 'overgewicht' ( $QI > 27$ ) te hebben (volgens zelfrapportage).

Ondergewicht ( $QI < 18$ ) komt bij mannen nauwelijks voor (0,7%), maar bij vrouwen vooral in de leeftijdsgroep van 20-34 jaar (5%). Een kritische blik op deze resultaten levert het volgende:

De methode van zelfrapportage is door Wichelow en Cox (1987) voor de QI gevalideerd. De afwijkingen werden groter bij mensen < 18 jaar en > 23 jaar en bij hogere QI. Men rapporteert kennelijk liever een wenselijke maat als men zelf een extreme waarde heeft. Verder moet men constateren dat 'over-' en 'ondergewicht' cultureel gewaardeerd worden.

De T/H index geeft, evenals aan de gezondheidszorg, ook aan de ontwerper een additionele indruk voor de vorm van het menselijk lichaam. Een opmerkelijk voorbeeld van toepassing van de slankheidsidealen is te vinden in de veel verkochte Barbiepop met een taille van 7 cm en een heupomtrek van 12 cm bij een lengte van 28 cm.

De T/H index is dan 0,58; meer overeenkomstig insecten dan mensen! Tevens is de verhouding taille/lichaamslengte 0,25 eveneens onmenselijk laag in vergelijking met meer reële waarden van  $60/180 = 0,33$  tot  $100/180 = 0,55$ .

Er is een minimum % vet nodig wil een vrouw vruchtbaar blijven volgens Frisch (1988). Bij een vrouw van 165 cm lengte en 57 kg lichaamsgewicht kan 15% gewichtsverlies (10 kg) al leiden tot het stoppen van de menstruatiecyclus door een verstoorde hypothalamus functie. Zaadstra (1993) vond een significant lager kans op zwangerschap, indien de T/H index groter was dan 0,80 (de zogenaamde 'appelvormige' vrouwen).

#### 2.5.3.7 Methode van Pheasant

Pheasant (1982, 1986) gaat uit van de aanname dat de populaties van Noord-Amerika en Europa redelijk homogeen qua lichaamsbouw zijn. Men hoeft slechts de gemiddelde waarden en de standaarddeviatie van de lichaamslengte van een populatie te kennen om een redelijk betrouwbaar antropometrisch model hiervan te kunnen produceren met behulp van zijn schaalfactoren voor 22 lichaamsmaten (zie Tabel 2.13).

Bij een aantal bekende databestanden heeft Pheasant zijn methode gevalideerd. De resultaten leverden een gemiddelde schattingsfout van -3 mm met een standaard deviatie van 13 mm. Dit kan bij kleine maten soms toch een te grote fout zijn. Verder bleek bij 22 maten dat gemiddeld 96% van de geschatte waarden P1-P99 binnen de werkelijke percentielwaarden lag, terwijl dat idealiter 98% geweest zou moeten zijn. De conclusie hierover moet luiden dat dit een goede schattingsmethode is binnen de bedoelde populaties, indien men alleen beschikt over  $\bar{x}$  en  $s$  van de lichaamslengte van de doelgroep en één van de 22 genoemde maten nodig heeft. Deze schattingsmethode toegepast op de Nederlandse 20-jarige man met  $\bar{x} = 183,3$  cm en  $s = 6,7$  cm, betekent dat bijvoorbeeld voor de ooghoogte staand zal gelden  $\bar{x} = 0,936 * 183,3 = 171,6$  cm en  $s = 1,018 * 6,7 = 6,8$  cm (zie regel 1 van Tabel 2.13).

	mannen	mannen	vrouwen	vrouwen
	E1	E2	E1	E2
Eye height	936	1018	929	1020
Cervical height*	855	950	855	950
Acromial height	815	932	815	991
Elbow height	622	742	611	763
Fingertip height*	369	541	369	541
Elbow-fingertip length	271	339	271	339
Elbow-wrist length*	163	221	163	222
Sitting height	523	522	526	549
Sitting eye height	460	535	459	512
Sitting acromial height	345	493	352	514
Elbow rest height	137	400	142	384
Thigh clearance	87	226	86	330
Knee height	312	410	309	390
Popliteal height	251	349	258	337
Buttock-knee length	341	436	355	482
Buttock-popliteal length	280	419	301	418
Bi-deltoid breadth	264	379	258	424
Hip breadth	206	356	233	546
Foot length	153	194	148	191
Foot breadth	58	89	56	93
Hand length	109	145	106	145
Hand breadth	48	77	48	77

Tabel 2.13: Schaalfactoren \* 1000 volgens Pheasant (1982)

E1 \* lichaamslengte doelgroep ( $\bar{x}_1$ ) = gewenste maat ( $\bar{x}_2$ )

E2 \* standaarddeviatie van  $x_1$  = gewenste standaarddeviatie bij  $x_2$

Opmerking: Met een \* gemerkte maten zijn identiek voor mannen en vrouwen gesteld, omdat er geen data over vrouwen beschikbaar waren.

#### 2.5.3.8 Fantoomvergelijking

Een laatste methode van kwantificering van de lichaamsbouw, die in dit hoofdstuk wordt beschouwd, is die volgens Ross en Wilson (1974). Zij bedachten een theoretisch fantoom, gebaseerd op geometrische schaling. De afmetingen van het fantoom (Tabel 2.14) zijn arbitrair bepaald vanuit Garrett en Kennedy (1971).

	$\bar{x}$	s
lichaamslengte (cm)	170,18	6,29
lichaamsmassa (kg)	64,58	8,6
vetvrije massa (kg)	52,45	6,14
vetmassa (kg)	12,13	3,25
% vet	18,78	5,2
dichtheid (kg/m <sup>3</sup> )	1,056	0,265

Tabel 2.14: Eigenschappen van het fantoom van Ross en Wilson.

Het doel van dit unisex fantoom was, om een referentie mens te creëren om de propriëties van 'echte' mensen aan af te meten. Als voorbeeld van toepassing vermeld het artikel enkele maten van de Canadese wereldkampioene kunstschaatsen Magnussen. Leeftijd 17,6 jaar; lengte 160 cm; gewicht 54,3 kg. De volgende formule werd gehanteerd om haar maten in Z-scores van het fantoom uit te drukken (Tabel 2.15):

$$Z = \frac{1}{s} \left[ v \left( \frac{170 * 18}{h} \right)^d - P \right]$$

- P = de fantoomwaarde voor variabele x  
 Z = de proportionaliteitswaarde  
 s = de standaard deviatie van de fantoomwaarde voor variabele x, afgeleid van Garrett and Kennedy  
 h = de lichaamslengte van de proefpersoon  
 170,18 = de constante lengte van het fantoom afgeleid van Heath and Carter  
 d = 1 voor alle lengten, breedten, omvangsmaten en huidplooidikten  
 d = 2 voor alle oppervlakten  
 d = 3 voor alle massa's en volumes  
 Z = 0 betekent dat de betreffende maat identiek is aan die van het fantoom  
 Z > 0 (<0) betekent dat de betreffende maat groter (kleiner) is dan die van het fantoom

	Magnussen (A)	McBeth (B)	B-A
gewicht	0,09	-0,39	-0,5
kruin-zitvlak hoogte	0,76	-0,79	-1,6
trochanter hoogte	-1,36	1,09	2,45
bil-knieholte lengte	-0,29	-0,07	0,22
onderbeen lengte	-1,93	2,12	4,05

Tabel 2.15: Proportie verschillen bij twee kunstschaatsters uitgedrukt als fantoom z-scores.

Uit Tabel 2.15 volgt dat (A) een gewicht heeft dat nauwelijks van het fantoom verschilt, dat haar romp relatief lang is en haar benen relatief kort. Uit de onderste twee regels valt af te lezen dat dit met name aan haar korte onderbenen ligt.

Schaatster (B) heeft met haar 14,1 jaar een relatief kortere romp en langere benen en met name langere onderbenen.

Het model van Ross en Wilson verduidelijkt echter alleen de specifieke eigenschappen van een steekproef. Het geeft geen prototype voor de steek-proef. Hiervoor heeft men toch 'echte' antropometrische data nodig (Ross et al., 1982).

### 2.5.3.9 Factoranalyse van antropometrische data voor somatotypologie

Factoranalyseren van antropometrische data levert in de literatuur meestal eerst een algemene 'grootte' factor op (zie Tabel 2.16). Ten tweede vinden verscheidene auteurs een 'type' factor op, bijvoorbeeld:  $100 * \text{lengte}/6 * \text{breedte}$  van de thorax; dit lijkt op de eerdergenoemde 'disproportie' (Paragraaf 2.5.3.1). Sheldon's typologie kan daarom

wellicht beter vervangen worden door het beschrijven van de relatieve massa's van de hoeveelheid vet, spier en bot en de verdeling daarvan, vindt Lamberts (1969). Een combinatie lijkt echter ook te overwegen, met name voor ontwerpers, die geïnteresseerd zijn in een eenvoudige kwantitatieve aanduiding van het type lichaamsbouw waarvoor men ontwerpt.

### 2.5.3.10 Conclusie

Concluderend kan men over de methoden in de literatuur over het kwantificeren van lichaamsafmetingen en -verhoudingen constateren dat ze een bruikbaar gereedschap zijn voor de onderzoekende ontwerper en de onderzoekers, die zich de moeite willen getroosten om aan werkelijke data te komen.

Over de statistische benadering van de lichaamsbouw kan men zeggen dat (zie Tabel 2.14):

- 1 Als huidplooidikten naast andere antropometrische variabelen gemeten zijn in de steekproef die gefactoranalyseerd wordt, dan genereren de huidplooidikten als belangrijkste factor één die de hoeveelheid vet aangeeft en op de tweede plaats één die het volume aangeeft. (Lamberts, Heath and Carter).
- 2 Als er geen huidplooidikte gemeten is, maar alleen lengte-, breedte-, diepte- en omvangsmaten, dan worden er door een factoranalyse een algemene 'grootte' factor en een 'breedte' factor geproduceerd (Hasslegrave, 1980). Maar wanneer uit de data lichaamslengte en gewicht geëlimineerd worden, dan verandert de algemene grootte factor in een 'lichaamsdiepte' factor.
- 3 Lamberts (1969) vindt 3 vormfactoren voor de breedte:
  - breedte van distale condylen van de pijpbeenderen;
  - borst en schouderbreedte;
  - bekkenbreedte.

Verder concludeert hij dat indices moeilijk interpreteerbaar zijn als men niet extreem 'smal' of 'breed' gebouwd is.

- 4 Uit bovenstaande verscheidenheid in 'invarianten' is te concluderen dat resultaten van factor analyses, hoewel afhankelijk van de set variabelen en inductieve naamgeving, soms wel bruikbare vormconstanten opleveren voor ontwerpers. Het is overigens mogelijk dat er weinig vormconstanten te vinden zijn, doordat de omgeving de genetische basis programma's heeft genivelleerd.
- 5 Een eenvoudige beschrijving van de globale lichaamsvorm, wordt echter heel pragmatisch gevormd door een combinatie van de Quetelet Index en de Taille/Heup index; deze waarden zijn goed bruikbaar, mits er tabellen voor alle leeftijden, lengten en gewichten zijn, zoals beschreven in 2.5.3.1.



1e faktor:	hoeveelheid vet gebaseerd op de som van 3 huidplooidikten	Heath and Carter (1969)
	algemene grootte van skeletmaten bij het meten van lengten en breedten	Lamberts (1969)
	algemene grootte en hoeveelheid vet	Lamberts (1969) bij het meten van huidplooidikten
	diepte van thorax	Hasslegrave (1979, 1980) na eliminatie van lengte en gewicht
	breedten van romp en van botten van ledematen, omtrekken	King en Carter (1982)
2e faktor:	breedte uiteinde humerus en omtrek bovenarm en onderbeen	Heath en Carter (1963)
	polsbreedte, kniebreedte	Lamberts (1969) skeletmaten
	algemene grootte	Lamberts (1969) bij het meten van vooral huidplooiën
	thoracale breedte	Hasslegrave (1979, 1980) na het elimineren van lengte en gewicht
	lengten van ledematen	King en Carter (1982)
3e faktor:	relatieve lengte van de ledematen ten opzichte van de lichaamslengte	Hasslegrave (1979, 1980)
	huidplooidikten	Lamberts (1969) bij het meten van vooral skeletmaten
	verschil in thoracale dimensies	Lamberts (1969) bij het meten van vooral huidplooidikten
	huidplooidikten	King en Carter (1982)
4e faktor:	thoracale breedte	Lamberts (1969)
	androgyn factor	Lamberts (1969) bij het meten van huidplooiën en logaritmische transformatie

Tabel 2.16: Een overzicht van enkele faktoranalytische resultaten in de literatuur.

## 2.6 Samenhang met overige factoren

In de paragrafen 2.1-2.5 is geïllustreerd hoe de lichaamsvorm en afmetingen samenhangen met vier belangrijke factoren:

- leeftijd;
- geslacht;
- etniciteit en
- lichaamsbouw.

In deze paragraaf zal aandacht gegeven worden aan enkele overige factoren die een mens kunnen doen veranderen in vorm en afmeting. Het verschil met de voorgaande vier is dat de invloed soms met een minder grote snelheid wordt uitgeoefend; of het onderzoek naar deze factoren betreft een minder groot aantal mensen vergeleken bij de eerste vier factoren.

## 2.6.1 Voeding

Tijdens de embryonale en foetale periode heeft een slechte voeding van de moeder een geringe invloed op de vorm en afmeting van het embryo of foetus, want deze gedraagt zich als een parasiet en zal eventueel ten koste van de moeder groeien en ontwikkelen (Van Wieringen, 1972). Na de geboorte is dit anders; ondervoeding van moeder leidt tot hoge zuigelingensterfte.

Zuigelingen, die borstvoeding krijgen, zijn systematisch zwaarder bij de geboorte (Vermeulen, 1987) en in de eerste 3 maanden (Neyzi, 1984).

ARP (1978) vermeldt een voorbeeld van verhongerende soldaten aan het einde van de eerste wereldoorlog, waarbij de armomtrek met 4,7 cm afnam (10-15%). De relatie tussen sociaal-economische factoren (SES), voeding, lichaamsgewicht en lichaamslengte in Nederland tussen 1850 en 1970 is gedetailleerd en overzichtelijk beschreven en geanalyseerd door Van Wieringen (1972). Verschillen in kwantiteit en kwaliteit van de voeding hebben een verschillend effect op lengtegroei en gewichtstoename. 'Calorische' overvoeding kan bij eiwitondervoeding leiden tot een relatief hoog gewicht bij geremde lengtegroei. In een recent overzichtartikel van Proos (1993), wordt vooral gewezen op de relatie tussen de pre-pubereale groei en de volwassen lengte op basis van studies van immigranten-kinderen en adoptie studies.

Voor een ontwerper is enig inzicht hierin van belang, onder meer om te weten dat door verandering in voeding de vorm en de afmetingen van mensen snel (binnen enkele weken) kunnen veranderen.

Twee mechanismen kunnen volgens Constandse-Westermann (1986) worden onderscheiden:

- Door minder voedsel blijven de individuen kleiner;
- Door minder voedsel raakt de populatie genetisch aangepast.

Bij tekort aan voedsel en verder slechte levensomstandigheden gaan de kleinsten het eerst dood; de langsten blijven over en onbekend is of deze ook genetisch de langsten zijn, maar volgens Constandse-Westermann zou er dus een stijging van de genetisch bepaalde lengte uit kunnen volgen.

Nederland voor de industriële ontwikkeling is vergelijkbaar met de derde wereld van nu. De lengte bij 19 jaar was toen < 170 cm, hetgeen al eeuwen zo geweest was (Tabel 2.16); nu is die lengte 183 cm. Dus in vier generaties is er genetische verandering.

## 2.6.2 Seculaire groeiverschuiving

Seculaire groeiverschuiving betekent volgens Van Wieringen (1972):

- verandering in de leeftijd waarop een bepaalde lengte of gewicht wordt bereikt, rijpingskenmerken tot ontwikkeling komen of skeletgroei stopt;
- verandering van de volwassen lichaamslengte bij vergelijking van (een reeks van) opeenvolgende generaties.

In principe kan de seculaire groeiverschuiving zowel positief als negatief zijn. Men kan ook formuleren: seculaire groeiverschuiving is de historische, systematische vervroeging (verlating) of vergroting (verkleining) van volgroeide maten.

Volgens Van Wieringen (1986) is seculaire groeiverschuiving 'één van de meest markante medisch-biologische reacties op maatschappelijke veranderingen'. 'Seculair' betekent hier over een lange periode. Hij concludeert onder meer dat de seculaire groeiverschuiving een goede graadmeter is voor de gezondheid van een populatie. Uit het vergelijken van data uit de literatuur blijkt dat de positieve, seculaire groeiverschuiving van de Nederlandse lichaamslengte (groter dan in vele andere Europese landen) één van de belangrijkste redenen is waarom antropometrische data uit andere landen in Nederland minder goed bruikbaar zijn.

De belangrijkste verschuivingen in de periode 1965-1980 in Nederland staan in Tabel 2.17 en in Figuur 2.19.

		lengte (in mm)	gewicht naar lengte (in kg)
zuigelingen		-10	-0,5
kleuters		+5 tot 10	0
kinderen	6 jaar	10	
	11 jaar	30	-1
tieners	m	+25 tot +45	-1 tot -3,5
	v	30	-1 tot -3
volwassenen	m	40	
	v	20	

Tabel 2.17: Overzicht van de seculaire groeiverschuiving in Nederland tussen 1965 en 1980 (Van Wieringen, 1984).

Om na te gaan of seculaire groeiverschuiving optreedt en in welke mate, is regelmatig (elke 10-15 jaar) een nieuw transversaal landelijk onderzoek nodig.

De afgelopen vier decennia hebben in Nederland drie landelijke onderzoeken plaatsgevonden en in de afgelopen 150 jaar diverse lokale onderzoeken naar de groei van de Nederlandse jeugd. Van Wieringen rapporteert hierover uitgebreid. De voorbereidingen van het vierde landelijk onderzoek zijn onlangs gestart, maar kans op realisatie is nog gering.

In grote lijnen komt het verloop van de lichaamslengte gedurende vele eeuwen in Nederland neer op geringe schommelingen (zie Zeeman, 1861 vermeld in Van Wieringen, 1972) tot halverwege de 19de eeuw en een versnelde toename vooral na de Tweede Wereldoorlog. (Tabel 2.17 en 2.18).

populatie	periode	gemiddelde	
		lengte (cm)	bron
Walvisvaarders skeletten Spitsbergen	1650-1800	166 m	Maat(1984)
Skeletten in de Pieterskerk te Leiden	1650-1800	166,7 m	Maat(1984)
Keurlingen 18,5 jaar	1825	169	Oppers (1966)
Keurlingen 18,5 jaar	1865	167,5	Oppers (1966)
Weesjongens 19,5 jaar	1865	160,6	Commissie Kinderarbeid (1869)
Schooljongens 18,5 jaar	1865	164,6	Commissie Kinderarbeid (1869)
Eerste landelijk onderzoek 1-25 jr	1955	175,5 m 163,3 v	de Wijn en de Haas (1960)
Tweede landelijk onderzoek 0-24 jr	1965	178 m 166,3 v	v. Wieringen (1972)
Derde landelijk onderzoek 0-20 jr	1980	182 m 168 v	Roede en v. Wieringen (1985)
Mannen 20 jaar	1984	182,8 m	schatting n.a.v CBS (1985)
Keurlingen 18 jaar	1984	181,06 m	Van Hussen (1986)
	1985	181,16 m	Van Hussen (1986)
	1986	181,27 m	Van Hussen (1990)
	1987	181,33 m	Van Hussen (1990)
	1988	181,16 m	Van Hussen (1990)
	1989	181,1 m	CBS(1993)
	1990	181,2 m	CBS(1993)
	1991	181,3 m	CBS(1993)
	1992	181,3 m	CBS(1994)
Mannen van 20 jaar	1992	183,3 m	Verwey(1994)

Tabel 2.18: *Seculaire groeiverschuiving in de lichaamslengte in Nederland in de periode 1650-1984.*

Volgens Udjus en Tanner (in Van Wieringen, 1986 blz. 308); Proos (1993) verklaren de benen 80% van de positieve seculaire verschuiving van de lichaamslengte.

In Tabel 2.18 is de lengte van 20-jarige keurlingen (1828 mm) in 1984 geschat met behulp van de resultaten (1811 mm gemiddeld) van de 17-jarige mannen (CBS, 1985) en een toevoeging gelijk aan het verschil (17 mm) tussen 17,5 jarigen (1803 mm) en 20-jarigen (1820 mm) volgens Roede en Van Wieringen (1985).

Opmerkelijk is dat in 1988 voor het eerst een daling is waargenomen van de gemiddelde lichaamslengte in alle provincies. Verder zijn de cijfers vanaf 1989 niet zonder meer vergelijkbaar met de voorafgaande jaren, omdat grotere lichaamslengten dan 200 cm helaas niet meer in de statistiek worden meegenomen (CBS, 1993).

Het probleem van het verkrijgen van data over de lengte van volwassen 20-jarigen (en dan zijn ze nog niet allemaal volgroeid) bestaat sinds 1979, toen besloten werd om de keurlingen al bij 17,5 jaar te meten. Men wordt gekeurd in het jaar waarin men 18 wordt, maar men kan vervroegd opkomen (ongeveer 10% doet dit).

Overigens zouden de maten van de niet-gekeurde mannen (3de en volgende zonen bijvoorbeeld) wellicht iets hoger kunnen zijn. De lengte neemt immers toe met het volgnummer in het gezin (Martin & Saller, 1957). Lengteverschil tussen goed- en S5-afgekeurde keurlingen is nauwelijks aantoonbaar (Lamberts, 1969).

Deze keurlingen-data zijn voor de ontwerper van belang, omdat dit vrijwel de enige databron is waar het verloop van de seculaire groeiverschuiving, tussen de landelijke groeionderzoeken in, is te beschouwen. Naast de keurlingen-data publiceert het CBS (sinds 1984) de resultaten van de continue gezondheidsenquête, waarbij ook lengte en gewicht *gevraagd* worden aan een voor Nederland representatieve steekproef. Appelboom (1984) illustreerde dat er nauwelijks verschil was met de data uit de Nederlandse Groeidiagrammen. Men kan echter vermoeden dat sommige respondenten wellicht eerder hun wenselijke maat zullen opgeven, vooral als men in de extreme percentielwaarden zit. Bij zelfrapportage treedt volgens Wichelow en Cox (1987) een grotere afwijking van de echte waarde op, naarmate men meer tot de extreme percentielwaarden behoort.

Een vergelijking van de seculaire groeiverschuiving van volwassen mannen in Nederland en USA is wellicht oneigenlijk, omdat Nederland slechts een vlekje op de aardbol is in vergelijking tot de USA, dat een flink deel van een continent uitmaakt. Als reactie op de vermeldingen van Kroemer et al. (1986) is het desondanks wel interessant. In de periode van 1860 tot 1960:

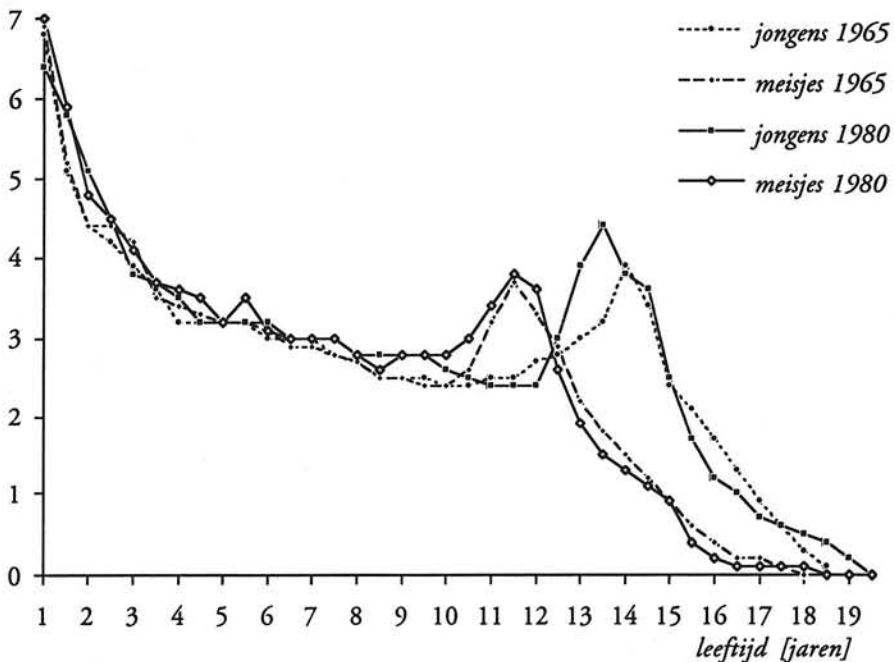
- namen de Amerikaanse gemiddelden toe met 3 cm van 171,5 naar 174,5;
- namen de Nederlandse gemiddelden in dezelfde periode 10,5 cm toe van 167,5 naar 178,0 cm.

Preciezer geformuleerd blijkt dat het verloop van de seculaire groeiverschuiving van de lichaamslengte, gemiddeld 1 cm per 10 jaar bleef tussen 1865 en 1917 en daarna steeg met 1,1 cm per tien jaar tot 1953 en vervolgens in Nederland en Scandinavië (in tegenstelling met de uitspraken van Kroemer et al. (1986)) sneller toenam dan elders, tot gemiddeld 2,7 mm per jaar tussen 1965 en 1980. De seculaire verschuiving van het lichaamsgewicht toont eveneens een toename, 2 kg per decade volgens Kroemer et al. (1986). Dit is in overeenstemming met CBS (1984) ten aanzien van de keurlingen in Nederland tussen 1950 ( $\bar{x} = 63$  kg) en 1980 ( $\bar{x} = 68,9$  kg).

Door de seculaire groeiverschuiving per 10 jaar te noteren, worden tussentijdse schommelingen, vooral afhankelijk van voedingsgewoonte en SES (Sociaal

Economische Status), verwaarloosd; voorbeelden daarvan zijn de agrarische crisis aan het einde van de 19e eeuw en de tweede wereldoorlog (Van Wieringen, 1972).

*lengtetoeename [cm/half jaar]*



*Figuur 2.19: Verschuiving van de puberale groeiperiode naar lagere leeftijden (positieve seculaire groeiverschuiving). Lengte toename per half jaar. Transversaal 1965 en 1980.*

Als oorzaken van positieve seculaire groeiverschuivingen worden algemeen genoemd: verbeteringen in voeding, woon- en werkomgeving en minder ziekte. Deze hebben er toe geleid dat de mens beter in staat is om zijn 'genetisch haalbare' lengte te benaderen. Hoe groot deze genetische lengte is, is echter onbekend.

Ten aanzien van het lichaamsgewicht geldt dat (Kroemer et al. (1986), Damon (1977)) welvaart en overgewichtsbefes deze antropometrische variabele in belangrijke mate kunnen beïnvloeden. Dit leidt tot de conclusie dat gewicht en omtreksmaten bij volwassenen meer omgevingsafhankelijk zijn dan lengte.

Over de toekomst van de lichaamslengte is geen consensus in de literatuur.

Roede en Van Wieringen (1985) zijn erg voorzichtig en constateren dat er vier mogelijkheden zijn: een toename totdat de genetisch maximale lengte is bereikt, een gelijkblijvende stand, een afname en zelfs een terugval tot het niveau van ongeveer 1800 (toen de lengte ongeveer 166 cm was). Wel valt te constateren dat de lagere percentielwaarden gevoeliger zijn voor sociaal-economische factoren dan de hogere. Na 1900 is de verschuiving aanzienlijk geweest (Van Wieringen, 1972). Maar als de hogere percentielwaarden het genetisch maximum bereikt hebben, zal door samenhang met golfbewegingen in de economie de verschuiving kunnen voortgaan bij de lagere

percentielwaarden (Van Wieringen, 1986). Dit betekent bovendien dat de spreiding van de lengte ook een golfbeweging ondergaat en een periode kleiner kan gaan worden.

ARP (1978) constateert dat de positieve seculaire groeiverschuiving van de lichaamslengte gestopt schijnt te zijn voor de Amerikaanse kinderen van na 1956. Verder voorspelt het ARP (1978) dimensies voor mannen en vrouwen in verband met het NASA ruimtevaartprogramma. Ze doen dit met behulp van regressievergelijkingen, met data over lichaamslengte en lichaamsgewicht als input. De lichaamslengte voor volwassen mannen zou gemiddeld 178,4 cm en voor volwassen vrouwen 162,8 cm moeten zijn geweest in 1985. Dit blijkt iets te optimistisch geschat, als we de data van drie andere bronnen mogen geloven. Kroemer et al. (1986) presenteren namelijk een tabel met de meest recente data van USA-burgers, van 20-60 jaar, die uitkomt op een lichaamslengte van 173,6 cm gemiddeld voor mannen en 160,5 cm gemiddeld voor vrouwen. Snyder (1977) komt uit op gemiddeld 177,1 voor 17,5-19-jarige mannen, respectievelijk 163,0 cm voor 17,5-19-jarige vrouwen in 1975 en de NCHS (1986) geeft een P<sub>50</sub> waarde van 176,5 voor mannen en 163,8 voor vrouwen bij 18-24 jaar. Een rol kan hierbij worden vermoed van ongelijke uitbreiding van verschillende etnische subgroepen. Samenvattend voor de USA kan men zeggen dat het een lager gemiddelde heeft dan Nederland bij ongeveer gelijke spreiding. Dit laatste in tegenstelling tot wat men zou verwachten bij zo'n groot land.

Voor produkten met een lange levensduur zijn voorspellingen heel nuttig; bijvoorbeeld voor vliegtuigen, kabines van locomotieven en wagons van treinen, voor woningen en inrichtingen van grote ruimten. Voor het ontwerpen van produkten met een relatief korte levensduur (< 10 jaar) is seculaire groeiverschuiving nauwelijks van belang, mits er recente ergonomische bronnen worden gebruikt en deze regelmatig, dat wil zeggen ongeveer elke 10-15 jaar, worden vernieuwd.

De mogelijke effecten op inteelt op groei zijn gepubliceerd in 1981 door Griffioen en De Boer in hun proefschrift. Zij vonden dat minstens vijf generaties van ouders bekend moeten zijn om een betrouwbaar beeld te krijgen van de mate van inteelt. De absolute mate van inteelt bij hun steekproef (397 kinderen op het voormalige eiland Marken) was gering. Daardoor konden ze een eventueel effect van inteelt op de groei van de kinderen niet onderzoeken. Op een leeftijd van een half jaar vonden ze nauwelijks een correlatie in de antropometrische ouder-kind relatie, terwijl deze er wel was op oudere leeftijd. Dit leidde tot de conclusie dat de invloed van erfelijke factoren toeneemt met de leeftijd (wellicht tot een zekere leeftijd), hetgeen in overeenstemming is met bevindingen van andere auteurs zoals Brandt (1984) en Hediger (1985).

### 2.6.3 Socio-economische factoren

Voor een deel is deze factor al besproken in Paragraaf 2.5.2. Reeds lang was bekend dat antropometrische variabelen samenhangen met economische feiten. In de literatuur wordt dit zowel kwalitatief (Van Wieringen, 1972) als kwantitatief (Brinkman et al., 1987) belicht. Een veelvuldig aangehaalde conclusie in dit verband is die van Zeeman uit 1861 (zie Van Wieringen 1972), dat er een sterk verband was tussen de prijs van de rogge en het aantal 'te kleine lotelingen' (mensen die voor de dienstplicht werden afgekeurd).

Brinkman e.a. (1987) zijn de eersten die het door velen aangehaalde verband weten te kwantificeren in de vorm van een 18de graads polynoom (een multi-pele regressie-vergelijking met de waarden van het nationaal inkomen per hoofd, de mediane lengten van de keurlingen in de voorafgaande 18 jaren). Zij beschrijven daarmee het verband tussen de hoogte van het nationaal inkomen per hoofd en de mediane lichaamslengte van de keurlingen ( $R^2 = 0,88$ ). Zelfkritiek van de auteurs leidt tot de opmerking dat het tot nu toe ondoenlijk lijkt om een bijbehorend betrouwbaarheidsinterval te bepalen vanwege de enorme hoeveelheid termen in de statistische vergelijkingen. Het model blijkt voor de periode na 1940 helaas niet zo goed te werken. Enkele andere sociale afhankelijkheden in de literatuur (maar niet per se oorzakelijke verbanden):

- Getrouwde vrouwen zijn dikker en kleiner dan ongetrouwde, onafhankelijk van leeftijd en het aantal kinderen (Sittig et al., 1951).
- Lagere opleidingen en hogere leeftijden gaan gepaard met een hogere Quetelet-index, meer endormorfie volgens Baecke (1982) binnen zijn steekproef van 19-31 jaar.

Jürgens et al. (1977) vinden bij 15-19 jarigen dat in Duitsland de middelbare scholieren (A) grotere lengtematen (gemiddeld ongeveer 1 cm) hebben dan de scholieren van de technische/beroepsopleiding (B). Borstomvang en handbreedte zijn bij B gemiddeld groter. Bij volwassenen is de sociale differentiatie echter duidelijker, doch geen van de gevonden verschillen leidt tot onderscheidbare richtlijnen in ergonomisch opzicht.

Buitenshuis werkende vrouwen (C) blijken significant kleiner dan 'huisvrouwen' (D). Breedte-, dikte- en omvangsmaten blijken bij C hoger te zijn dan bij D. De invloed van de leeftijd is bij de groep C meer expliciet en de verschillen met de vrouwen uit groep D nemen toe met de leeftijd. Het beroep buitenshuis blijkt daardoor een belastende invloed uit te oefenen. Jürgens constateert echter ook dat beroepstypische lichaamsvormen en afmetingen voor een deel al zijn bepaald op het moment dat men met dat beroep begint. Dus het lichaam wordt niet steeds tengevolge van het beroep als zodanig gevormd. Deze conclusie komt overeen met die van Maas (1974) ten aanzien van sport en lichaamsbouw.

De relaties tussen groei en socio-economische factoren zijn onderzocht bij een grote semi-longitudinale studie in Michigan. Er werd met 50.000 levend geboren en deze zijn zeven jaar gevolgd. Hierbij werd de SES-index ontwikkeld, die de socio-economische status aangaf van de ouders, en opleiding, beroep en inkomen impliceerde. Garn (1984) rapporteerde dat deze SES-index meer samenhang met de groei bij jongens dan bij meisjes en meer bij blanke dan bij zwarte kinderen. Verder gold voor elke leeftijd dat arme kinderen een lagere skeletmassa hadden en dat de arme, magere meisjes groeiden tot (arme) dikke vrouwen. Ook Garn komt tot dezelfde conclusie als Van Wieringen (1972) en Brinkman et al. (1987) over het bepalen van het welvaartsniveau: het is wellicht eenvoudiger en juist de verandering in levensstandaard te bepalen via de lichaamslengte dan via het berekenen van het inkomen per hoofd van de bevolking.



Wel doet zich de vraag voor welke factoren van de omgeving naast de SES van invloed zijn:

- Is de SES bij blank en zwart gelijk?
- Is de gezinsgrootte gelijk bij blank en zwart?
- Is het voedingspatroon gelijk bij blank en zwart?
- Is de opleiding van de moeders gelijk? (in SES is veelal deze opleiding verdisconteert)

Een ander bewijs van de samenhang van socio-economische activiteiten en antropometrische variabelen is, dat de knijpkracht bij werkloze mannen ongeveer even groot is als die van vrouwen (Redgrove, 1979). Normaliter is er een verschil van 30% tussen de gemiddelde waarden.

Van Wieringen (1972) vond in het 2de landelijk groeionderzoek dat grotere lichaamslengte vooral bereikt werd als:

- de ouders een beroep van een hoger niveau hadden;
- kinderen een hoger volgnummer in hun gezin hadden;
- het aantal kinderen in een gezin kleiner was (werkt tegengesteld aan de tweede factor);
- de proefpersoon aan de universiteit studeerde (2,5 cm gemiddeld langer en 0,5 kg lichter in gewicht).

Over eigenschappen van kinderen uit eenzelfde gezin schreef Martin in 1925 dat het geboortegewicht toenam met het rangnummer. Bij een steekproef van 3000 kinderen in Marburg was het vijfde kind bij de geboorte gemiddeld 2 cm langer en 430 gram zwaarder dan het eerste kind (Saller, 1957, blz. 821). Hediger (1985) bevestigt deze bevinding (zie 2.2.4). Dit verschijnsel is wellicht de oorzaak van de door de auteurs onverklaarde vermindering in de gemiddelde geboortelengte tussen 1965 en 1980 in Nederland (Roede en Van Wieringen, 1985). In 1980 werden er immers minder kinderen per gezin geboren dan in 1965. Stolwijk et al. (1990) verrichten een onderzoek, via een schriftelijke vragenlijst aan ouders van 5-6 jarige kinderen in Almelo. Zij vonden dat kinderen met lengte-naar-leeftijd < P<sub>20</sub> ten opzichte van kinderen met een gemiddelde lengte-naar-leeftijd een hoger geboorte rangnummer (2,2 versus 1,8), een kleinere geboortelengte (49,3 versus 52,1) en kortere ouders (169 versus 177 cm) hebben en minder actief zijn. Dit hoeft echter niet strijdig te zijn met hetgeen Martin schreef in 1925.

Het effect van zware training bij volwassenen is reeds besproken in Paragraaf 2.5.2. Peltenburg (1984) onderzocht bij jonge meisjes de invloed van training op het mogelijk verschuiven van de start van de puberteit naar een latere leeftijd. Dit effect bleek niet goed aantoonbaar.

Omdat ontwerpers meestal in de eerste fase van het ontwerpproces een indruk proberen te krijgen van hun mogelijke markt en daarbij de eigenschappen van 'hun' gebruikers verzamelen, zou het goed zijn te beseffen dat ergonomische data mede afhankelijk zijn van de socio-economische data. Jürgens et al. (1972) geven concrete maatverschillen bij

het antropometrisch onderzoek van 20-jarige keurlingen in Duitsland. Voor de lichaamslengte betekent dit bijvoorbeeld de 'soziale Grundschrift' uitgedrukt in  $\bar{x}(s)$ : 174,8 (6,7) en voor de 'soziale Oberschrift': 177,3 (6,4).

De socio-economische factoren die hieruit volgen, zijn voor het Programma van Eisen van een antropometrisch datasysteem van belang: inkomen, beroep en opleiding binnen de (sub-)populaties. Een combinatie hiervan volgens Garn (1984) levert een SES-index op, die ook bruikbaar lijkt voor het antropometrisch datasysteem, maar dan als algemene richtlijn. Bijvoorbeeld bij het ontwerpen voor mensen met een lagere SES-factor dient men meer rekening te houden met lagere percentielwaarden in de lengtematen en met hogere in de breedte- en omvangsmaten.

#### 2.6.4 Kleding

De invloed van kleding op antropometrische data is slechts summier in de literatuur te vinden, maar wel degelijk van belang (Sittig en Freudenthal, 1951). ARP (1978), Diffrient et al. (1974) en Schmidtke en Jürgens (1975) geven een schatting van de toeslagfactoren ten gevolge van kleding en schoeisel in statische situaties. Toeslagen van 10 kg in massa; 7 cm in lichaamslengte en 25 cm in de 'elleboog tot elleboog breedte' gelden volgens Diffrient bijvoorbeeld voor een duikpak. De toeslag voor de lichaamslengte voor hak en helm lijkt hierbij onvoldoende en zou eerder 15 cm mogen zijn. Daarom moeten doorgangen, mangaten en hoogten, maar ook bedieningsmiddelen wegens bijvoorbeeld mouwen en handschoenen aangepast worden, maar de mate waarin is nog onvoldoende onderzocht.

Bij het openbaar vervoer geldt hetzelfde probleem als op koude dagen de passagiers dikke winterkleding aanhebben. De bus- en treinbanken zijn hiervoor niet berekend. De invloed van kleding en schoeisel dient nader onderzocht te worden; niet alleen op pure maten bij het gebruik van consumenten producten, maar vooral bij gewrichtsexcursies en bedieningspatronen. Als één van de weinige studies naar kledingeffecten in de literatuur is Giurelli en Mitchell (1987) gevonden; hij onderzocht de invloed van handschoenen. Tot nu toe kunnen deze problemen alleen met 'trial and error' en met gebruikmaking van mock-ups in de evaluatiefase van het ontwerpproces opgelost worden. Dit is natuurlijk een kostbare methode, welke adequater gehanteerd zou kunnen worden, als meer bruikbare data over kledingtoeslagen voor statische en dynamische situaties beschikbaar zouden zijn voor de informatiefase en de conceptfase van het ontwerpproces.

#### 2.6.5 Omgeving

Het is niet geheel duidelijk of en in welke mate fysische eigenschappen van mensen zich aanpassen aan omgevingsinvloeden, zoals klimaat in een regio, maar volgens ARP (1978) staat het vast dat in een gegeven klimaat bepaalde fenotypes frequenter voorkomen. Bijvoorbeeld, zo stelt ARP, komt de zwarte huidskleur in tropische gebieden meer voor dan elders. Doch hier is tegenin te brengen dat vele generaties negers in Amerika niet

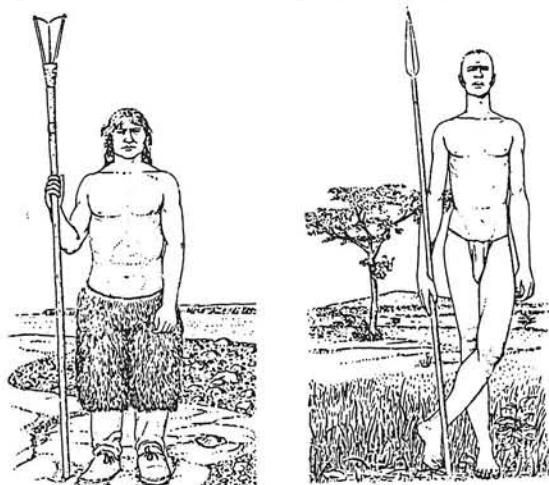
blekere negers hebben opgeleverd. Dit wordt verklaard door de huidskleur als genotypisch aan te nemen.

Andere omgevingsfactoren in de literatuur: temperatuur, hoogte, milieuverontreiniging en woonplaats.

### Temperatuur

Deze factor levert in de literatuur tegenstrijdige of onbewezen 'verklaringen' op (Damon, 1977; Malina en Bouchard, 1991). Enkele punten die regelmatig worden genoemd:

- een lage nasale index (neusbreedte/neushoogte) als het koud en droog is;
- een hoge nasale index als het warm en vochtig is;
- een kouder klimaat resulteert in kortere extremiteiten;
- koude gebieden bevorderen een hoge gewicht/lengte ratio.



*Figuur 2.20: Extreme verschillen in lichaamsbouw samenhangend met klimatologische en etnische verschillen (Howells, 1960).*

Volgens een onbewezen en wellicht speculatieve theorie van Howells (Howells, 1960), Lewontin (1985) en Constandse-Westermann, (1986) kunnen de laatste twee punten (in Figuur 2.20 geïllustreerd) veroorzaakt zijn door aanpassing van het lichaamsoppervlak (evenredig met  $L^2$ ) versus lichaamsvolume (evenredig met  $L^3$ ) in relatie tot het klimaat. De relatie tussen lengte en volume (of gewicht) is echter niet onafhankelijk van de leeftijd (Van Wieringen, 1972). Hiermee is ook nog niet verklaard waardoor er soms in het zelfde land een lange en een kleine populatie wonen (de lange Tutsi en de kleine Hutu in Rwanda en Burundi (Hiernaux, 1965) samen met de nog kleinere Twa pygmeeën).

Verder worden de volgende punten genoemd:

- Een hoger gemiddelde jaartemperatuur resulteert in een hoger basis-metabolisme en een lager gewicht bij dezelfde lengte (Malina en Bouchard, 1991).

- Vet isoleert, maar toch vindt men de grootste huidbloedikten bij blanke Amerikanen in verstedelijkte gebieden (Damon, 1977). Dit is dus eigenlijk een socio-economisch item.
- Uit variantie-analyse zou blijken dat lichaamslengte en temperatuur 80% van de variantie van het lichaamsgewicht verklaren. Dit betekent dat er slechts 20% overblijft voor voeding, genetica en ziekte. Het klimaat lijkt dus in belangrijke mate de menselijke lichaamslengte en proportie te bepalen (Damon, 1977). Maar bij het zien van Amerikaanse films, rijst de vraag of temperatuur echt de oorzaak is van het feit dat de Noord-Amerikanen, die veel zwaarder zijn (in relatie tot hun lengte), dan de Nederlanders, en of hun gewicht niet veel sterker wordt beïnvloed door zoiets als hun voedingsgewoonte.

### Hoogte

- Leven op grotere hoogte resulteert in een zwaardere en compactere bouw en door het klimmen in een grotere kuitomvang;
- Leven in het Andesgebergte op 5000 m hoogte heeft volgens sommige auteurs (Constandse-Westermann, 1986; Malina en Bouchard, 1991) als kenmerk een lager geboortegewicht, een tragere groei, een vertraagde adolescentie en geringere afmetingen van volwassenen. Maar het lijkt meer voor de hand te liggen dat de factor welstand (*'vivre dans l'aisance ou bien la misère'* (Villermé, 1829)) op 5000 m hoogte de achterliggende oorzaak is.

### Milieuverontreiniging

Als voorbeeld van de invloed van milieuverontreiniging hebben Lauwers et al. (1984) onderzocht wat de invloed van een grote loodconcentratie in de lucht op de groei is. Het verschil in de groei van lengte en gewicht tussen twee steekproeven van in totaal 3300 Belgische kinderen van 3-21 jaar, verdeeld volgens het criterium 0-2 microgram lood per m<sup>3</sup> lucht en meer dan 2 microgram, was niet significant.

Wel is bekend, of wordt vermoed, dat congenitale afwijkingen in de lichaamsbouw kunnen ontstaan ten gevolge van te hoge concentraties chemische stoffen, zoals thalidomide: een slaapmiddel gebruikt door zwangere vrouwen rond 1965 veroorzaakte abnormale extremiteiten bij hun ('softenon') kinderen.

### Woonplaats

Deze factor speelt, hoewel samenhangend met etniciteit en socio-economische aspecten, toch een opmerkelijke rol bij de lichaamsbouw. Zelfs in een klein land als Nederland zijn mensen in het noorden enkele centimeters langer dan in het zuiden, vlak na de oorlog in 1948 was dit 4,6 cm (van Hussen, 1988), hoewel dit een eeuw geleden ongeveer gelijk was (Van Wieringen, 1972). Volgens Van Wieringen was in 1965 dit Noord-Zuid verschil bij 20-jarige jongens in lengte ongeveer 4 cm (181,8 - 178,9 cm) en in gewicht ongeveer 6 kg (72,8 - 66,7); bij 20-jarige meisjes was dit verschil in lengte eveneens 4 cm (169,9 - 165,2) maar slechts 2 kg qua lichaamsgewicht (60,1 - 58,3kg). De verschillen schijnen echter kleiner te worden, want in 1983 waren de keurlingen uit Groningen en Friesland gemiddeld nog maar ongeveer 3 cm langer en slechts 0,2 kg zwaarder dan die uit Limburg. (Appelboom, 1986). De laatste auteur laat ook regionale verschillen in

lengte en gewicht zien bij mensen van 18 jaar en ouder met nog kleinere verschillen. Hieruit volgt voor de lichaamslengte en gewicht van de mannen een landelijk gemiddelde van 177,6 cm en 76,2 kg in 1984; in Groningen is dit 178,6 cm en 77,2 kg en in Limburg 176,0 cm en 75,3 kg. Voor de vrouwen zijn deze waarden respectievelijk: 166,1 cm en 64,6 kg; 167,2 cm en 66,3 kg; 164,5 cm en 63,2 kg. CBS-cijfers uit 1987 laten zien dat mannen in Drenthe nu de langste in Nederland zijn (Van Hussen, 1988). Het verschil tussen de provincie met gemiddeld de langste (182,57 cm) en de kortste (Limburg met 179,45 cm) is daarmee 3,3 cm. In aansluiting op de nivellerende verschillen tussen de keurlingen in de provincies vond Steenbekkers (1993) bij haar onderzoek bij kinderen van 2-12 jaar nauwelijks regionale verschillen.

Van de Japanners, die naar Amerika verhuisden, is bekend dat ze binnen één twee generaties aanmerkelijk langer werden (Van Wieringen, 1972).

Internationaal levert de factor 'woonplaats', mede afhankelijk van een verschil in seculaire groeiverschuiving, interessante antropometrische en ontwerprelevante verschillen op (Tabel 2.19).

		Duitsland	Nederland	verschil (mm)	verschil (%)
man	P5	1652	1709	57	3,34
	P50	1758	1820	62	3,41
	P95	1865	1930	65	3,37
vrouw	P5	1544	1581	37	2,34
	P50	1646	1680	34	2,02
	P95	1762	1785	33	1,85

Tabel 2.19: *Vergelijking van de lichaamslengte in Duitsland en Nederland volgens DIN33402 (1981) en Roede en Van Wieringen (1985). Lichaamslengte in mm.*

Met DIN33402 (1981) als basis en met behulp van Tabel 2.19 is een eenvoudige antropometrische ontwerprichtlijn 'DINED-tabel' in 1984 samen-gesteld (Molenbroek en Dirken, 1986; Molenbroek, 1986), een schatting van 27 antropometrische variabelen van volwassen Nederlanders.

Het werkelijke verschil tussen Nederlandse en Duitse keurlingen is minder groot als men de waarden uit hetzelfde jaar kan vergelijken. In 1984 waren de Nederlandse keurlingen gemiddeld 1828 mm lang en de Duitse keurlingen waren toen 1792 mm (beide naar 19 jaar omgerekend). Dit geeft een verschil van nog 36 mm (= 2%) (Heddenhauser, 1987). Met andere woorden: de DIN33402 stemt niet meer overeen met de resultaten van de metingen van Duitse keurlingen.

## 2.6.6 Verschil tussen linker en rechter lichaamshelft

Deze invloed is onderzocht door Laubach et al. (1976), Maas (1974) en Von Peters (1969) (Tabel 2.20).

	Maas (1974)		Laubach (1976)	Von Peters (1969)
	n=613		n=42-117	n=1166
	mannen	mannen	vrouwen	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	$\bar{x}$
acromion hoogte (8)	-4,82	12,07	6,2	3
iliocristale hoogte (12)	4,3	7,49		
anterior iliospinale hoogte (13)	-1,68	8,59		
trochanter hoogte (14)	4,75	9,23	0,9	
tibiale hoogte (15)	-0,91	4,91	0,2	
boven-arm lengte (47)	-1,27	4,73		
onder-arm lengte (48)	-1,1	4,05		
handlengte (50)	-0,63	4,21	0,1	
vingerlengte (51)	0,97	3,42		
handbreedte (52)	0,62	2,25	0,6	
enkel hoogte (16)	-0,05	4,03	0,2	
sphyrion-calcaneus lengte (58,2)				
voetlengte (58)	-0,75	3,94		
bovenarm omtrek (ontsp) (65)	4,89	7,15	5,5	
bovenarm omtrek (aangesp) (65,1)	6,37	8,82	7,4	
onderarm omtrek (66)	4,77	6,07	5,5	
dij omtrek (68)	4,89	9,38	0,6	
kuit omtrek (69)	-1,77	7,65	0,8	
ellebooghoogte staand gestrekt				9
ellebooghoogte staand ontspannen				2
acromionhoogte zittend gestrekt				2
acromionhoogte zittend ontspannen				1
elleboog-zitvlak gestrekt				3
elleboog-zitvlak ontspannen				3
dijbeenhoogte				1
kniehoogte				3
de gemiddelde lichaamslengte	1798		1762	1632

Tabel 2.20: Verschillen rechts-links (in mm) in de literatuur. Nummers tussen haakjes verwijzen naar definities volgens Martin-Saller (1957) pagina 311.

Maas nam, in tegenstelling tot andere onderzoekers, in zijn onderzoek het effect mee van links- of rechtshandigheid (=lateraliteit) van de proefpersonen (studenten in de leeftijd van 15 tot 37 jaar) op de asymmetrie van de lichaamsbouw. Hieruit bleek dat:

- het gevonden verschil niet afhing van de grootte van de lichaamsmaat;
- het gemiddelde van de verschillen ligt tussen ongeveer 0 (enkelhoogte) en ongeveer 6 mm (bovenarm omtrek, gespannen);
- de invloed van de links- of rechtshandigheid (-voetigheid) op de gemeten verschillen tussen de lichaamsmaten, die links en rechts gemeten waren, niet duidelijk aanwezig is;

- frappant grotere gemiddelde waarden van linker onderbeen c.q. rechterbovenbeen overeenkomen met de voorkeur voor het afzetten met het linker been (actieve kuitspier), respectievelijk het schoppen met de rechter voet (actieve quadriceps);
- de correlaties tussen de onderlinge verschillen zeer gering waren, behoudens enkele uitzonderingen van respectievelijk 0,4 (tussen trochanter hoogte en iliocristale hoogte) en 0,6 (tussen de beide bovenarmomtrekken). Voor de industrieel ontwerper is de invloed van de lateraliteit op afmetingen niet van grote betekenis, omdat de verschillen te gering zijn. Wel is van belang dat de ontwerper rekening houdt met functionele motorische verschillen tussen rechts- en linkshandige mensen. Daaraan zal de vormgeving en positionering van handgrepen e.d. aangepast moeten worden (bijvoorbeeld de rechtshandige schaar).

### 2.6.7 Etmaalsritme

Gedurende de loop van de dag wordt de mens, rechtop van houding, onder invloed van de zwaartekracht kleiner. De tussenwervelschijven zakken in en de kromming van de wervelkolom wordt groter.

De grootte van de dagelijkse krimp hangt af van de indrukbaarheid van de tussenwervelschijven als functie van leeftijd en van wat men doet. Een dokwerker kan wel tot 5 cm inzakken, terwijl dit bij kantoorpersoneel geringer zal zijn.

Van Wieringen (1972) vond over een tijdsinterval van enkele uren 2-3 mm inzakking bij op hun keuring wachtende keurlingen, wat in overeenstemming is met Tanner (1968).

Voor de ontwerper is in dit verband van belang, dat bij een onderzoek zoveel mogelijk op hetzelfde tijdstip van de dag wordt gemeten. Vanwege het etmaalsritme zal een (beroeps) chauffeur zijn spiegel af en toe dienen bij te stellen.

### 2.6.8 Ziekte

Veel ziekten zijn van invloed op vorm en afmeting van het menselijk lichaam, waarbij sommige tijdelijk de houding doen wijzigen, zoals spit in de rug.

Andere ziekten van het spierskeletstelsel, zoals Morbus Bechterew, rheuma, poliomyelitis, scoliose, etc. genereren een permanente verandering van de vorm van het menselijk lichaam. De mate, waarin deze vorm afwijkt, is nauwelijks onderzocht. In het kader van het ontwerpen voor mensen met een handicap is er wel behoefte aan: 10% van de totale populatie en 20-40% van de ouderen hebben namelijk tenminste één lichamelijke beperking. In die omvang kan zoiets moeilijk door de ontwerper worden genegeerd. In ICE (1983), Hobson et al. (1987; 1988), Hobson en Molenbroek (1990), Hoefnagels et al. (1992) en in Munnik et al. (1993) worden hiertoe aanzetten gegeven. Zij onderzochten antropometrische verschillen tussen mensen met en zonder een beperking. Hobson et al. vonden dat de verschillen met de afmetingen van de niet-gehandicapten groep groter werden naarmate de leeftijd vorderde; vooral bij het lichaamsgewicht en de kruin-zitvlak hoogte.

ICE (1983) vergelijkt de antropometrie van ouderen (gedefinieerd als  $\geq 65$  jaar) en gehandicapten (gedefinieerd als mensen  $< 65$  jaar in verpleeghuizen en dagbehandelingscentra) met elkaar. Uitgebreid worden de talrijke vóórkomende diagnosen beschreven. Maar er is helaas geen analyse gedaan naar mogelijke verbanden tussen de beperking en de antropometrische data. ICE heeft in hun voornoemde rapportages wel een analyse gedaan naar het verschil tussen ouderen en gehandicapten, ten aanzien van de antropometrie. Dit resulteerde in een serie van significante ( $p \leq 0,05$ ) verschillen tussen maten van ouderen en gehandicapten. Bijvoorbeeld scoren de gehandicapten hogere waarden op bijvoorbeeld ooghoogte zittend, dijbeendikte en elleboog-zitvlakhoogte. Het lijkt alsof de auteurs hierbij één belangrijke achterliggende factor over het hoofd hebben gezien, namelijk de arbitraire definitie van de gehandicapten ( $< 65$  jaar) en van de ouderen ( $\geq 65$  jaar). Hierdoor is het logisch dat de jongeren op sommige maten hogere waarden hebben dan de ouderen. In het algemeen geldt echter dat de  $s^2$  groter wordt van jongeren via ouderen naar gehandicapten.

#### **Enkele specifieke ziektebeelden**

Rode hond bij de moeder in de eerste maanden van de zwangerschap leidt vaak tot misvormde kinderen, zoals in 1964 in de USA op grote schaal bleek.

Lee (1984) en Lieberman (1984) vonden dat kinderen met diabetes mellitus meer vet hadden bij een gegeven gewicht, hoewel de gewichten wel pasten bij de lengten volgens de groeistandaarden. Eenzelfde resultaat werd gerapporteerd door Tonkelaar et al. (1990). Zij vonden dat de middel-heup omtrek (zie ook 2.5.3.7) een verband heeft met zelf gerapporteerde diabetes mellitus, hypertensie en cholecystectomie. De risicoschattingen (odds ratio's) voor deze aandoeningen namen in dezelfde mate toe met toenemende middel-heup omtrekverhoudingen. Verder is er een samenhang tussen veranderingen in de zuigelingensterfte en veranderingen van de lengte van dienstplichtigen. Indirect geven beide een indicatie voor de gezondheidstoestand van de bevolking. Daling van de zuigelingensterfte komt historisch gezien overeen met het langer worden van de keurlingen (Van Wieringen, 1972).

Bij het ontwerpen voor een doelgroep met een binnen die groep algemeen voorkomende ziekte, zal nader onderzocht moeten worden welke antropometrische data bruikbaar zijn.

Pathologie leidt zelden tot uniformiteit binnen de diagnosegroepen en vertoont ook veelal progressie. Dus hier komt individualiseren van maatgeving als oplossing bij het ontwerpen eerder naar voren.

### **2.6.9 Genen**

De invloed van de genen op de menselijke vorm en afmeting is zeer groot. Vanaf het twee-cellig stadium komt waarschijnlijk het genoom (dat de genetische informatie bevat voor de synthese van genproducten) van het embryo zelf tot expressie. Daarbij speelt de invloed van het materiaal messenger-RNA een grote rol. Daarna ligt een periode waarin de complexe interactie tussen genetische en niet-genetische factoren plaatsvindt (Rigters-Aris, 1986).



Sommige van de in de vorige paragrafen genoemde factoren zijn volledig genetisch bepaald: sexe en sommige ziekten; sommige verschillen tussen links en rechts, de maximaal te bereiken lengte. Van veel eigenschappen van de mens, zoals intelligentie bijvoorbeeld, kan men niet zeggen of deze genetisch bepaald dan wel aangeleerd zijn. Het is evenmin juist te zeggen dat verschillen in intelligentie voor 80% erfelijk en voor 20% een kwestie van milieu zijn. In een complex organisme als de mens vindt op elk moment immers een wisselwerking plaats tussen erfelijkheidsfactoren en omgevingsfactoren en bovendien is de mens zelf voortdurend zijn leven lang in ontwikkeling (Lewontin, 1985). Om te kunnen voorspellen wat de vorm en afmeting van een mens na verloop van tijd zullen zijn, zegt Lewontin, zijn zowel gegevens over de huidige vorm en afmetingen nodig als gegevens over welk milieu die mens zal meemaken. Men zou de ontwikkeling van een organisme als de mens met een complex computerprogramma kunnen vergelijken, dat steeds nieuwe data krijgt toegevoerd voor onder meer vorm en afmetingen, die op zich weer nieuwe commando's kunnen oproepen of wijzigen.

Aangenomen wordt op basis van proeven met planten en dieren, dat elk genotype in elk milieu een bepaald fenotype heeft. De theoretische reactienorm van een genotype is gedefinieerd als een lijst of grafiek die bij alle mogelijke milieus het bijbehorende fenotype aangeeft. Bijvoorbeeld een lijst met verkregen lichaamsgewichten bij diverse genuttigde hoeveelheden calorieën zou per individu anders zijn, maar wel reproduceerbaar.

Proeven met identieke genotypen in gecontroleerde milieus zijn met planten (*Achillea*) en dieren (*Drosophila*) gedaan, maar deze proeven zijn bij mensen uiteraard onmogelijk.

Onderzoekers melden wel de invloed van milieus op identieke tweelingen. Zo vonden Stunckard et al. (1986 en 1990) via tweeling- en adoptie-kinderonderzoek, dat erfelijkheid in belangrijke mate verantwoordelijk is voor obesitas. Hij deed dit door vast te stellen dat er nauwelijks verband bestond tussen de Quetelet-index van de adoptief ouders en de kinderen, maar wel met de biologische ouders en vooral met de moeders. Dit resultaat komt in enige mate overeen met wat Chrzastek-Spruch (1984) vaststelde, een correlatiecoëfficiënt tussen de gemiddelde gewichten en lengten van ouders en hun zoon of dochter als functie van de leeftijd.

Naast genotype en reactienorm bestaat er nog een derde factor die differentiërend werkt volgens Lewontin, die hij 'ontwikkelingsruis' noemt, en die te maken heeft met het niet op het juiste moment aanwezig zijn op de juiste plek van de juiste cellen. Het leidt er toe dat sommige verschillen al bij de geboorte aanwezig zijn zonder dat ze genetisch van karakter zijn.

Inmiddels weet men dat het menselijk genoom ongeveer 50.000 genen bevat, waarvan in 1993 ongeveer 2500 waren geïdentificeerd. In de beschrijving van het Menselijk Genoom Project vergelijkt Shapiro het in kaart brengen van de drie miljard 'letters' van onze DNA-code met het op de maan brengen van de eerste mens (Shapiro, 1991). De genetische lokalisatie van enkele ziekten, zoals cystische fibrose en spierdystrofie van

Duchenne is bekend, maar dat is nog niet het geval bij enkele van de hierna genoemde ziekten, die speciaal in het kader van dit boek van belang zijn.

Enkele uitzonderlijke lichamelijke vormen en afmetingen staan als ziekten bekend en hebben een genetische oorsprong (Warwick et al., 1973). Hiervan zijn 'Turner' en 'Klinefelter' te wijten aan fouten op het geslachtschromosoom en 'Down', 'Marfan' en 'Achondroplasia' te wijten aan fouten op de gewone chromosomen (autosomaal).

- A Het syndroom van Turner: het voorkomen wordt geschat op 1 op 3500 vrouwen; geringe lichaamslengte (140 cm), weinig secundaire geslachtskenmerken; slechts één sex-chromosoom (XO); brede thorax, breed uitlopende nek; laag geplaatste oren en geen menstruatiecyclus; 76% van de gevallen schijnt te wijten te zijn aan delingsfouten in de zaadcellen; .
- B Het Klinefelter syndroom: grote lichaamslengte, lage vruchtbaarheid, weinig secundaire geslachtskenmerken; meestal 2 of 3 maal een X-chromosoom in samenhang met een Y-chromosoom. Tevens een hoge FSH- (Follikel-Stimulerend Hormoon) productie (zie 2.6.10). Komt voor bij 1 op 400 mannen.
- C Het syndroom van Down (mongolisme): geringe intelligentie, platte voeten, korte dikke vingers en tenen, een korte compacte lichaamsbouw en brede korte handen, dikke lippen en een dikke tong. In het algemeen hebben ze 47 chromosomen met een extra nummer 21; het voorkomen is ongeveer 1 op 700 geboorten en er is een hoge correlatie met de leeftijd van de moeder/vader. Buday (1984) zegt dat de proporties van de lichaamsbouw van mensen met een aneuploïde (meer of minder dan het normale diploïde aantal 23 paar chromosomen) geregeld wordt door de genen op de korte arm van het X-chromosoom. Tevens blijken de korte en de lange arm van het X-chromosoom een essentiële rol te spelen in het controlemechanisme voor de ontwikkeling van een normale lichaams-lengte. Het aantal opgenomen zuigelingen met een Down syndroom in Nederland was in 1983 82 en in 1987 was dit toegenomen tot 159 (NTVG, 1989).
- D Het Marfan syndroom: lange vingers en tenen (acromegalie) en een grote lichaamslengte.
- E Achondroplasia: dit veroorzaakt een beperkte ontwikkeling van de epifysairschijven, wat resulteert in dwerggroei. Het is een autosomaal dominante eigenschap. 'Oude vaders' worden als oorzaak genoemd met een voorkomen van 1 op 40.000 geboorten. Dit is een voorbeeld waarbij de invloed van één allel, die alleen bij achondroplasia voorkomt, zeer groot is (Rigters-Aris, 1986).

Het biologische model van Lewontin inzake genen en milieu toont enige overeenkomsten met het werkstuk van een industrieel ontwerper. De ontwerper heeft veelal een vaag idee van een werkstuk in zijn hoofd, maar de uitwerking hangt af van materialen, kennis van verbindingstechnieken, produktietechnieken etc. die op een bepaald moment aanwezig zijn en met de tijd mee veranderen.

## 2.6.10 Hormonen

Als een kind klein of lang is, is er in de meeste gevallen sprake van een gezond kind van kleine respectievelijk lange ouders. De tweede mogelijkheid is een congenitale afwijking, waarvan er enkele in de vorige paragraaf besproken zijn.

De derde mogelijkheid is (met een geringe waarschijnlijkheid) dat er sprake is van een hormonale storing. Sommige klieren produceren hormonen met een grote invloed op de groei.

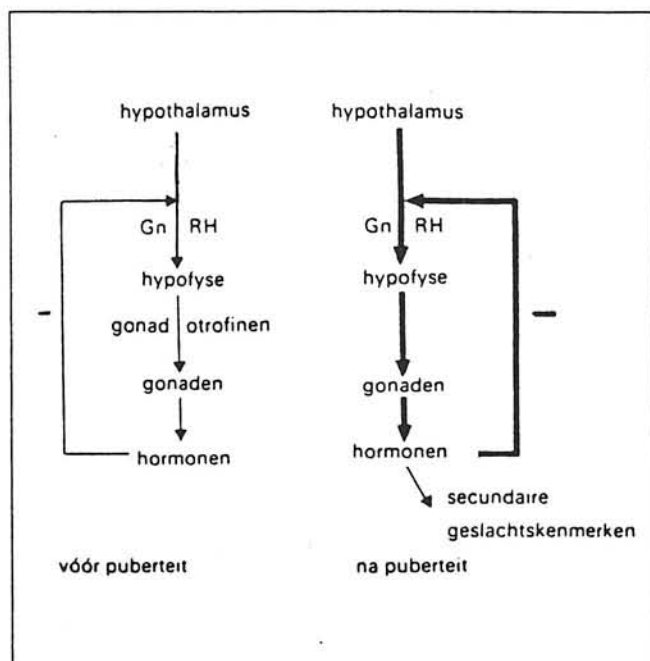
A De hypofyse produceert talrijke belangrijke hormonen, die het groeimetabolisme regelen (en wordt zelf geregeld door de hypothalamus), door de werking van diverse klieren te beïnvloeden, zoals de schildklier, de bijnieren en de gonaden en produceert ook het belangrijke groeihormoon (Figuur 2.21).

B De schildklier ('glandula thyroidea') produceert thyroxine, dat het metabolisme versnelt en de groei en ontwikkeling beïnvloedt.

C De bijnier produceert adrenaline en corticosteroiden.

D De gonade produceert vanaf de puberteit de geslachtshormonen testosteron en oestrogeen.

In de literatuur worden drie groeimechanismen in dit verband genoemd. Er is een complex terugkoppelmechanisme waarbij de hypofyse een hormoon pas afscheidt na ontvangen van een bepaalde hoeveelheid hormoon van de klier, waarvoor het hypofysehormoon bedoeld is (Damon, 1977; Prader, 1984).



Figuur 2.21: De 'gonadostaat' (Stoeltinga, 1988).

De hypofyse wordt door de hypothalamus gestimuleerd tot afgifte van gonadotrofinen (LH en FSH). Deze activeren de gonaden. De geslachtschromosomen remmen de afgifte van gonadotrofinen (Stoeltinga, 1988).

Het tweede mechanisme, dat volgens diverse auteurs zoals Damon (1977) en Prader (1984) functioneert bij de groei van de mens, is de 'doelvinding': als de groei door welke reden (ziekte, ondervoeding e.d.) dan ook onderbroken is, dan zal dit groeiproces zich herstellen tot het oorspronkelijk groeitraject (een kanaal van enkele dicht bij elkaar gelegen percentielwaarden) weer bereikt is (catch-up effect).

Het derde groeimechanisme, dat Damon (1977) noemt, is het verschijnsel van rijpeidsgradiënten per lichaamssegment. Bij de extremiteiten is het distale deel altijd verder in ontwikkeling dan het meer proximale deel.

Extreme vormen en maten van lichaamssegmenten kunnen dus voor een deel ook door het te veel of te weinig aanwezig zijn van bepaalde hormonen verklaard worden. Het aantal mensen bij wie dit voorkomt is gering, zoals in het begin van deze paragraaf vermeld. Een illustratie hiervan is wellicht het aantal kinderen dat door de Nederlandse Groeistichting werd behandeld met natuurlijk groeihormoon; dat waren in 1984 slechts 269 kinderen. (Nederlandse Groeistichting, 1985). Als effect van behandeling door groeihormoon wordt onder meer een snellere groei in de adolescentie genoemd; uiteindelijk bleek een groep kinderen in San Francisco (in een 8 jaar durend project) slecht 37 mm gemiddeld meer gegroeid te zijn ten opzichte van de voorspelde volwassen lengte zonder therapie (Harbison, 1990).

## 2.6.II Statische/dynamische houding

De invloed van de lichaamshouding op vorm en afmeting is niet gering. Vandaar dat de houding tijdens het meten, als een van de eerste punten bij het standaardiseren van de antropometrie werd voorgeschreven (DIN33402, 1981; NEN-EN979, 1993). De houding, die volgens deze norm werd vastgesteld, is een soort militaire en statische houding, die redelijk reproduceerbaar is. Twee basishoudingen in deze statische antropometrie zijn staan en zitten, waarbij verder wordt voorgeschreven bij de staande houding:

- hoofd in het Frankfurter vlak (bovenzijde gehoorgang en onderzijde oogkassen in hetzelfde horizontale vlak);
- voeten parallel en lichaamsgewicht gelijk verdeeld over beide voeten;
- benen en armen neerwaarts gestrekt en handpalmen naar voren, zodat ulna en radius parallel zijn.

Bij zittende houding wordt verder voorgeschreven:

- ellebogen, knieën en heupen 90° gebogen; handpalmen naar binnen (zie Figuur 4.1, blz. 142).

Onderzoekers van de 'engelse school' passen een actieve strekking toe. Dit wil zeggen dat op de kin van de proefpersoon een lichte opwaartse druk wordt uitgeoefend. Hierdoor is de lengte bij volwassenen ongeveer 1 cm groter.

Deze houdingen zijn duidelijk ontstaan vanuit metingen van militairen en geven problemen bij het meten van pasgeborenen en ouderen of bij meer functionele houdingen in het algemeen. Onderzoekers van deze doelgroepen (kinderen en ouderen) passen de meethouding zo goed mogelijk aan: Roede en Van Wieringen (1985), of Snyder (1977) en Steenbekkers (1993) voor de kindermaten en ICE (1981) of Molenbroek (1987) voor ouderen, opdat ze zo goed mogelijk internationaal vergelijkbaar blijven.

Statische antropometrie kenmerkt zich door eenvoudige meetbaarheid en vergelijkbaarheid, maar de resultaten zijn niet eenvoudig toe te passen zonder rekening te houden met allerlei toeslagfactoren voor bijvoorbeeld kleding en schoeisel, houding of taak.

De genoemde problemen bij het meten van ouderen en kinderen komen overeen met de problemen bij de dynamische of functionele antropometrie. Functionele antropometrie kenmerkt zich door directe toepasbaarheid van de meetgegevens, maar heeft als nadeel dat de vergelijkbaarheid en wellicht ook de reproduceerbaarheid minder worden. Daams (1994) liet zien dat de vrije houding (door proefpersonen zelf gekozen) bij krachtsuitoefening redelijk goed reproduceerbaar was, maar dat is voor de vergelijkbaarheid nog niet voldoende.

Voorbeelden van functionele antropometrie zijn:

- de 'reikhoogte staand op 36 cm vanaf de buik', waarmee de plek boven achterin een kastje wordt gesimuleerd (Molenbroek, Houtkamp en Burger, 1983);
- de 'afstand teen tot voorzijde enkel', waarmee de vrije ruimte voor de voet wordt gesimuleerd.

Of nog functioneler:

- alle relevante lichaamsmaten en krachten, die nodig zijn bij het in en uit een auto te stappen.

In NEN-EN547 (1991) blijkt erg duidelijk de noodzaak van meer inzicht in het proces van het maken van een functionele maat vanuit een statische maat. Tijdens het ontwerpproces van een norm kan immers nog gekozen worden voor de meest geschikte combinatie van statische maten. Het ligt voor de hand te proberen meer functioneel antropometrische data te verkrijgen, maar aan het direct meten daarvan zijn, zoals gezegd, nadelen verbonden. Vandaar dat diverse onderzoekers/ontwerpers een functioneel antropometrisch model hebben gecreëerd op basis van statisch antropometrische data. Voorbeelden hiervan worden in Hoofdstuk 3 beschreven:

- twee-dimensionale tekensjablons;
- drie-dimensionale computermodellen, zoals ADAPS (Hoekstra, 1993; Ruiter, 1993a, 1993b).

Een andere mogelijkheid voor het verkrijgen van om functionele maten is het op bepaalde wijze globaal gaan rekenen met lichaamsmaten. Hoofdstuk 5 is hieraan gewijd.

## 2.7 Samenvatting

In deze slotparagraaf wordt een kort overzicht gegeven van de in Hoofdstuk 2 besproken factoren, waarmee de variaties in vorm en afmeting van het menselijk lichaam samenhangen. Het geschatte belang van diverse factoren wordt in Tabel 2.21 globaal weergegeven.

- 1 De factor '*leeftijd*' heeft zoveel invloed, dat antropometrische data afhankelijk van de leeftijd (soms van de lichaamslengte of een andere relevante maat) gepresenteerd dienen te worden. De vijf genoemde globale leeftijdsgroeperingen van embryo tot oudere kunnen daarbij gebruikt worden (2.2).
- 2 De factor '*geslacht*' (2.3) heeft tot gevolg dat er 2 klassen ontstaan: m en v, waarvoor gegevens gepresenteerd dienen te worden. De klasse m+v in elke mogelijke verhouding volgt uit berekening (zie Hoofdstuk 5).
- 3 De factor '*etniciteit*' (2.4) kan tot gevolg hebben dat per (sub-) populatie de data apart gepresenteerd moeten worden.
- 4 De factor '*lichaamsbouw*' (2.5) moet als totaalvorm zwaar wegen, zodat correctiefactoren gewenst zijn (per activiteiten groep, beroep of sport) voor enkele figuurtypen.
- 5 De factor '*voeding*' (2.6.1) heeft een nauwelijks voorspelbare invloed op antropometrische data en is voor het ontwerpen niet direct relevant, mede omdat gewicht en lichaamsbouw wel in ogenschouw worden genomen.
- 6 De factor '*seculaire groeiverschuiving*' (2.6.2) oefent op het gebruik van een produkt met een korte levensduur geen invloed uit, mits recente antropometrische data zijn gebruikt. Voor produkten met een lange levensduur zou een voorspellingstheorie wenselijk zijn. De ontwerper dient er rekening mee te houden in geval van een groep die uit verschillende generaties bestaat.
- 7 De '*sociaal-economische*' factor (SES), te meten via inkomen, opleiding en beroep (2.6.3), vertoont enige invloed, die met een correctiefactor zou kunnen worden aangegeven.
- 8 De factor '*kleding en uitrusting*' (2.6.4) is van groot belang, maar verdient nader onderzoek, zodat betere correctiefactoren opgesteld kunnen worden. Denk bijvoorbeeld aan invloed van schoenen op het bedienen van pedalen, van hakken op kijkhoogte, van valhelm op blikveld.
- 9 De factoren '*omgeving*' (klimaat en regio in 2.6.5) kan samenhangen met de bevolkingsgroep, met '*etniciteit*' en leidt soms tot antropometrisch onderscheiden data.
- 10 De factor '*lateraliteit*' (2.6.6) heeft blijkbaar weinig invloed op vorm en afmeting van de mens, maar wel op het functioneren en stelt dus wel eisen aan de wijze van bediening van het produkt (bijvoorbeeld links- en rechtshandigheid ten aanzien van het bedienen van een schaar).
- 11 De factor '*etmaalsritme*' (2.6.7) is voor het produktontwerpen matig relevant, behalve om tot een richtlijn in algemene zin te komen: rekening houden met inzakking van enkele centimeters. Bijvoorbeeld bij een achteruitkijkspiegel in de auto.

12 De factor 'ziekte' (2.6.8) oefent invloed uit wegens de lichamelijke beperking welke per geval nog nader gespecificeerd dient te worden. Dit geldt vooral voor de doelgroep mensen met een handicap, welke echter wegens grote inter- en ook intra-individuele variantie zich momenteel weinig leent tot een groepsbenadering. Dit leidt tot een geïndividualiseerde ontwerpaanpassing, tenzij nader onderzoek uitwijst dat er wel modules voor bepaalde groepen te definiëren zijn.

13+14 De factoren 'genen en hormonen' (2.6.9 en 2.6.10) oefenen hun invloed uit via eerdergenoemde factoren en hoeven daarom niet apart in rekening te worden gebracht.

15 De factor 'houding' (2.6.11) heeft een zo grote invloed dat of per gewenste houding gemeten moet worden (functionele metingen), of via statische maten een functioneel antropometrisch model gebruikt dient te kunnen worden.

Na deze algemene verkenning van de wetenschappelijke bevindingen in de antropometrie, auxologie en fysische anthropologie, aangaande de invarianten en verscheidenheid van menselijke, vooral uiterlijke, lichaamsvormen, kunnen we de eerste stap maken naar de systematische toepassing van die bevindingen op de ontwerpprocessen, die beogen te resulteren in nuttige, aangepaste gebruiksvoorwerpen.

nr.	aspect/factor	samenhang met maat en vorm van lichaam	toelichting	voor ontwerpen van belang	paragraaf
1	leeftijd	++		ja	2.2
2	geslacht	++		ja	2.3
3	etniciteit	+		ja	2.4
4	lichaamsbouw	++		ja	2.5
5	voeding	+/-	onvoorspelbaar *	zelden	2.6.1
6	seculaire veranderingen	+	bij produktontwerpen met grote levensduur	ja	2.6.2
7	socioeconomie	+/-		zelden	2.6.3
8	kleding/schoeisel	+		ja	2.6.4
9	omgeving	+/-	werkt via etniciteit *	neen	2.6.5
10	lateraliteit	-	werkt via etniciteit *	soms	2.6.6
11	etmaalsritme	-	voor meeste toepassingen overbodig *	zelden	2.6.7
12	ziekte/handicap	++	meer onderzoek nodig, vooral per beperking	ja	2.6.8
13	genen	+++	werkt via lichaamsbouw *	neen	2.6.9
14	hormonen	+++	werkt via lichaamsbouw *	neen	2.6.10
15	houding	+++		ja	2.6.11

Tabel 2.21: Het geschatte belang van antropometrische aspecten en factoren bij het ontwerpen en beoordelen van produkten.

+++ = zeer veel

++ = veel

+ = matig

+/- = enigszins

- = nauwelijks

\* = werkt via andere factoren





# 3 Antropometrische produktmodellen

## 3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk legt een relatie tussen de menskundige aspecten en het produktontwerpen of -beoordelen.

Om gegevensbestanden van menselijke afmetingen en richtlijnen voor produktafmetingen overzichtelijk weer te geven, worden de begrippen 'mensmodellen' en 'produktmodellen' ingevoerd.

Een model is in het algemeen een bepalende, overzichtelijke abstractie van een gevarieerde werkelijkheid, waarin slechts bepaalde elementen, facetten, functies of relaties van een bestaande verzameling worden weergegeven.

Anders gezegd, een model is een doelgerichte systematische beperking. De Greene (1980, pag. 6) formuleert dit zeer bondig:

*'Models frame data into meaningful interrelationships and define new data requirements.'*

Onder een 'antropometrisch model' of 'mens 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 '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).

Samen vormen een 'antropometrisch-model' en een bijbehorend 'produkt-model' een 'antropometrisch produkt model' (AP-model). Op belangrijke plaatsen in het antropometrisch ontwerpproces (zie Hoofdstuk 1) is het gebruik van een antropometrisch 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, in sommige gevallen vanwege de aanwezigheid van data over krachten in een A-model;
- bij het testen van het prototype of definitieve produkt.

In het ontstaansproces en het gebruik vindt er een toenemende specificatie van vorm, materiaal, werking en gebruikswijze plaats.

Het doel van een antropometrisch 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 het aspect menselijke maat binnen het kader van belangrijke aspecten van een bepaalde mens-produkt interactie.

### 3.1.1 Het antropometrisch ontwerpproces

Dit is een proces, waarin het meer algemene ontwerpproces wordt beperkt tot het aspect antropometrie en dat neerkomt op het kiezen, maken en gebruiken van de A-, P- en AP-modellen (Figuur 3.1).

De antropometrische modellen, zoals manikins, computermodellen en proefpersonen (zie Paragraaf 3.2 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, van de gebruiker en de interactie daartussen. Dit zou men het AP-model-o kunnen noemen. Analoot 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).

*Voorbeeld:* 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	bil-knieholte diepte
zitting breedte	heup breedte
zitting hoogte	popliteale hoogte
rugleuning hoogte	acromion hoogte
armsteun hoogte	elleboog-zitvlak hoogte



De marges tussen elk tweemaal overeenkomstige maten zijn experimenteel bepaald of te bepalen. De zittingbreedte voor spastische kinderen met een elektrische rolstoel zal nauwer moeten aansluiten aan de heupbreedte, maar voor een handaangedreven rolstoel zal een zekere speling comfortabel zijn (Henze en Staarink, 1989; Steenbekkers en Molenbroek, 1990; Sieuwertsen en Molenbroek, 1990).

Het zich ontwikkelende AP-model kenmerkt zich verder doordat het A-model een selectie van maten is op basis van de Mens-Produkt-Interactie. 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:

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

Voor een werkvlak bij staand werk, waarbij precies te werk gegaan moet worden, geldt bijvoorbeeld dat:

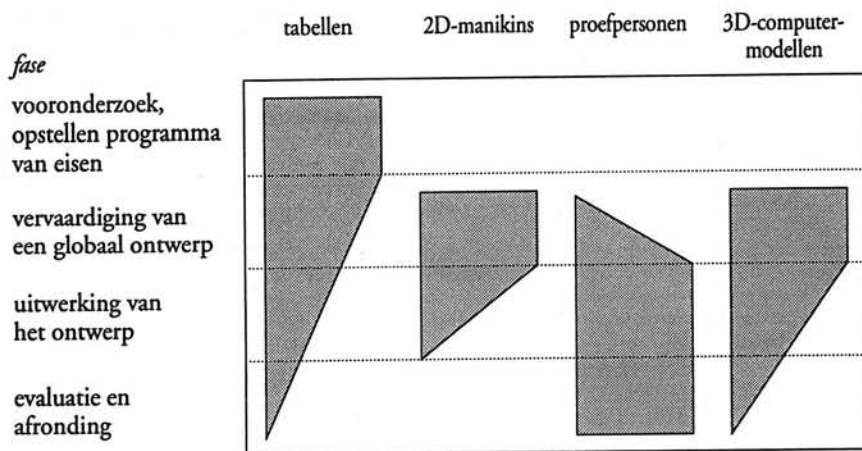
AM = de ellebooghoogte staand;

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 3.2. (zie ook Figuur 1.5 op blz. 18).



Figuur 3.2: Fasering in de A-modellen (naar Lombaers et al. 1985); is gelijk aan top van Figuur 1.5.

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 de resultaten van Hoofdstuk 2 worden gebruikt, met name Tabel 2.21 (op blz. 109).

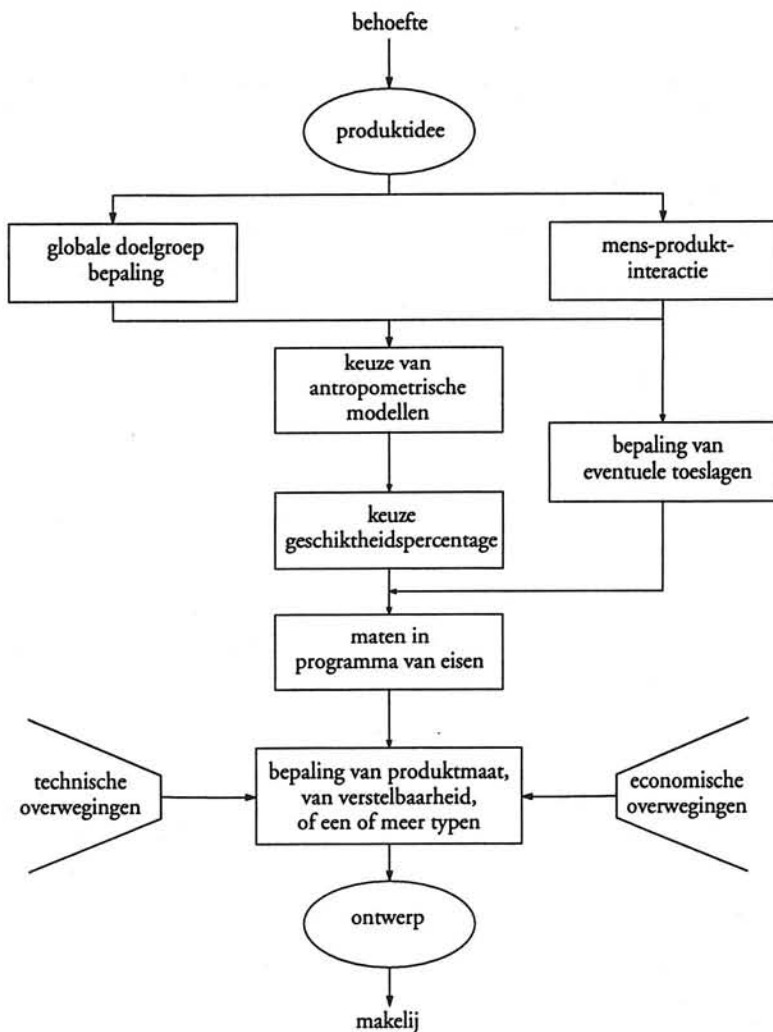
- 1 Het beschrijven van de demografische kenmerken van de groep van bedoelde, deels onbekende gebruikers: aantallen per sexe, leeftijdsklasse en etniciteit, zonodig aangevuld met sociaal-economische omstandigheden en eventuele ziekten of handicaps.
- 2 Het beschrijven en/of schetsen van de Mens-Produkt-Interactie, vooral de lichaamshoudingen (en bij benadering quasi-statisch dus ook beweging), waarbij de functie van het produkt vervuld moet worden.
- 3 Het beschrijven van de relevante mensmaten en de kritische waarden daarbij; de antropometrisch ontwerper dient hierbij ergonomisch inzicht te gebruiken voor het beargumenteerd uitsluiten van populatiedelen, voor het kiezen van één of meer percentielwaarden en voor het kiezen tussen, hetzij het vervaardigen van verscheidene typen van een produkt met een maatverschil (brillen, helmen, schoenen enz.), hetzij het vervaardigen van een in- of versteltraject (de zittinghoogte van een kantoorstool).
- 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 3.3 weergegeven.

### 3.1.2 Validiteit van modellen

Voor een model is validiteit een praktische aanduiding van de kwaliteit van uitspraken op basis van de data van het model. Uit de literatuur (De Groot, 1968; Drenth, 1980; Sanders en McCormick, 1987; Meister, 1989 en Kanis, 1987, 1993, 1994a, 1994b) blijkt dat er talrijke vormen van validiteit beschreven zijn: face-, predictive-, concept-, construct-, concurrent-, content validity etc. Wendel (1989) maakte een overzicht van deze literatuur en illustreerde de verschillen tussen de technische en sociale wetenschappen.

Voor promotie-doeleinden wordt ergonomie weleens misbruikt. Dit veroorzaakt ten onrechte de indruk dat het betreffende produktontwerp ergonomisch, maar vooral antropometrisch verantwoord is. De validiteit van de promotie-boodschap is dan veelal niet bewezen. Met name bij overstap van het ene A- model naar het andere is het zinvol inzicht in de mate van validiteit van desbetreffende modellen te hebben (bijvoorbeeld bij de overgang van tabel naar sjabloon).

Hierna zullen drie vormen beschreven worden ten aanzien van de A-, P- en AP-modellen: predictive- (voorspellende), concept- (begrips) en face (indrucks) validity.



*Figuur 3.3: Het proces van een antropometrische richtlijn.*

### Validiteit van een A-model

*Voorspellende validiteit.* De mate waarin de verzameling van de door de ontwerper gekozen antropometrische data een juiste voorspellende weergave geeft van de fysieke kenmerken van de bedoelde gebruikerspopulatie, voor zover relevant voor de beoogde Mens-Produkt-Interactie. Een maat hierbij is het 'betrouwbaarheidsinterval', dat men voor een gemiddelde waarde of een standaarddeviatie van een menselijke maat van een populatie kan aangeven, geschat op basis van steekproefgegevens. De ideale situatie is dat de doelpopulatie, waarvoor ontworpen wordt overeenkomt met de populatie waaruit een representatieve steekproef data of modellen heeft geleverd. Die komt echter zelden voor, waardoor er grote behoefte is aan schattingsmethoden, waarmee uit

gemakkelijk te meten voorspellers (zoals de lichaamslengte), de gewenste lichaamsmaten geschat kunnen worden (Barkla, 1961; Pheasant, 1982 en Molenbroek en Dirken, 1986) (Hoofdstuk 5).

*Begripsvaliditeit.* In hoeverre is de verzameling van de gekozen antropometrische data een juiste neerslag voor één of meer opvattingen en theoretische begrippen over de variatie van lichaamsvormen en houdingen en -bewegingen. Een criterium hierbij is de 'representativiteit': In hoeverre zijn de steekproefdata bruikbaar voor uitspraken over de doelpopulatie. Nederlandse militaire data zijn bijvoorbeeld onbruikbaar voor het ontwerp van schoolmeubilair voor Nederlandse kinderen.

De representativiteit hangt onder meer af van:

- de mate waarin de steekproef a-select getrokken is uit de doelpopulatie;
- de mate van overeenstemming tussen steekproef en populatie in de variatie-factoren (uit Hoofdstuk 2) leeftijd, geslacht, lichaamsbouw, etniciteit enz.

*Indruksvaliditeit.* In hoeverre is de verzameling van gekozen antropometrische data een herkenbare weergave van de lichaamsvormen, -houdingen en -bewegingen van de gebruikerspopulatie of één of meer representanten daaruit.

#### **Validiteit van een P-model**

*Voorspellende validiteit.* In hoeverre is een ideeschets, 'spuugmodel' (van papier of schuim snel en globaal gemaakt 3D-schaalmodel) of een mock-up (1:1 3D-vormmodel) of een prototype (gedetailleerd vorm- en werkend model) een voor de vraagstelling relevante, voorspellende verzameling van fysische kenmerken, die overeenkomen met het toekomstige gereede produkt.

*Begripsvaliditeit.* In hoeverre is een ideeschets, etc. een functioneel adequaat hulpmiddel voor het ontwerpen van de beoogde verbetering, toespitsing, vergemakkelijking enz. van het beoogde menselijk handelen met dat produkt.

*Indruksvaliditeit.* In hoeverre is een ideeschets, etc. een voor de beoogde gebruikers, opdrachtgevers en andere ontwerpers herkenbare weergave van de aard en bijzonderheden van het gereede produkt.

#### **Validiteit van AP-modellen**

Dit komt neer op een combinatie van A- en P-validiteiten met de nadruk op mens-product interactie. Bijvoorbeeld: een computermanikin staat in een reikhouding om een denkbeeldig voorwerp te pakken, dat op een denkbeeldig keukenkastje staat; dan is een conclusie over de bereikbaarheid onder meer afhankelijk van de aannamen in het manikin, in de wijze van reiken en in de weergave van het voorwerp.

### **3.1.3 Meetbetrouwbaarheid**

In de literatuur blijkt dat weinig onderzoekers in de antropometrie aangeven hoe groot de betrouwbaarheid en validiteit van hun resultaten zijn. Cameron (1984) vermeldt dat 17% in algemene termen spreekt over 'reliability', (hiermee bedoelt hij waarschijnlijk zowel 'betrouwbaarheidsintervallen' als 'validiteit'), en dat minder dan 12% statistische

grootheden noemt. Voor het vergelijken van antropometrische data is het echter onontbeerlijk te weten in hoeverre de meetresultaten constant zijn door de tijd heen of bij vergelijking van, min of meer gelijktijdige, parallelmetingen overeenkomen. Er is ook verwarring over de terminologie: begrippen als 'reliability', 'accuracy', 'precision' en 'reproducibility' worden door elkaar gebruikt.

Men zou de betrouwbaarheid (conform Cameron) kunnen onderscheiden in reproduceerbaarheid (repeatability) en in ontbreken van vertekening (bias).

Het verschil is volgens hem met een voorbeeld duidelijk te maken. Stel drie waarnemers A, B en C meten elk 20 keer een fantoom van 150,0 cm lengte. De resultaten zijn, bij aanname van normale verdeling, als gemiddelde waarde en (standaard deviatie):

A 150,0 (0,1)

B 150,0 (0,2)

C 150,5 (0,1)

Dan blijkt dat A en C dezelfde reproduceerbaarheid hebben (uitgedrukt in de standaarddeviatie) en dat C een vertekening (bias) vertoont in de gemiddelde waarde ten opzichte van A en B. Hieruit blijkt ook dat de 'echte' lengte van het fantoom nooit bekend wordt. Deze is alleen te benaderen met de gemiddelde waarde van de herhaalde meting. Cameron vermeldt overigens in zijn voorbeeld 3 decimalen bij de standaard deviatie, hetgeen gezien het onderwerp niet valide lijkt, omdat de  $\bar{x}$  slechts 1 decimaal heeft.

Als men een 'echte' proefpersoon of een steekproef meet, kan zelfs de beste 'meter' de lichaamslengte niet nauwkeuriger bepalen, dan met een variatie van + of - 3 mm. Bij andere maten is deze variatie vaak nog groter (Hoofdstuk 5). De vastgestelde afmetingen van een P-model zullen bij herhaalde metingen evenzo een variatie vertonen. Ten dele wordt deze variatie veroorzaakt door fouten in het meetinstrument en ten dele door fouten van de waarnemer. Daarom kan men bij zowel een A-model als een P-model spreken van inter- en intra-waarnemer-meebtrouwbaarheid. Beiden zijn te kwantificeren door of de standaarddeviatie of door de correlatie-coëfficiënt van de herhaalde reeks metingen te bepalen (Cameron, 1984). De correlatie-coëfficiënt dient bij voorkeur groter dan 0,9 te zijn. Ook is de 'maatvastheid' van een P-model slechts betrekkelijk; dit blijkt bijvoorbeeld bij het meten van een stoel met bekleding en daarop zittend een persoon.

*Intra-waarnemer meebtrouwbaarheid.* In hoeverre is de gemeten waarde reproduceerbaar als dit door dezelfde waarnemer gebeurt; bijvoorbeeld binnen enkele minuten en bij dezelfde proefpersonen.

*Inter-waarnemer meebtrouwbaarheid.* In hoeverre is de gemeten waarde reproduceerbaar, als dit door verschillende waarnemers gebeurt bij dezelfde proefpersonen. De maatregelen, die men kan nemen om de meetfouten te beperken, worden besproken in Hoofdstuk 6, Het meetproces.

*Meebtrouwbaarheid van een AP-model.* De meebtrouwbaarheid van de Mens-Produkt-Interactie kan als combinatie van beide voorafgaande delen beschouwd worden



en is als zodanig aan meer variatie onderhevig. Verder kan en zal de ontwerper ook nog tijdens het ontwerpproces van gedachte veranderen; de criteria of de accenten kunnen verschuiven.

*Meetbetrouwbaarheid en validiteit.* Het raakvlak tussen deze beide begrippen wordt nauwelijks in de literatuur beschreven. Kanis (1993) pleit voor het vermijden van de term betrouwbaarheid en praat liever van reproduceerbaarheid en validiteit. In verband met het gebruik van het begrip 'confidence-limits' in de engelse literatuur is 'betrouwbaarheidsinterval' wel eventueel geoorloofd volgens hem. Het begrip reproduceerbaarheid is echter minder adequaat in gevallen van split-half reliability. Daarbij toetst men de gelijkblijvendheid van het meetinstrument door na te gaan of een willekeurige tweedeling van een groot aantal metingen een gelijke vertonen.

Terwijl meetbetrouwbaarheid iets zegt of en in welke mate de waarden van de te beschouwen grootheden constant moeten blijven, zegt de validiteit iets over de uitspraken die op basis van de grootheden gedaan kunnen worden. Als meetbetrouwbaarheid met kwantiteit vergeleken wordt is de validiteit vergelijkbaar met de kwaliteit van een grootheid.

### 3.1.4 Operationaliteit

Operationaliteit overkoepelt alle termen die met de verkrijgbaarheid van valide en betrouwbare data te maken hebben, zoals: kosten, tijdsduur, beschikbaarheid, vereiste kennis en vaardigheden en nauwkeurigheid.

#### Kosten

De kosten van A- en P-modellen zijn te onderscheiden in:

- een éénmalige investering voor de aanschaf van het A- model (bijvoorbeeld een tekensjabloon of de soft- en hardware voor een computerprogramma);
- een éénmalige investering voor de aanschaf van elk nieuw P-model (bijvoorbeeld plaatmateriaal voor een mock-up);
- de variabele kosten binnen de ontwikkeling van een P-model.

Als voorbeeld van een relatief dure mock-up kan de 1:1 mock-up van de gehele 'Walrus' onderzeeër genoemd worden, die in de jaren '70-'80 in de orde van enkele miljoenen guldens kostte (IZF-TNO).

#### Tijdsduur

De benodigde tijdsduur van het maken, zoeken, veranderen vooraf en het gebruiken, berekenen of interpreteren erna, hangt samen met het soort A- of P-model en varieert van enkele minuten bij een tabel en maatschets tot enkele maanden bij het voorbeeld van de genoemde onderzeeër.

#### Beschikbaarheid

De beschikbaarheid van een A- of P-model hangt in de ontwerppraktijk af van de prijs en van de aard van het bedrijf. Een houtverwerkend bedrijf zal eenvoudiger een

mock-up kunnen maken dan een software bedrijf; de laatst genoemde zal daarentegen sneller een computermodel gebruiken.

### **Kennis en vaardigheid**

Benodigde voorkennis en vaardigheid op het gebied van één van de soorten A- en P-modellen kunnen een drempel vormen voor aanstaande gebruikers. Verder kunnen leemten in de kennis bij gebruikers tot verkeerde conclusies aanleiding geven. Het ideale A- en P-model vergt nauwelijks voorkennis en vaardigheid en geeft de beperkingen aan van de mogelijke conclusies.

Mogelijke kennisgebieden en vaardigheden voor het gebruik van A-modellen zijn: statistiek, functionele anatomie en computer aided design; selectietechnieken van proefpersonen en antropometrische meettechnieken.

Mogelijke vaardigheden voor het gebruik van P-modellen zijn: schetstechnieken van de mens-produkt interactie (hoe precies wordt een produkt vastgepakt bijvoorbeeld), ambachtelijke vervaardigingstechnieken.

### **Nauwkeurigheid**

De gedachte is natuurlijk dat een antropometrisch produktontwerp niet nauwkeuriger hoeft te zijn dan strikt nodig is. Bij vrachtwagencabines, meubilair, brillen en endoprothesen zou dit wellicht en respectievelijk 10 cm, 1 cm, 1 mm en 0,1 mm kunnen zijn. Bij vrachtwagencabines zou men bijvoorbeeld kunnen volstaat met het aangeven van zones met een zekere breedte van ongeveer 10 cm, waarbinnen de ontwerper vrijheid van handelen heeft, omdat buiten die zone pas sprake is van ergonomisch onverantwoorde houdingen. Relevante uitgangspunten (in feite 3D-gebieden) voor een antropometrisch ontwerp van een cabine zijn: het oogpunt (design eye point), vooral voor cockpit-ontwerp; het hielpunt (design heel point) vooral voor auto-cabine's en het heuppunt (design hip point c.q. seat reference point) in het algemeen.

### **Risico's**

Welk risico loopt men als men een A- en P-model niet of onjuist gebruikt of onjuist kiest?

- Er is het risico van inferieure kwaliteit van het ontwerp, voor de gebruiker merkbaar in het nut en gemak en wellicht het onnodig verkleinen van de gebruikersgroep e.d.; hetgeen ook afhankelijk is van de kans op een verkeerde mens-produkt-interactie en in hoeverre deze de kwaliteit van het produkt bepaalt.
- Er is het economisch risico, dat het produkt niet verkocht wordt of dat men te duur uit is aan materiaal. Bijvoorbeeld, als men een type produkt ontwikkelt of een versteltraject inbouwt, waarvoor geen gebruikers bestaan qua lichaamsafmeting, dan levert dat onnodige onkosten op.
- Er is het risico van een lichamelijk letsel (bijvoorbeeld bij te klein gekozen afstanden tussen bewegende delen).
- Er is een scala van minder ingrijpende, maar wel hinderlijke risico's van discomfort (een stoel die zeer hoog is, een computer-tomograaf (=CT-scanner) die nogal smal is, een knop die te hoog of te laag zit etc.), verkoopbaarheid en aantrekkelijkheid.

- Er zijn drie soorten van veel voorkomend verkeerd gebruik:
- De ontwerper/beoordelaar gebruikt zijn eigen lichaam als standaard en sluit daarmee bijna iedereen uit die qua maat en vorm aan hem ongelijk zijn. Dit wordt ook wel het ego-type van ontwerpen genoemd (Dirken, 1993).
- De ontwerper/beoordelaar gebruikt de gemiddelde waarde als richtlijn. In Hertzberg (1960) wordt geïllustreerd dat binnen een steekproef van 4063 mensen niemand voldeed aan de eis dat van tien lichaamsafmetingen de gemiddelde waarde binnen een 15 %-marge aan beide zijden rondom het steekproefgemiddelde moest liggen. Er is dus geen sprake van een gemiddelde mens als er met een aantal maten tegelijk rekening moet worden gehouden.
- De ontwerper/beoordelaar gebruikt met een zeker automatisme de percentielwaarden P<sub>5</sub> en P<sub>95</sub> als standaard grenzen van de populatie, terwijl daarmee vaak onnodig 10% wordt uitgesloten.  
Het 'sec' toepassen van P<sub>5</sub> en P<sub>95</sub> wordt recentelijk wel 'het P<sub>5</sub>-syndroom' genoemd, naar het gemak waarmee men dan 5 tot 10% van de gebruikers uitsluit. Men dient echter te beseffen dat het gebruik van P<sub>5</sub>-P<sub>95</sub> het predicaat 'redelijk goed gebruik' van ergonomische data verdient en in ieder geval beter is dan 'vroegere' soorten verkeerd gebruik zoals ontwerpen voor alleen het gemiddelde of alleen voor het ego-type.

### 3.1.5 Conclusie

Een AP-model is het resultaat van een interactie, aanvankelijk in het brein van de ontwerper, tussen een A- model en een P-model en daarna, meestal gedocumenteerd en gevisualiseerd, als een voortschrijdende verbijzondering en verantwoording. Een AP-model is gericht op een goede kwaliteit en bruikbaarheid van het produkt, maar beperkt zich tot het aspect menselijke maat.

## 3.2 Antropometrische modellen

### 3.2.1 Inleiding

Een nadere bestudering van A-modellen maakt duidelijk dat velerlei factoren een rol spelen bij het kiezen, maken en gebruiken ervan.

Een globale indeling van de soorten A-modellen, met ter verduidelijking een soort P-model, dat in de overeenkomstige ontwerpfase veelal ervan het complement vormt, om tot een AP-model te integreren, geeft het volgende beeld:

Antropometrisch model	Produktmodel
1 tabel	schets
2 2D-manikin	technische tekening
3 3D-(computer)model	3D-(computer)model
4 proefperso(n)en	mock-up

In dit hoofdstuk wordt enig overzicht gegeven van de A- en P-modellen die in omloop zijn, met daarbij een kritische beschouwing over de bruikbaarheid van elk voor het ontwerpen.

### 3.2.2 Tabellen

Tabellen met antropometrische gegevens vormen te zamen met een schets een veel voorkomend antropometrisch produktmodel in de ergonomie.

Met behulp van dit model kan men op eenvoudige wijze antropometrische onderzoekresultaten maatgevend toepassen in het ontwerp. Indien een P-model eraan voorafgaat, wordt van de gebruiker van die tabellen verwacht dat hij/zij een afgebeeld produkt ergonomisch ermee kan beoordelen.

Een voorbeeld hiervan is het bepalen van de afmetingen van een handgreep. Na het tekenen van een globale schets van de combinatie hand/handgreep, kan de ontwerper vaststellen wat de meest relevante maat is. In dit voorbeeld: de handbreedte en de binnengreepdiameter van de hand.

Als verder bekend is dat de doelgroep bijvoorbeeld vrouwen van 20-60 jaar in Duitsland betreft, dan kan hiervoor de DIN33402 (1981) worden gebruikt.

Het ergonomisch beoordelen en ontwerpen bestaat dan uit het analyseren van de spreiding in de mensmaat en het bepalen van een instelvariatie of het afwegen of er één of meer produkttypen dienen te komen. Dat leidt tot de vraag: is er een produktmaat, eventueel met instelvariatie, te bepalen die zowel comfortabel is voor de kleinste als voor de grootste en voor alle waarden van de mensmaat daar tussen in? Is het antwoord hierop negatief, dan dient te worden bepaald hoeveel produkttypen nodig zijn om de spreidingsbreedte in de relevante mensmaat te dekken. Voor de handbreedte, die volgens de DINED-tabel (Bijlage 2.6) varieert van  $P_{10} = 9,9$  cm tot  $P_{99} = 12,3$  cm, is voor de bovengenoemde handgreep deze keuze geen probleem: 12,5 cm blijkt een goede richtlijn voor de volwassenen. De handgreepdiameter kan op dezelfde wijze geanalyseerd worden.

In een antropometrische tabel worden veelal enkele van de volgende elementen opgenomen:

- enkele kenmerken van de, al dan niet aangenomen normale, verdeling zoals:  $\bar{x}$ ,  $s$ ,  $P_5$  en  $P_{95}$  (of andere percentielwaarden) en  $n$ ;
- de factoren van Hoofdstuk 2.2 zoals: geslacht, leeftijd, houding, etniciteit (Nederlands bijv.), en soms beroep en kleding;

- een lijst met definities c.q. meetwijze van de variabelen en overeenkomstige afbeeldingen.

Qua definitie verschillen de antropometrische variabelen nogal eens. De achtergrond hiervan hangt samen met de diverse 'scholen' in de antropometrie, die historisch gegroeid zijn en in Paragraaf 6.2 en 6.3 zullen worden behandeld. In dit hoofdstuk beperken we ons tot de constatering hoe daarmee om te gaan.

De toonaangevende bronnen op dit gebied zijn het handboek van Martin (1925), of de heruitgave en bewerking daarvan van Saller (1957), het *Anthropometric Source Book* van de NASA (ARP, 1978), DIN33402 (1981), het 'Handbuch der Ergonomie' van Schmidtke en Jürgens (1975), het *Measurer's Handbook* van de ARP (1988) en ISO/DIS7250 (1980). De laatste norm is onlangs voor Nederland vervangen door NEN-EN979 (1993), maar ze lijken erg op elkaar.

Enkele variaties op de tabelvorm zijn:

- draaischijven zoals de negen *Humanscales* van de Dreyfuss Association (Diffrient, 1974-1981); met overigens waarden van soms dubieuze herkomst.
- schuiftabellen, zoals de *Ergoschuif* van Stichting Werkplek Verbetering (De Jong et al., 1982);
- grafieken en diagrammen, zoals de *Nederlandse Groeidiagrammen* (Van Wieringen, 1972; of Roede en Van Wieringen, 1985);
- interactieve gecomputeriseerde databases, zoals *Ergodata* in Parijs (Ergodata, 1989) en *Ergobase* (Reischl, 1989).

Een overzicht van ergonomische databases staat in Pelsma (1987).

Een speciale, nog niet besproken tabel is de correlatietabel. Deze is onmisbaar bij het berekenen van samengestelde maten en bij het bepalen van het percentage van de gebruikerspopulatie, indien de maataanpassing gelijktijdig op meer dan één dimensie geschiedt (Hoofdstuk 4). Een correlatietabel wordt echter slechts zelden gepubliceerd en is afhankelijk van het doel dat men met de referentiegegevens beoogt.

Voorbeelden van onderzoeken, waarbij de correlatietabellen niet gepubliceerd zijn: Lengte en gewicht- onderzoek (Roede en Van Wieringen, 1985); DIN33402 (1981).

Voorbeelden van onderzoeken, waarbij de correlatietabellen wél gepubliceerd zijn, staan in 'Intercorrelations' (Churchill et al. 1978); *Bejaardenantropometrie* (Molenbroek et al., 1983); het KIMA-onderzoek van Steenbekkers (1993).

### Overzicht van de belangrijkste huidige tabellen

In Bijlage 3.1 staat voor elke tabel vermeld hoeveel variabelen, aantallen proefpersonen etc. weergegeven worden.

1 *De Juiste Maat*. Sittig en Freudenthal organiseerden in 1947 een onderzoek, waarbij bij 5000 vrouwen tussen 18 en 82 jaar 15 lichaamsmaten werden gemeten. De vrouwen kwamen als klant een groot warenhuis bezoeken.

Dit onderzoek had voor de confectie-industrie van grote betekenis kunnen zijn.

Het doel was namelijk het tot dan toe (en ook tot nu toe) gebruikte ééndimensionale maatsysteem te vervangen door een systeem dat economisch het meest rendabel zou zijn voor de samenleving. Destijds waren de verstellkosten nog voor rekening van de zaak. Sittig en Freudenthal (1951) toonden aan dat een tweedimensionaal systeem, met 'ruglengte' en 'tailleomvang' als voorspellers, veel beter en voldoende nauwkeurig was gezien de toepassing.

2, 3, 4 *De Nederlandse Groeidiagrammen*. De Nederlandse groeidiagrammen voor kinderen verschenen voor het eerst in 1960 naar aanleiding van metingen uit 1955 (De Wijn en de Haas, 1960). Daarna verschenen ze weer in 1968 met metingen uit 1965 (Van Wieringen et al., 1968) en in 1985 met meetresultaten uit 1980 (Roede en Van Wieringen, 1985).

Het doel is steeds geweest referentiewaarden te bieden aan degenen die de groei van een kind willen beoordelen, zoals consultatiebureau-artsen, schoolartsen, kinderartsen, huisartsen, keuringsartsen en endocrinologen. Doch ook ontwerpers en produktbeoordelaars kunnen deze referentiewaarden goed gebruiken. Als voorbeeld kan gelden dat een ontwerper een buitenlandse tabel over afmetingen van lichaamssegmenten wil gebruiken. De eerste toetsing zal dan zijn of de totale lichaamslengte en het lichaamsgewicht vergeleken kunnen worden. Voorbeelden van dit type gebruik zijn De Rijke (1985), Molenbroek en Dirken (1986), Koopman (1987). De steekproeven, waarop de groeidiagrammen zijn gebaseerd, zijn steeds landelijk representatief en zeer groot (40.000 kinderen).

5 *Humanscales*. Bekende ergonomische databronnen met een op het eerste gezicht goede user-interface worden gevormd door deze Humanscales. Er is nauwelijks voorkennis vereist om de draaischijven te kunnen gebruiken, die per onderwerp ingedeeld zijn.

Problemen komen echter op, als men gaat zoeken naar relaties met de achterliggende bronnen en als men gaat vergelijken. Het is echter onbekend hoe de genoemde (veelal Amerikaanse) bronnen zijn bewerkt tot de getoonde data op de Humanscales. De drie sets van drie Humanscales zijn ontworpen en worden uitgegeven door het ontwerp bureau Henry Dreyfuss Associates te New York (Diffrient 1974-1981).

De negen verschillende draaischijven zijn:

- |    |                         |    |                  |
|----|-------------------------|----|------------------|
| 1a | body measurements       | 6a | head and vision  |
| 1b | link measurements       | 6b | hands and feet   |
| 2a | seating guide           | 7a | standing at work |
| 2b | seat/table guide        | 7b | sitting at work  |
| 3a | wheelchair users        | 8a | space planning   |
| 3b | handicapped and elderly | 8b | public space     |
| 4a | human strength          | 9a | body access      |
| 4b | safety                  | 9b | light and color  |
| 5a | hand and foot controls  |    |                  |
| 5b | displays                |    |                  |

Een revisie van de gegevens op deze draaischijven is recentelijk verschenen in boekvorm (Tilley, 1993).

6 en 7 Snyder (1975) en Snyder (1977). In de Verenigde Staten is er door het Highway Safety Research Institute in de periode van 1972 tot 1975 op grote schaal een tweetal antropometrische onderzoeken uitgevoerd. De opdrachtgever was de Consumer Product Safety Commission. In Snyder (1975) wordt gerapporteerd dat er 4000 kinderen in de leeftijd van 2 weken tot 13 jaar zijn gemeten. Het aantal lichaamsafmetingen was 41.

Snyder rapporteert in 1977 (Snyder, 1977) een uitbreiding van het eerste onderzoek. Er werden toen bij nog eens 4100 andere kinderen van 2 weken tot 18 jaar 87 lichaamsafmetingen gemeten.

Deze 87 maten (verdeeld in 4 maatljsten, A, B, C en D) werden echter niet bij iedereen gemeten, maar voor ongeveer de helft. De maatljsten A,B,C en D waren onderling (naar schatting) hoog gecorreleerd, maar binnen de maten van zo'n maatlijst was een lage correlatie aanwezig.

Per proefpersoon werden de maten van groep A gemeten + de maten van of groep B, of C of D. Verder was nog opmerkelijk dat de meeste maten werden verkregen via geautomatiseerde instrumenten en de data ter plekke werden opgeslagen op tapes van de in een meetbus meegebrachte mini-computer.

8 *Het Anthropometric Source Book (Anthropology Research Project-ARP, 1978)*. Dit uit drie delen bestaande naslagwerk (vaak afgekort tot ASB) is al 10 jaar lang de meest omvangrijke databron in boekvorm betreffende volwassenen uit de gehele wereld.

Totaal worden er van 90 populaties (66 militaire en 24 civiele) diverse percentielwaarden weergegeven. Er zijn in totaal 195 variabelen goed gedefinieerd en geïllustreerd.

Volume 1 geeft een goede theoretische achtergrond.

Volume 2 vormt de databank met veel data, met slechts één onderzoek van Nederlandse origine, namelijk Sittig en Freudenthal (1951). Volume 3 bevat een uitgebreide bibliografie van antropometrisch onderzoek gedurende de laatste 50 jaar voorafgaand aan 1978.

9 *Het Nijmeegse Groeionderzoek*. Dit onderzoekproject liep van 1971 tot 1976 en had als doel informatie te verzamelen op longitudinale basis over de groei van Nederlandse kinderen van 4-14 jaar.

De steekproef bestond uit 467 kinderen, die elk, afhankelijk van de leeftijd, 2 tot 4 keer per jaar werden gemeten. Naast vele sociologische, psychologische, medische en orthodontische variabelen werden ook 15 antropometrische variabelen gemeten (Bijlage 3.1 en 4.1). Voor de industrieel ontwerper zitten hier diverse interessante maten bij.

De resultaten zijn gepubliceerd in de vorm van tabellen en grafieken, met differentiatie naar de volgende percentielwaarden: P<sub>3</sub>, 10, 25, 50, 75, 90 en 97 en naar geslacht en leeftijd per jaar (Roede, 1979). Deze resultaten zijn bijzonder wegens het longitudinale karakter van dit onderzoek en wegens de data over andere variabelen dan lengte en gewicht.

10 *MIRA*. Bij 2000 Britse chauffeurs van personenwagens (1584 mannen en 416 vrouwen) zijn 16 maten gemeten (Hasslegrave, 1980). De leeftijd lag tussen 17 en 86 jaar.

Voor ontwerpdoeleinden heeft dit onderzoek van de Motor Industry Research Association grote waarde, want op grond van een factoranalyse van de data wordt een aantal vormparameters gegenereerd onafhankelijk van lengte en gewicht. Deze parameters worden gebruikt als uitgangspunten bij de constructie van een serie driedimensionale testdummies voor de fabricage van autocabines (zie ook 2.5.3.5).

11 *DIN33402 (1978-1986)*. Beter bereikbaar voor de Nederlandse onderzoeker of ontwerper is deze Duitse norm. Deel 1 (1978) beschrijft de meetprocedures van 54 lichaamsmaten. Deel 2 (1981) geeft de resultaten van een voor Westduitsland representatieve steekproef met  $n = 7000$ . Deze is door medewerkers van het Institut für Industriethnologie in de periode 1968 - 1974 gemeten (Jürgens 1972, 1973, 1977, 1984 en Pieper 1977). Waardevol is de weergave naar leeftijd van 3 tot 65 jaar voor mannen en van 3-60 jaar voor vrouwen. De drie bijlagen geven een zinnvolle toelichting op het gebruik van antropometrische gegevens in functionele situaties en voor buitenlandse werknemers. Helaas zijn er geen gegevens opgenomen over het lichaamsgewicht, de standaarddeviatie van de variabelen, en over mensen boven de 65 jaar (voor kindermaten wordt verwezen naar DIN31001). Bij vergelijking met Nederland blijkt dat de 20-jarige Nederlandse man gemiddeld 6 cm groter is in lichaamslengte. De overige met de lichaamslengte gecorreleerde maten zullen daarom ook enigszins verschillen.

In de herziene uitgave van 1986 zijn de data niet essentieel gewijzigd voor zover ons bekend; Deel 2 geeft echter nu wel aanvullende maten voor allochtonen. Deel 3 (1984) geeft informatie over reik-enveloppen. Deel 4 (1986) geeft aanwijzingen voor het ontwerpen van doorgangen.

12 *Gdvv (Gemeentelijke Dienst Verpleging en Verzorging te Den Haag)*. Het antropometrisch onderzoek van Molenbroek et al. (1983) bij 822 bejaarden in Den Haag omvat 25 statische en functionele maten. De steekproef is niet landelijk representatief voor alle bejaarden, maar wel de enige in zijn soort in Nederland. De basisgegevens van dit project, zoals percentielwaarden P5 en P95, leeftijd en geslacht,  $\bar{x}$  s, staan in genoemde publicatie. De gemeten variabelen zijn enerzijds internationaal afgestemd op onderzoeken zoals ICE (1981), DIN33402 (1981) en BS4467 (1969) en anderzijds is een reeks functionele maten gedefinieerd. De reeks gemeten variabelen was bedoeld voor toepassingen door ontwerpers, inrichters en beoordelaars van meubilair en verblijfsruimten van ouderen. In Molenbroek (1987) zijn de vergelijkingen met hierboven genoemde bronnen nader uitgewerkt. Het nut van dit bestand is onder meer dat niet-gemeten variabelen vaak indirect berekend kunnen worden per individu en zodoende kunnen leiden tot aanvullende overzichten. In Hoofdstuk 4 wordt dit onderzoek tevens als één van de proefstudies gepresenteerd. In Hoofdstuk 5 zullen daarvan enkele voorbeelden worden gegeven.

13 *Kleine Ergonomische Datensammlung (Lange, 1985)*. De antropometrische tabel, die in dit zakboekje staat, is samengesteld aan de hand van DIN33402.



Het is echter een zeer beperkt uittreksel hiervan, door alleen per maat P<sub>5</sub>, P<sub>50</sub> en P<sub>90</sub> waarden te geven voor één leeftijdsgroep van 16 - 60 jaar. Samen met de DINED-tabel is het zakboekje echter een handig ergonomisch naslagwerk.

*14 De CBS gezondheids-enquête.* Door het Centraal Bureau voor de Statistiek wordt er jaarlijks vanaf 1981 onder ongeveer 10.000 Nederlanders een enquête uitgevoerd naar hun gezondheidstoestand (Appelboom, 1984; Sonsbeek, 1985; CBS, 1986). Bij de circa 150 vragen bevinden zich enkele die antropometrisch interessant zijn. Onder andere die vragen die de volgende variabelen betreffen: lichaamslengte, lichaamsgewicht, geslacht en enkele functiestoornissen.

Men zou bezwaren kunnen opperen tegen een schriftelijke enquête als meetinstrument van metrische variabelen. Deze bleken echter ongegrond bij vergelijking met de lichaamslengte van jongeren (Appelboom, 1984), die ook in het landelijk groeionderzoek in 1980 gemeten zijn (Roede en Van Wieringen, 1985). Voor mensen met meer extreme waarden van lengte en gewicht is dit vermoeden (zie ook Paragraaf 2.6.5) echter wel aangetoond door Wichelow en Cox (1987). Het zijn juist de extreme waarden die vaak voor de ontwerper interessant zijn.

*16 DUTCHMIL van IZF-TNO.* Dit model bestaat uit 40 lichaamsafmetingen die bij 1010 militairen van de Koninklijke Landmacht zijn gemeten (Brekelmans et al., 1986).

De maten zijn elk twee keer door afzonderlijke teams gemeten. De 40 maten zijn in hoofdzaak kledingmaten. Indien het verschil tussen beide meetteams bij een lichaamsmaat groter was dan een van te voren vastgestelde tolerantie voor die maat, dan werden beide metingen verworpen. Deze tolerantie varieerde van 4 mm voor de pupilafstand tot 2 cm voor de lichaamslengte en 5 cm voor de tailleomvang. Per maat worden onder meer de volgende resultaten gepresenteerd: aantal, spreidingsbreedte,  $\bar{x}$ , s, en een histogram.

*17 DINED-tabel.* Deze tabel geeft van 27 lichaamsmaten voor Nederlandse volwassen mannen en vrouwen, s, P<sub>5</sub> en P<sub>95</sub> (Molenbroek en Dirken, 1986 en Molenbroek, 1986). Alle waarden zijn afgeleid van de DIN33402 en afgestemd op de Nederlandse referentiewaarden van de lichaamslengte van Roede en Van Wieringen (1985) en Appelboom (1984). Hieruit blijkt voor de mannen bij de Duitse lichaamslengte 3,5% opgeteld moet worden voor zowel P<sub>5</sub> als P<sub>95</sub> om de Nederlandse waarde te krijgen. Voor de vrouwen is deze correctie 2%. Om een eenvoudige conversie te maken, zijn 26 van de 27 lichaamsmaten met de genoemde percentages geconverteerd, wetende dat dit voor de diepte-, breedte- en omvangsmaten overdreven kan zijn. Tevens was destijds de gedachte dat er (wellicht spoedig) een nieuwe DINED zou volgen, waarin die tekortkomingen verbeterd waren. Het lichaamsgewicht is rechtstreeks overgenomen uit CBS-cijfers (Appelboom, 1984).

Inmiddels zijn er in 1994 nog steeds geen data die de DINED-schatting essentieel doen wijzigen. De lichaamslengte van de 20-jarigen is immers slechts 7 promille langer geworden (zie Tabel 2.16).

*18 Kinderen en hun maatjes.* Om de leemte te vullen, die er in 1985 was op het gebied van data over afmetingen van kinderen, is door de Stichting Consument en Veiligheid

samen met de TU Delft een antropometrisch project uitgevoerd in het kader van de veiligheid in en rond de speeltuinen (De Rijke, 1985).

Voor 56 voor speeltuin toestellen relevante lichaamsmaten zijn grafieken en tabellen ontworpen met daarin schattingen van de data. Voor deze data werd de methode volgens Pheasant (1982) (zie ook 2.5.3.7) gehanteerd.

19 *DELSTU-Delfse Studenten*. Gedurende de jaren 1985 - 1986 zijn 30 tot 50 lichaamsmaten gemeten bij 354 studenten Industrieel Ontwerpen in Delft (Molenbroek en Van der Sluis, 1986).

De keuze van de lichaamsmaten was gebaseerd op de reeks DINED-maten, waaraan die maten werden toegevoegd, die noodzakelijk waren voor het ADAPS-computermodel (zie Paragraaf 3.2.4). DELSTU wordt ook als proefstudie behandeld in Hoofdstuk 4.

20 *DELKI-Delfse kinderen*. Bij de Faculteit van het Industrieel Ontwerpen in Delft is in het kader van het studieonderdeel 'practicum Antropometrische Ergonomie' gedurende de jaren 1980 - 1982 door enkele studenten een aantal kinderen in Delft opgemeten. Ter Hark en Molenbroek (1986) geven hiervan de methode en resultaten. Er werden totaal 344 kinderen in de leeftijd van 4 - 14 jaar bij het onderzoek betrokken. Steeds werden enkele 'produkten' of 'omgevingen' van kinderen als uitgangspunt genomen voor het vaststellen van de relevante variabelen. Omdat qua lichaamslengte de kinderen redelijk overeenkomen met de Nederlandse groeistandaarden volgens Roede en Van Wieringen (1985), is aan te nemen dat ook andere lichaamsmaten redelijk representatief voor Nederland zullen zijn. DELKI wordt ook als proefstudie behandeld in Hoofdstuk 4.

21 *Atlas DDR*. Een zeer uitgebreid antropologisch naslagwerk (Flügel, 1986) gebaseerd op metingen die in de periode 1967-1982 werden uitgevoerd. Leeftijdsgroepen zijn opgenomen van 3 tot 65 jaar. Er is veel aandacht besteed aan praktische informatie voor het ontwerpen van gebruiksgoederen.

22 *Baby's en peuters*. In navolging van De Rijke (1985) heeft Koopman (1987) een overzicht gepresenteerd van een reeks geschatte lichaamsmaten, maar nu in de leeftijdsgroep van 0 - 4 jaar.

50 Lichaamsafmetingen zijn hierbij vastgesteld aan de hand van een lijst met produkten die bij die leeftijdsgroep veel worden gebruikt, zoals kinderwagen, box, kinderzitje, enz

23 *Keurlingen NL*. De Nederlandse jonge mannen worden sinds 1978 één jaar eerder gekeurd voor militaire dienst. Het was gemiddeld 19 jaar en dit is nu 18 jaar geworden. De resultaten van deze keuringen worden ten dele door het Centraal Bureau voor de Statistiek gepubliceerd, jaarlijks in het Statistisch Zakboek en soms uitgebreider zoals door Van Hussen (1988).

Deze data, alleen betreffende totale lichaamslengte en -gewicht, zijn naast de groeidiagrammen zeer bruikbaar als referentiemateriaal bij het antropometrisch ontwerpen en bij het beoordelen van de seculaire groeiverschuiving.

Door het vergelijken van data van keurlingen van de Europese landen zou men bijvoorbeeld een redelijk beeld krijgen van de vigerende antropometrische verschillen.

Een dergelijk verschil tussen Nederland en West-Duitsland is reeds gemeld in Hoofdstuk 2 (Tabel 2.19 op blz. 99) en bij voornoemde tabel 11 (DIN33402) op blz. 126 in deze paragraaf.

De data van de keurlingen zullen na 1994 niet meer verschijnen, omdat in 1995 de dienstplicht wordt afgeschaft. Men streeft dan naar het werven van 100.000 vrijwilligers, waaruit 5000 kandidaten zullen worden gerecruteerd. In hoeverre de keuringsgegevens hiervan beschikbaar worden gesteld en vergelijkbaar zullen zijn, is onbekend.

*24 Oosterwolde studie.* Dit project dat vanuit de pediatrie praktijk werd geïnitieerd, voorziet in een behoefte aan meer inzicht in de proporties van kinderen. In de jaren 1979 en 1980 werden 2555 kinderen van 0 tot 19 jaar gemeten. De nadruk werd gelegd op het verkrijgen van referentiewaarden van lichaamslengte en spanwijdte. De lichaamsvorm werd vastgelegd in ellipsen die 95% van de gemeten individuen bevatten.

In het proefschrift van Gerver (1988) is deze studie compact weergegeven inclusief grafieken met percentiel-curven als functie van de leeftijd voor elk van de gemeten variabelen.

*25 KIMA.* Een 1,5 jaar durend proefonderzoek (KIMA-1) werd in 1989 afgesloten (Steenbekkers, 1989). Het doel was een bijdrage te leveren aan de preventie van ongevallen bij kinderen via het genereren van antropometrisch basismateriaal voor diegenen die normen en wetten voorbereiden inzake produkten voor kinderen. Het proefonderzoek behelsde het meten van 33 maten bij 445 kinderen in de leeftijd van 1,5-5 jaar en 24 maten bij 188 kinderen van 0-1,5 jaar, alleen in de provincie Zuid-Holland (Steenbekkers en Molenbroek, 1990).

De keuze van de lichaamsafmetingen is onder meer bepaald door de maatlijst van Snyder (1977), bestaande normen en wetten voor kinderspeelgoed en kindermeebilair en een enquête naar achtergronden van ongevallen.

Van elke lichaamsafmeting worden per geslacht en voor beide samen de volgende resultaten gepresenteerd per leeftijdsgroep van een half jaar:  $n$ , minimum,  $p_5$ ,  $\bar{x}$ ,  $p_{95}$ , maximum,  $s$  en een scattergram tussen leeftijd en maat. Een scattergram is erg praktisch voor de ontwerper/beoordelaar om meteen inzicht te krijgen in het verloop van de spreiding. In het vervolgonderzoek (KIMA-2), was het doel en de steekproefgrootte uitgebreid. Naast het meten van 40 lichaamsafmetingen is hierin ook aandacht besteed aan 8 variabelen voor krachtuitoefening en verder aan enkele variabelen voor motorische vaardigheden (de MOT'87 k-test met 16 items), technisch inzicht ( $v=8-16$ ), lenigheid ( $v=3$ ) en temperament (lijst met 15 vragen aan ouders en leerkrachten) (Steenbekkers, 1993). De steekproefgrootte  $n=2245$ .

Het doel was:

- het verkrijgen van antropometrische en psychomotorische data van een landelijk representatieve steekproef voor de leeftijdsgroep 2 tot 13 jaar;
- het verkrijgen van inzicht in de ontwikkeling binnen en tussen groepen van variabelen;

- nagaan of er verschillen in fysieke en psychomotorische variabelen aanwezig zijn in de verschillende ongevals-gevoelige kinderen;
- het komen tot ontwerpaanbevelingen.

26 *ERGOBASE*. Dit is één van de eerste antropometrische databases die op diskette in de handel is gebracht (2,5 MB). De data zijn afkomstig uit Amerika, Japan en Europa, met name uit het Anthropometric Source Book (ARP, 1978) en uit Pheasant (1986). Men kan steeds voor 5 afmetingen de percentielen P<sub>5</sub>, P<sub>50</sub> en P<sub>95</sub> van één populatie bekijken, ofwel voor 5 populaties deze percentielwaarden van één afmeting.

Naast afmetingen zijn ook data over gewrichtsexcursies en uit te oefenen krachten in diverse houdingen aanwezig (Reischl, 1989).

27 *Internationaler Anthropometrischer Datenatlas*. In dit overzicht van Jürgens et al. (1989) wordt een beeld gegeven van de variatie van 19 antropometrische variabelen. Het bijzondere van deze Datenatlas is echter, dat deze gericht is op de industrie. De wereldbevolking wordt in 20 groepen verdeeld van min of meer gelijke lichaamsbouw. Van elke groep worden de percentielwaarden P<sub>5</sub>, P<sub>50</sub> en P<sub>95</sub> van de 19 variabelen gepresenteerd voor zowel de huidige situatie als voor het jaar 2000. Tenslotte wordt een voorstel gedaan om de wereldpopulatie ergonomische gezien in tweeën te splitsen en te benaderen met 'Nordmensen' (met een gemiddelde lichaamslengte  $\bar{x} = 170,0$  cm en  $s = 6,2$  cm), en 'Südmensen' (met een gemiddelde lichaamslengte  $\bar{x} = 157,0$  cm en  $s = 5,2$  cm), die elk typische eisen aan gebruiksgoederen zouden stellen.

28 *ERGODATA*. Op het gebied van antropometrische data was ERGODATA waarschijnlijk in 1990 nog de enige database die on-line geraadpleegd kon worden. Er zijn sinds 1950 van 59 populaties gegevens opgeslagen en er zijn meer dan 300 lichaamsafmetingen gedefinieerd. Totaal zijn er 4 miljoen regels met individuele gegevens aanwezig; hiervan zijn uit Nederland afkomstig de Nederlandse Groeidiagrammen (zie blz. 124) en DUTCHMIL (blz. 127); de tabellen 12, 17, 19 en 20 worden waarschijnlijk in 1994 geïmplementeerd. De databank beschikt over twee delen:

- een deel met individuele data;
- een deel met data uit de literatuur.

Naast puur antropometrische data zijn er ook data aanwezig over visuele, auditieve en bewegingsmogelijkheden. On-line een database raadplegen heeft echter het risico dat er regelmatig lijnstorings kunnen optreden, waardoor het relatief veel tijd vergt de benodigde gegevens te verkrijgen.

Een groot voordeel is echter dat van de individuele data meteen statistische bewerkingen, zoals scatterplots en correlatie-tabellen uitgevoerd kunnen worden.

29 *PEOPLE SIZE*. Recentelijk verscheen PEOPLE SIZE, een vriendelijk ogend pc-computerprogramma, dat onder MS-Windows draait en veel van de hier genoemde data bevat van Engelse en Amerikaanse oorsprong. Ook de DIN33402 is opgenomen. Er is veel aandacht aan het gebruiksgemak besteed, inclusief de bereikbaarheid van de oorspronkelijke referenties. De leeftijd van de doelgroep kan gekozen worden. Er kan

echter niet gerekend worden met PEOPLE SIZE, behalve het toevoegen van kledingtoeslagen (zie ook Hoofdstuk 7). (People Size, 1993).

### 3.2.3 Twee-dimensionale manikins

Bekende twee-dimensionale manikins (tekensjablonen) zijn de zogenaamde Kieler Puppen en de Bosch-mallen. Beide geven een afbeelding van het sagittale vlak volgens de data van DIN33402. De Kieler Puppe (Jürgens et al. 1975; Erichsen, 1978, 1982); DIN33408, 1981) is oorspronkelijk zowel sagittaal, frontaal als transversaal ontworpen. Doch de laatste twee versies zijn nooit in productie genomen. De schaal is 1:1 en 1:5. Voor de vrouw bestaat er een P1, P5 en P95 versie en voor de man een P5, P50 en P95 versie. Het bijzondere aan deze commercieel verkrijgbare tekensjablonen is, dat de gewrichten realistisch zijn ontworpen met behulp van een pen-sleuf verbinding. Onergonomisch zijn echter de vele schroeven en hulpstukken, die nodig zijn bij wijziging van de houding.

De veel goedkopere Bosch-mallen (Jenner et al., 1978) hebben het voordeel dat er drie aanzichten op elk van de vier A4-bladen staan. Het nadeel is de grote vereenvoudiging ten opzichte van de oorspronkelijke data en ten opzichte van de Kieler Puppe.

Vervolgens kan de manikin genoemd worden die bedoeld is voor de cockpit geometrie (Kennedy, 1982). Deze is reeds voorzien van een vliegershelf en schoenen, die beide naar behoefte gebruikt kunnen worden.

Het grote voordeel bij het gebruik van dergelijke manikins is dat men geen vaardigheid in het tekenen van mensen hoeft te hebben om toch een realistische afbeelding te krijgen van diverse functionele houdingen. Als belangrijk nadeel geldt, dat ten onrechte hoge validiteit en betrouwbaarheid worden gesuggereerd, die beide in feite erg betrekkelijk zijn. De segmentafmetingen zijn immers steeds gemiddeld, terwijl de lengtematen worden aangepast.

### 3.2.4 Drie-dimensionale manikins

Dit type Antropometrisch Model kan men onderscheiden in materiële modellen en computermodellen. De materiële modellen, waartoe eigenlijk ook de gebruikelijke etalage poppen behoren, worden vooral gebruikt in de letselpreventie (Wismans, 1990). Dit zijn modellen op ware grootte en met een realistische massaverdeling over de segmenten. Kleine modellen 1:6 tot 1:10 worden vaak gebruikt bij het leren tekenen van de menselijke figuur en bij het insceneren van beeldmateriaal over een Mens-Produkt-Interactie.

Hierna worden vier verschillende computermodellen besproken: SAMMIE, ANYBODY, ADAPS en MANNEQUIN. In Hickey et al. (1985) staan 76 verschillende genoemd en wordt een selectie daarvan uitgebreid geanalyseerd. Porter et al. (1993) geven een meer recent overzicht van 'Computer-aided ergonomics of automobiles'. Hierin worden 14 pakketten beschreven, waarbij de wijze van beschrijven nogal uiteen loopt. Veel van deze modellen en vele andere zijn gebaseerd op de vereenvoudigde functionele voorstelling van het menselijk skelet door een 'vertakte ledenketen'

(Dempster, 1955). Het volume van een segment wordt dan gedefinieerd door een lokaal assenstelsel in elk van de knooppunten en een omgevende cilinder, kegel, ellipsoïde, afgeknotte piramide, e.d. De afbeelding op het beeldscherm bestaat in dit geval meestal uit een draadstructuur (wire-frame), waar al dan niet een 'hidden-lines algoritme' aan toegevoegd is, om de lijnen achter het vlak van tekening weg te laten. Met name de voorspellende- en begripsvaliditeit van deze computermodellen laten te wensen over. Ze wekken ten onrechte een nauwkeurige en betrouwbare indruk (Hoekstra, 1989). Door een relatief hoge operationaliteit van een PC- model bestaat het risico dat men de validiteit even vergeet.

1 *SAMMIE*. Het mensmodel SAMMIE (System for Aiding Man-Machine Interaction Evaluation) bestaat uit 21 leden en 17 knooppunten. Het is ontwikkeld aan de Universiteit van Nottingham (Bonney and Case, 1976). SAMMIE is een draadmodel, waarbij op vier quadranten van het beeldscherm tegelijk drie aanzichten en één perspectivische afbeelding te zien is.

Binnen het relatief dure programma zijn diverse faciliteiten:

- een bewegingsalgoritme langs een rechte lijn;
- versnelde manikin generatie (alleen lengte, gewicht en somatotype is voldoende);
- het opbouwen van de werkplek in vier niveaus, die elk apart gemanipuleerd kunnen worden;
- in het blikveld van SAMMIE kan een spiegelbeeld worden opgenomen;
- bepaling van het massamiddelpunt met en zonder externe lasten;
- overbodige lijnen kunnen worden weggehaald (hidden lines algoritme) .

SAMMIE is door grote firma's en instellingen veel gebruikt bij het evalueren van werkplekken, zoals kantoren, tractoren en bussen, inclusief het ontwerp van de achteruitkijk-spiegels.

2 *ANYBODY/ANTHROPOS*. Dit is één van de eerste 3D-computermodellen met een A- model en een P-model, dat op een personal computer draaide (Lippmann, 1988a en 1988b). Het is een programma, dat werkt binnen het CAD-programma CADKEY. Hierdoor zijn produkten en werkplekken op eenvoudige wijze te tekenen (muis-menugestuurd).

Anatomisch gezien zijn de antropometrische modellen van ANYBODY beter geslaagd dan bestaande andere computer-mens- modellen. Dit komt door het gebruik van 'splines': ruimtelijk georiënteerde, vloeiend getrokken lijnen die een lichaamssegment vormgeven. Er zijn onder meer endomorfe, mesomorfe en ectomorfe manikins in de bibliotheek. Elk segment is helaas gedefinieerd als een machine-onderdeel (object-georiënteerd), zonder realistische beperkingen aan gewrichtsexcursies. De basisgegevens voor de manikin komen uit DIN33402 (1981), Pheasant (1986), Flügel (1986) en Schmidtke en Jürgens (1975). Het manikin heeft 700 oppervlaktepunten. De maatgeving bij de afbeeldingen geeft echter ten onrechte de indruk dat deze op 1/100 millimeter nauwkeurig is. Een afronding van de getallen naar hele centimeters en voor

sommige variabelen naar nog grotere eenheden, zou beter verantwoord zijn, omdat veel maten via schaling tot stand zijn gekomen. De validiteit van het manikin dient nog nader onderzocht te worden.

In de jaren 1990-91 is ANYBODY vervangen door het meer kostbare ANTROPOS, bedoeld voor de 'zware' personal computers met veel intern geheugen of werkstations. Gegevens van 10 landen, talrijke volwassen leeftijdsgroepen en somatotypen zijn beschikbaar. Elk model bestaat uit 90 segmenten (inclusief wervelkolom) en 90 gewrichten. Ook zijn er faciliteiten voor het bepalen van krachttuioefening, zoals bij hand- en voetbediening (Lippmann, 1993).

Inmiddels is er ook een Nederlandse versie van ANYBODY verschenen onder de naam CADPEOPLE (Vellinga, 1992). Dit programma werkt als module onder het in Nederland veel gebruikte tekenpakket AutoCad en heeft onder meer manikins met de DINED-maten.

3 *ADAPS*. Dit model werd in 1979 voor het eerst gepresenteerd (Post, 1979) (ADAPS = Anthropometric Design Assessment Program System). Sindsdien is het programma verder ontwikkeld met meer modules en gebruiksvriendelijker gemaakt (Hoekstra, 1985; Hoekstra, 1987; Hoekstra, 1988; Hoekstra, 1989; Ruiter, 1989; Ruiter, 1990; Hoekstra, 1993; Ruiter, 1993a; Ruiter, 1993b). Oorspronkelijk werkte ADAPS alleen op een microcomputer, terwijl momenteel een goedkopere PC-versie gereed is, zodat de gebruikersmarkt veel uitgebreider wordt. Ook zijn door samenwerking met andere instellingen en bedrijven versies ontwikkeld voor andere machines of CAD-programma's. Bijvoorbeeld is het TADAPS programma de versie van ADAPS die door Universiteit Twente is geschikt gemaakt voor de VAX-computer (Westerink, 1990).

BRAM is de versie van ADAPS die door onze afstudeerder Beimers voor VOLVO geschikt gemaakt is voor hun tekenprogramma CADCALMA (Beimers et al., 1989). Het essentiële van ADAPS is de open wijze van presentatie van de herkomst van de data (Hoekstra, 1985) en de wijze waarop de validiteit onderzocht wordt (Hoekstra, 1989). Daardoor is bekend in hoeverre enkele 'buiten'-maten overeenkomen of afwijken van hun oorspronkelijke data. Het zwakke punt van ADAPS en overigens van alle bekende computermodellen is de representatie van de gewrichten die als scharnierpunten worden aangenomen. Hierdoor zijn de reikwijdtes niet in overeenstemming met de data van herkomst. Van Zee en Molenbroek (1984) en Van Zee et al. (1985 a, b) werkte daarom een voorstel uit om experimenteel met behulp van dia's en de Reuleaux-methode te komen tot een nauwkeurige schatting van de momentane gewrichtsrotatie centra. Het sterke punt van ADAPS is dat het, naast een open structuur, als onderwijshulpmiddel een degelijke terugkoppeling geeft en een bron van informatie voor nader onderzoek is (Ruiter, 1989).

Met ADAPS is het mogelijk een 2D-tekening naar AutoCad te exporteren.

4 *MANNEQUIN*. Bij dit relatief goedkope pakket van dezelfde firma, die ook ERGOBASE levert, is wel communicatie met AutoCad mogelijk. Een 3D-AutoCad-werkplek kan in MANNEQUIN ingelezen worden, om vervolgens te worden geëvalueerd met mensmodellen (Stewart, 1992). Er zijn erg veel details uitgewerkt in

MANNEQUIN; vingerkootjes bijvoorbeeld. Helaas zijn de gebruikte data (waarschijnlijk van ERGOBASE), niet inzichtelijk of aanvulbaar.

### 3.2.5 Proefpersonen

Wellicht is de wijze van testen van een P-model, waar het meest belang aan gehecht zou moeten worden, die van het testen met proefpersonen als A-model. Het omgaan met proefpersonen is vaak een kostbare en tijdrovende bezigheid, maar kan meer essentiële informatie over de Mens-Produkt-Interactie (MPI) opleveren dan bij andere A-modellen voorkomt. Bij het selecteren van proefpersonen dient men de variatie binnen de doelpopulatie in ogenschouw te nemen. Tabel 2.21 geeft aanwijzingen over de mogelijke aspecten en factoren. Een voorbeeld zal dit verder verduidelijken. Bij het testen van een busstoel werd een prototype achtereenvolgens in een stilstaande en in een rijdende bus geplaatst. 220 proefpersonen werden gerecruteerd door te variëren in (minstens elke variabele in twee klassen) reiservaring, leeftijd, geslacht en lichaamslengte. Opgemeten werden de relevante antropometrische variabelen zoals onderbeenlengte, heupbreedte, dijbeenlengte, lichaamslengte en -gewicht. Na 5 en 25 minuten zitten werd het ervaren zitcomfort en het gemak bij opstaan en gaan zitten in kaart gebracht en gerelateerd aan de antropometrische variabelen. Op deze wijze ontstonden adequate aanpassingen van het prototype (Vorderegger, 1984).

### 3.2.6 Overige A-modellen

In de zin van de eerder gegeven definitie van een model: 'een overzichtelijke abstractie van de gevarieerde werkelijkheid' zijn 'indices', ook A-modellen.

De twee grootheden 'Quetelet-index' en de 'Sheldon typering' bleken echter beide afhankelijk van leeftijd en sexe (zie Hoofdstuk 2) en horen daarom eigenlijk getabelleerd bij Paragraaf 3.2.2., maar zijn daarin niet opgenomen, omdat daarvan te weinig data bekend zijn.

### 3.2.7 Conclusie

De ontwerper dient tijdens het ontwerpen of de beoordeling van een ontwerp te beschikken over functionele antropometrische data, die relevant zijn voor de Mens-Produkt-Interactie van de juiste gebruikersgroepen, liefst voldoende nauwkeurig. Daarom dienen er meer en betere data te komen, totaal- en segmentmaten, statisch en functioneel van de volwassen Nederlanders, maar ook van ouderen, kinderen, gehandicapten en allochtonen.



## 3.3 Produktmodellen

### 3.3.1 Inleiding

Een produktmodel (P-model) is een weergave van een produkt in wording (zie 3.1.1.). Een P-model wordt meestal zo gekozen dat de te bestuderen facetten van origineel en model isomorf zijn, althans grote overeenkomst vertonen. Het simuleren van produkteigenschappen met een model kan volgens Roozenburg en Eekels (1991) analytisch (bijvoorbeeld sterkteberekeningen) of experimenteel (bijvoorbeeld windtunnelproef) gebeuren. In dit kader gaat het vooral om de analytische en, waar nodig, om de experimentele versies van geometrische modellen. De waargenomen grootte van een voorwerp hangt af van de omgeving en door schaalverandering treedt er een aantal verschijnselen op dat de waarneming beïnvloedt. Bijvoorbeeld een verkleind model zal, met een gegeven schaalfactor te klein geschat worden. Proporties worden echter direct waargenomen. Kleuren, texturen en de positie van de waarnemer kunnen eveneens de waargenomen grootte beïnvloeden (Madge, 1974).

Om inzicht te krijgen in de verscheidenheid van P-modellen binnen het Industrieel Ontwerpen, worden hier twee soorten indelingen gegeven:

- Een indeling van de fase van het ontwerpproces, waarin ze worden gebruikt (Jaarboek Ontwerpen 1, 2, 3, 1989):

ontwerpfase	2D-model	3D-model
oriëntatie/ informatie:	ideeschets	spuugmodel/ computermodel
concept:	ontwerptekening ontwerpschets	proefmodellen schaalmodellen computermodellen mock-up
materialisatie:	maattekening technische tekening presentatietekening	mock-up prototype nuserie

- Een indeling naar de kubus (zie Figuur 1.4, blz. 17):

produkttype	voorbeeld
bedieningsonderdeel	belknop
gereedschap	nijptang
persoonlijke uitrusting	helm
last	rugzak
ondersteuningsmiddel	stoel
verblijfsruimte	kraancabine

Een andere indeling van produktmodellen vindt men in Muller (1990). Binnen de vormgevingsfase van het model van Van den Kroonenberg definieert Muller een fuikmodel met een structureel concept, een formeel concept en een materiaal concept.

*'In een vroeg stadium 3D-modellen maken bevordert de ideevorming: bijvoorbeeld draadmodellen bij het eerste concept (spuugmodel) en polystyreen modellen bij het tweede concept (schaalmodel)'. Met beide soorten modellen kan de ontwerper snel varianten genereren, hetgeen van groot belang wordt geacht. Bij het derde concept (dummy) dient men niet zo snel kleur en textuur toe te voegen, omdat dit dan de aandacht zou wegnemen van de ordening van de elementen van het concept.*

### 3.3.2 2D-produktmodellen

*Ideeschetsen.* Schetsen die gebruikt worden tijdens de eerste ideevorming. Het zijn snel gemaakte, eenvoudige en weinig gedetailleerde hand- of CAD-schetsen.

*Ontwerptekeningen c.q. Ontwerpschetsen.* Tekeningen, waarin de ideeën worden uitgewerkt tot ontwerpvoorstellen. Tekeningen, toelichtende notities, tekst en schetsmodellen vormen samen een ontwerpvoorstel.

*Maattekeningen.* Tekeningen die een uitgangspunt vormen voor de technische tekeningen. Getekend met hulpmiddelen of uit de hand, maar dan met sjablonen, op schaal en in de juiste verhoudingen. Ze bevatten een beperkt aantal belangrijke maten die bepalend zijn voor het functioneren van het produkt.

*Technische tekeningen.* Tekeningen volgens normen (bijvoorbeeld NEN, DIN, etc.).

*Presentatietekeningen.* Tekeningen met als doel een realistisch overzichtsbeeld te geven over een ontwerp aan een bepaalde groep, bijvoorbeeld een rendering.

### 3D-produktmodellen

*Schetsmodel of Spuugmodel.* P-model dat in korte tijd, met eenvoudig te bewerken materialen (bijvoorbeeld schuimblok, draad, karton en elastiek) vervaardigd wordt. Het heeft als doel inzicht te krijgen in één of meer aspecten van een functievuller.

*Computermodel.* Een P-model dat met een CAD-programma en een computer in 3D is getekend.

*Proefmodell/werkend model.* Een P-model waarbij de nadruk ligt op het inzicht krijgen in bijvoorbeeld ergonomische aspecten van de functievuller.

*Vormmodel.* Een P-model waarbij de nadruk ligt op het inzicht krijgen in de esthetische aspecten van de functievuller.

*Schaalmodel.* Model op schaal. Volgens de schaalwetten verkleind of vergroot model.

*Mock-up.* Een realistische model (veelal cabine-achtig) op ware grootte voor de ruimtelijke aspecten een functievuller, dat vooral bedoeld is voor simulatie van Mens-Produkt-Interactie, teneinde nog verbeteringen aan te brengen of de organisatie van de productie alvast voor te bereiden.

*Prototype.* Een model, op ware grootte, dat alle of een groot gedeelte van de eigenschappen, functies en uiterlijke hoedanigheden heeft van het uiteindelijke produkt, maar niet of slechts gedeeltelijk gemaakt is met de produktietechnieken voor het uiteindelijke produkt.

### 3.3.3 Conclusie produktmodellen

Produktmodellen zijn essentieel bij de ontwikkeling van een produkt. Het efficiënt omgaan met de benodigde mate van ontwikkeling van een P-model vergt ervaring en/of voorkennis. Zonder een adequaat antropometrisch model heeft de ontwerper echter weinig baat bij het gebruik van een P-model ten aanzien van het aspect 'menselijke maat'.

## 3.4 Conclusie AP-modellen

Een ergonomisch ideaal AP-model vergt de technische combinatie, waarbij zowel een 2D- als een 3D- manikin snel moeten kunnen worden getekend en wel bijvoorbeeld binnen het CAD-pakket waarmee het P-model getekend is. Het zou moeten aangeven waar in het P-model MPI (Mens-Produkt-Interactie) plaatsvindt en waar verbetering nodig is; een expertsysteem dient voortdurend toelichting te geven over de ergonomische feiten en misverstanden (Laurig en Rombach, 1989). Voor presentatiedoeleinden is een schaalmodel wenselijk en kan een koppeling met een vervaardigingsmachine dienstig zijn. Een andere wijze van presenteren zou een verdergaande computer-animatie kunnen zijn.

In Hoofdstuk 5 wordt onder meer ingegaan op de consequentie van bestaande maatsystemen, zoals van schoenen en brillen. Deze maatsystemen kunnen als een AP-model in beperkte zin worden gezien. Het voordeel van deze bekende maatsystemen is dat iedereen ze kent, maar het nadeel is dat er in het algemeen nog te weinig kritisch naar wordt gekeken.



# 4 Proefstudies

## 4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de eigen data beschreven, die in het kader van deze studie gebruikt zijn en in het volgende hoofdstuk worden toegepast bij de statistische bewerkingen van antropometrische data. De kwalitatieve omschrijving van deze data is echter al in Hoofdstuk 3 gegeven. Hierna wordt vooral aandacht besteed aan de kwantitatieve beschrijving ervan, waarbij onderscheid te maken is in drie typen van data, met de nadruk op de beschrijving van de data onder punt c:

- a Data die door derden zijn geproduceerd, maar door ons zijn gebruikt.  
Het bestand DUTCHMIL'85 (is beschreven op blz. 127) bevat 40 afmetingen van 1010 militairen van de Koninklijke Landmacht (Brekelmans et al., 1986). Beide bestanden worden hier vermeld, omdat deze bij de statistische bewerkingen in het volgende hoofdstuk een rol spelen.
- b Data die door ons zijn geschat.  
Hietoe behoren bestanden zoals DINED (een schatting van de afmetingen van volwassen Nederlanders), 'Kinderen en hun maatjes' (De Rijke, 1985) en 'Maten van baby's en peuters' (Koopman, 1987).
- c Data die door ons zelf zijn gemeten.  
Hieroe behoren bestanden DELKI (Delftse kinderen), DELSTU (Delftse studenten) en het GDVV-bestand (bejaarden van de Haagse Gemeentelijke Dienst voor verpleging en verzorging).

Het blijkt dat voor elke doelgroep van het kubusmodel (Figuur 1.4) enige data aanwezig zijn. In dit hoofdstuk wordt bij drie, niet voor Nederland representatieve, projecten ingegaan op de keuze van de variabelen, de meetmethode, de aard van de variabelen, de reductiemogelijkheden en op de noodzaak van organisatie en training voor de metingen.

De behandeling van deze data heeft nut bij diverse vraagstellingen:

- 1 bij het onderzoeken van de juistheid van statistische bewerkingen;
- 2 bij het construeren van antropometrische modellen;
- 3 bij het ontwerpen en beoordelen van produkten en werkplekken;
- 4 bij het opstellen van normen en richtlijnen;
- 5 bij het ontwikkelen van meetmethoden.

De opgedane ervaringen konden bij het inmiddels afgeronde project van Steenbekkers naar kinderen door middel van een landelijke steekproef, worden toegepast (Steenbekkers, 1993). Daarom zijn de in dit hoofdstuk gebruikte kindergegevens alleen illustratief en bewijsovertuigend.

Juist deze drie genoemde groepen (ouderen, jong volwassenen en kinderen) zijn gemeten, omdat in de ergonomie daarover weinig bekend was; zeker bij de aanvang van deze studie.

#### **Data die door ons zelf zijn gemeten**

*Kinderen (bestand DELKI):* In het kader van het practicum Ergonomie bij de Faculteit Industrieel Ontwerpen zijn in de jaren 1980-1982 bij 351 kinderen van 4-14 jaar 10-20 lichaamsafmetingen gemeten. Het doel was voor de staf om meer inzicht te krijgen in het toepassen van produktantropometrie bij scholen, zoals voor meubilair, attributen in de gymzaal e.d. (Ter Hark en Molenbroek, 1986). Het bestand is onder meer gebruikt bij het GMD-kinderrolstoel-project (Henze en Staarink, 1989). Zie ook Paragraaf 5.3.2.

*Studenten (bestand DELSTU):* In het kader van datzelfde practicum Ergonomie zijn in de jaren 1985-1986 van 354 deelnemende studenten diverse (30-50) lichaamsafmetingen vastgesteld (Molenbroek en Van der Sluis, 1986). Het doel bij dit onderzoek was om over een bestand van ruwe data te beschikken, waarmee nadere analyses konden worden gedaan. Het bestand is onder meer gebruikt bij het CEN-schoolmeubilair-project (Ramaekers et al., 1993).

*Bejaarden (bestand GDVV):* Op verzoek van de directie van de GDVV (=Gemeentelijke Dienst voor Verpleging en Verzorging te Den Haag) werd een antropometrische studie verricht naar 30 lichaamsafmetingen bij 822 bejaarden, die door de GDVV werden verpleegd of verzorgd (Molenbroek et al., 1983; Burger en Molenbroek, 1984; Molenbroek, 1987).

Het doel was nadere richtlijnen te produceren voor de huisvesting en voor de interieurinrichting van tehuizen en woningen van bejaarden.

Het bestand is onder meer gebruikt voor het GMD-rolstoel-maatsysteem en voor de ADAPS-manikins 'Bejaarde Nederlandse Vrouw' en 'Bejaarde Nederlandse Man' (Ruiter, 1989; Ruiter, 1993a en Ruiter, 1993b).

## **4.2 Omschrijving van de methoden en de resultaten van de drie proefstudies**

### **4.2.1 Delftse kinderen (bestand DELKI)**

De variabelen zijn zoveel mogelijk gemeten volgens DIN33402 (1981) Tabel 4.1 en Figuur 4.1. en, indien deze geen richtlijn geven, volgens het Anthropometric Source Book (ARP, 1978).

De metingen werden verricht door teams van een viertal getrainde studenten met de volgende taakverdeling:

- meter;
- notulist;
- organisator I (letten op goede houding);
- organisator II (zorgen voor aankomst en vertrek van proefpersonen).

Het meetteam werd vooraf getraind door middel van 'herhaalmetingen', zodat inzicht werd verkregen in intra- en inter-waarnemermeetbetrouwbaarheid van een variabele. Aan de hand hiervan werden de meetvoorschriften geïnterpreteerd, de meetvolgorde vastgesteld en werd de beste 'meter' gekozen. De beste meter was degene met de kleinste (intra-waarnemer) standaarddeviatie.

Als apparaten werden gebruikt:

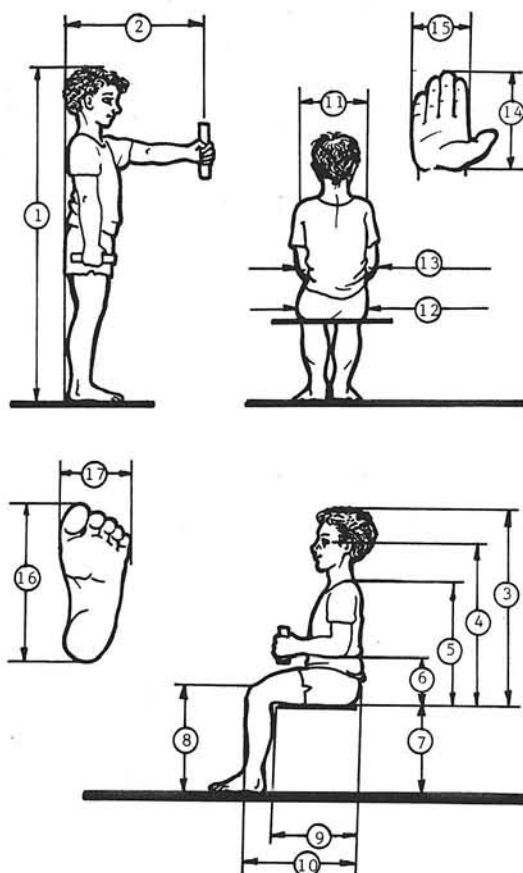
- een GPM-antropometer;
- een kleine passer;
- een weegschaal;
- een grijpstkje van 2,5 cm dikte.

	nr	maat
lengtematen	1	lichaamslengte
	2	reikwijdte naar voren
	3	kruin-zitvlak hoogte
	4	ooghoogte zittend
	5	schouderhoogte zittend
	6	elleboog-zitvlak hoogte
	7	knieschijf hoogte
	8	knieschijf hoogte
	9	bil-knieholte lengte
	10	bil-knieschijf lengte
breedtematen	11	schouderbreedte
	12	heupbreedte zittend
	13	ellebogen breedte
handmaten	14	handlengte
	15	handbreedte
voetmaten	16	voetlengte
	17	voetbreedte
overige maten	18	lichaamsgewicht

Tabel 4.1: Gemeten variabelen bij het bestand DELKI.

De apparatuur werd voor de aanvang van een meetsessie gekalibreerd (controle van de o-stand en vergelijking met een standaard maat). De steekproef had een opbouw van leeftijd en geslacht zoals in Figuur 4.2 is afgebeeld. De kinderen werden tijdens de gymles op school gemeten en kregen een afschrift van hun eigen maten mee naar huis.

De school kreeg een kopie van het rapport van de groep studenten, met daarin de meetresultaten, de analyses van de vergelijkingen met de afmetingen van meubilair op school (in het gymlokaal, in het klaslokaal, in het toilet, enz.), conclusies en antropometrische aanbevelingen.

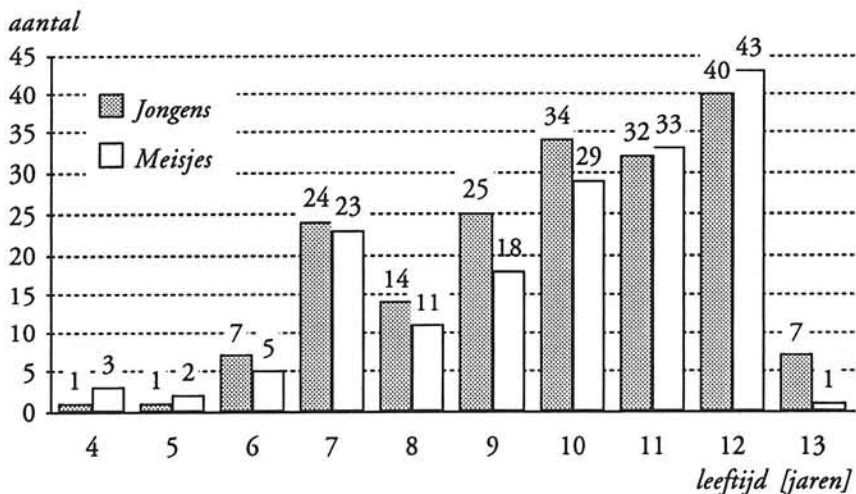


*Figuur 4.1: Overzicht van de gemeten variabelen bij de Delfse kinderen in 1980-82.*

### Resultaten

Gebruikelijk is het de resultaten van antropometrische metingen van kinderen te presenteren afhankelijk van leeftijd en geslacht, zowel in tabel als in grafische vorm. Dit is gebeurd in Ter Hark en Molenbroek (1986). Op deze plaats wordt de grafische weergave daarom beperkt tot één illustratie daarvan; de afbeelding van gewicht naar lengte (Figuur 4.3). Bij deze proefstudie van ongeveer 7000 meetwaarden, ontstaan er na een onderverdeling van de data naar leeftijd vele 'cellen' die een aantal proefpersonen kleiner dan 30 hebben; hierbij heeft het eigenlijk geen zin om van percentielwaarden te spreken. De 18 tabellen zijn gerangschikt volgens maatsoort: lengte, breedte, diepte, omvang en gewicht in Bijlage 4.2 met de gegevens over  $n$ ,  $\bar{x}$  en  $s$ .



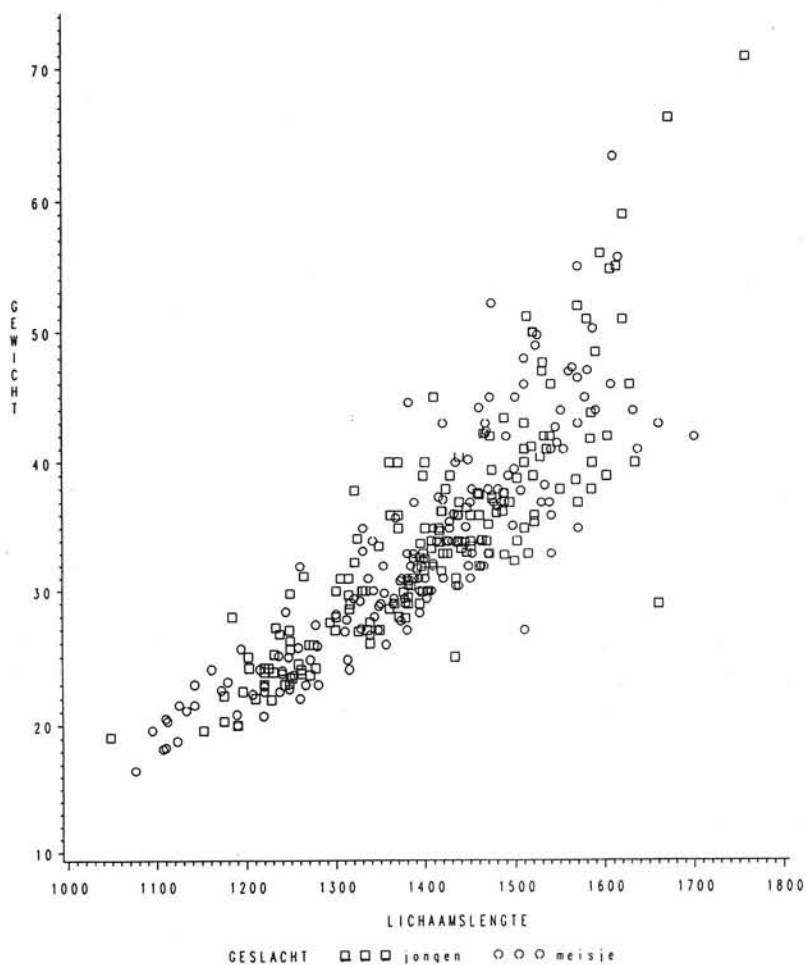


Figuur 4.2: Verdeling van leeftijd en geslacht bij de steekproef Delftse kinderen (DELKI).

Vergelijking steekproefgegevens van de Delftse kinderen met lengte en gewicht van het 3de nationale groeionderzoek

Om de meetresultaten van de steekproef Delftse kinderen (DELKI) vergelijkbaar te maken met de resultaten van Roede en Van Wieringen (1985), is eerst de volgende bewerking toegepast. Van de halfjaarlijkse leeftijdsgroepen van Roede en Van Wieringen, hieronder GROEI'80 genoemd, (kolom 2 in Tabel 4.2) zijn jaargroepen gemaakt. Vervolgens zijn per jaar de resultaten van beide geslachten gemiddeld (kolom 5). Dit was nodig, omdat de klassen anders veel te klein werden. Voor de 6-jarigen is deze bewerking hieronder in de tabel enigszins verduidelijkt. Het verschil van de gemiddelden per jaar staat in de de kolom (6) - (5) en de bijbehorende Student-t waarde staat in kolom (9).

Indien aangenomen wordt dat de werkelijke populatie het Nationale Groeionderzoek 'GROEI'80' is, kan men de in Tabel 4.2 zien in hoeverre de hypothese  $H_0$  waar is, dat de steekproefgemiddelde  $\bar{x}$  gelijk is aan het populatiegemiddelde  $\mu$ .



*Figuur 4.3: Overzicht van de spreiding van gewicht (kg) naar lengte (mm) en geslacht bij het DELKI-bestand.*

Bij een significantieniveau  $\alpha=0,05$  en een tweezijdige toetsing, geldt dan dat deze  $H_0$  verworpen moet worden voor de 7, 10, 12 en 13-jarigen. Daarom kan men niet concluderen dat de meetresultaten van de 'regionale' Delftse kinderen voor de leeftijden met  $n>30$  redelijk goed overeenkomen met die van het 3e nationale groei-onderzoek. De geconstateerde verschillen kunnen samenhangen met de steekproefgrootte, met de geografische ligging en met factor leeftijd. Voor meer en recente antropometrische data over kinderen wordt verwezen naar Steenbekkers (1993).

lft (1)	GROEI'80				DELKI	verschil (6)-(5)	n (7)	s (8)	Student-t (9)	p-waarde (10)
	lft (2)	v (3)	m (4)	v+m (5)	v+m (6)					
6	6	1183	1188	1201	1202	1	12	54	0,07217	
	6,5	1214	1220							
7		1244	1250	1262	1244	-18	47	67	-2,46804	0,00868
					1274	1280				
8		1304	1310	1321	1304	-17	25	69	-1,66667	0,05429
					1332	1338				
9		1358	1366	1376	1365	-11	41	66	-1,23569	0,11189
					1386	1394				
10		1414	1422	1432	1414	-18	63	66	-2,3043	0,01228
					1442	1448				
11		1472	1473	1487	1480	-7	65	76	-0,88181	0,19059
					1506	1497				
12		1544	1521	1548	1502	-46	83	84	-5,82055	0
					1580	1545				
13		1606	1575	1605	1532	-73	8	123	-2,61361	0,01737
					1625	1614				

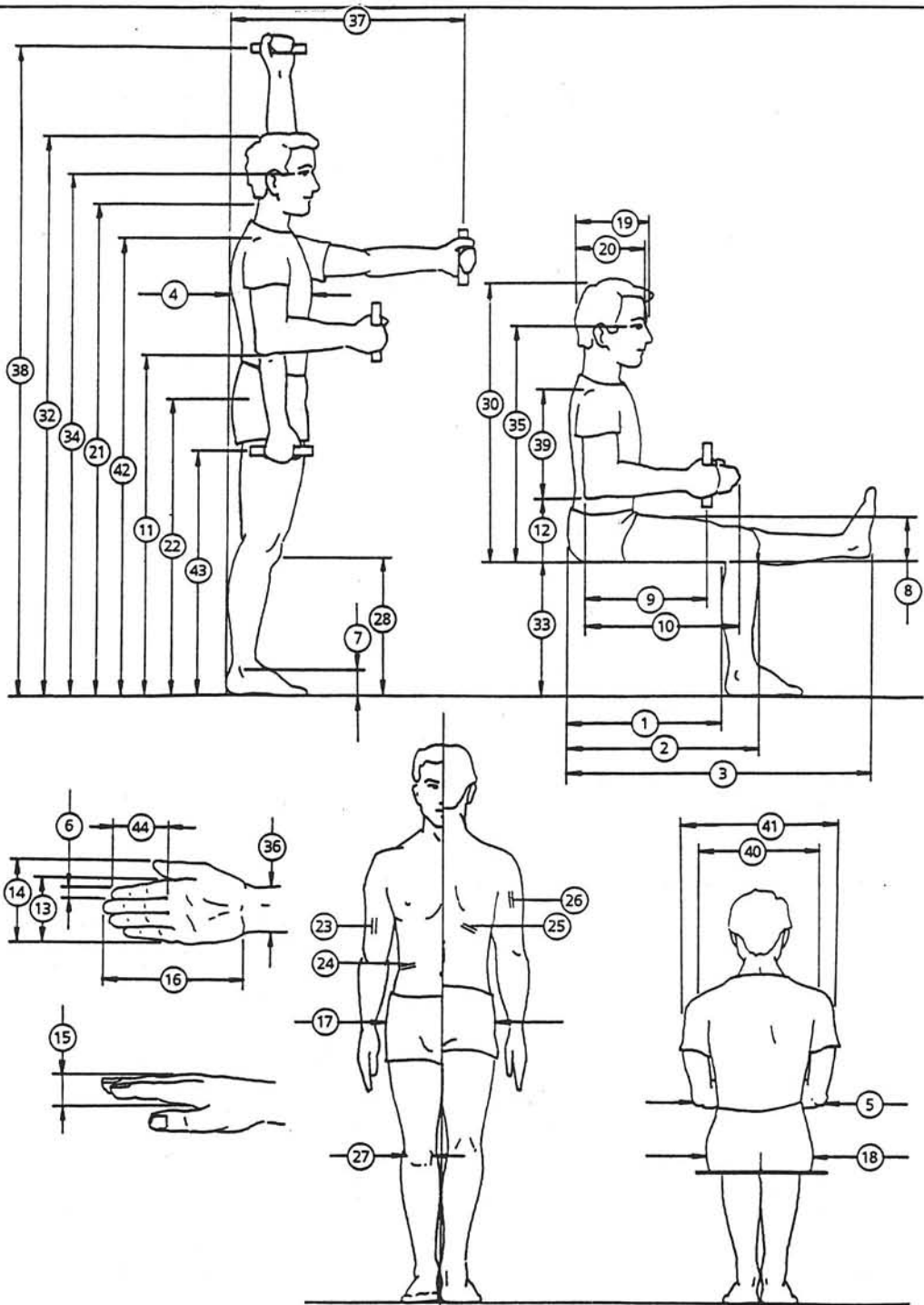
Tabel 4.2: *Vergelijking van het bestand DELKI met GROEI'80 betreffende de lichaamslengte in mm. Toelichting symbolen en afkortingen: lft = leeftijd in jaren; n = aantal in de steekproef DELKI; s = standaarddeviatie in de steekproef DELKI.*

#### 4.2.2 Delftse Studenten (bestand DELSTU)

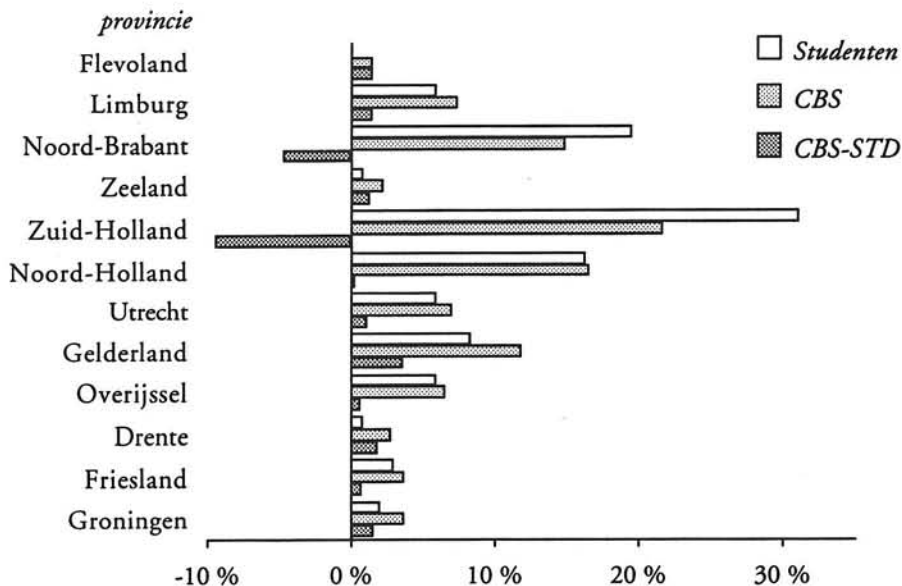
De variabelen zijn gemeten volgens de meetvoorschriften van DIN33402 (1981) en van het Anthropometric Sourcebook (1978). (Figuren 4.4 en 4.5). In Bijlage 4.1 staat een overzicht van gemeten variabelen en hun definities in vergelijking met andere onderzoeken, die in deze studie vaak genoemd zijn. In Tabel 4.3 staan de aantallen variabelen en studenten per periode. Bij dit aantal variabelen is leeftijd, geslacht en provincie van geboorte ook meegerekend.

periode	aantal variabelen	aantal gemeten studenten
februari 1985	32	100
april 1985	32	52
februari 1986	47	106
november 1986	43	96
totaal	47	354

Tabel 4.3: *Steekproefopbouw bij het bestand DELSTU.*



Figuur 4.4: Overzicht van gemeten lichaamsafmetingen bij de Delftse Studenten. Knijpkracht (29) en lichaamsgewicht (31) zijn niet afgebeeld. Zie Bijlage 4.1 en 4.2 voor meetdefinities.



Figuur 4.5: Verdeling van de geboorteprovincies Delftse studenten vergeleken met CBS-leeftijdsgroepen 20-44.

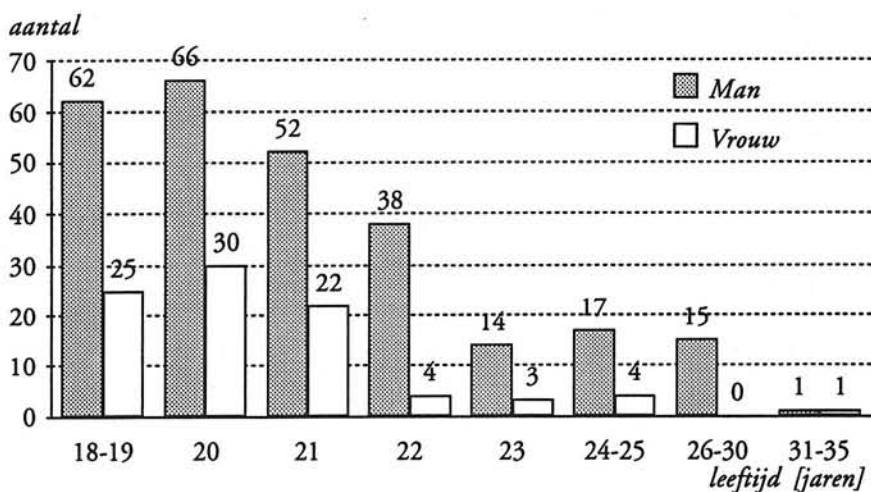
De gebruikte meetapparatuur bestond uit:

- een GPM antropometer;
- een kleine passer voor hand- en hoofdmaten;
- een meetstoel;
- een Harpenden huidplooidikte meter;
- een Seca weegschaal van het balans type met + en - 100 gram afleesnauwkeurigheid.

Het meetteam bestond uit twee 'meters', een notulist en een organisator. De leden van dit meetteam werden vooraf getraind door middel van 'herhaalmetingen', zodat inzicht werd verkregen in intra- en inter-waarnemermeetbetrouwbaarheid van een variabele. Aan de hand hiervan werden de definitieve lijst van meetvoorschriften en de meetvolgorde vastgesteld en werd de beste 'meter' gekozen. De definitieve metingen duurden ongeveer 10 minuten bij 30 variabelen en 15 minuten bij 50 variabelen per student-proefpersoon.

Leeftijd en geslacht van de steekproef studenten staan afgebeeld in Figuur 4.6.

De proefpersonen kregen een kopie van het ingevulde meetformulier met de DINED-tabel, zodat men zelf kon vergelijken hoe de eigen maten uitvielen ten opzichte van de DINED-maten, die de volwassen Nederlanders representeren. Twee onafhankelijke typisten deden de data-invoer en resulterende verschillen werden door de onderzoeker zo mogelijk gecorrigeerd aan de hand van het ingevulde meetformulier of aan de hand van een nieuwe meting van de betreffende student. De statistische verwerking gebeurde met het SAS-pakket.



Figuur 4.6: Overzicht van leeftijd en geslacht bij de steekproef Delftse studenten.

De volgende controles werden onder meer software-matig uitgevoerd:

- Voor elke variabele werd de scheefheid ( $a_3$ , voor definitie zie blz. 178) en piekigheid ( $a_4$ , voor definitie zie blz. 178) berekend en vervolgens werden de waarnemingen geselecteerd, die extreem daarop scoorden (er is gekozen voor extreem indien  $|a_3| > 5$  en/of  $a_4 > 5$ ). Beide moeten immers ongeveer gelijk nul zijn bij een normale verdeling (zie Hoofdstuk 5, vraagstuk 1).
- Voor elke gemeten variabele werden de 10 uiterste meetwaarden vergeleken met de waarde  $\bar{x} \pm 4 * s$ ; de waarnemingen die hierbuiten vielen, werden opnieuw bezien.
- Voor elke persoon werd een controle op verschillen tussen twee maten uitgevoerd, zoals:
  - reikhoogte minus lichaamslengte  $> 10$  mm;
  - bil-knieschijf lengte minus bil-knieholte lengte  $> 10$  mm;
  - lichaamslengte minus ooghoogte  $> 10$  mm, etc.

Soms werden zodoende fouten ontdekt die hersteld konden worden (bijvoorbeeld door het verwisselen van twee waarden, die achtereenvolgens gemeten waren). In andere gevallen werden de gevonden extreme waarnemingen opnieuw gemeten bij de desbetreffende student, ofwel werd de waarde op 'missing' gezet.

### Resultaten

In de Bijlage 4.3 staan de resultaten van de metingen aan de studenten per geslacht en per maatsoort (breedte-, diepte-, lengte- en overige maten). De nummers tussen haakjes achter de namen van de variabelen, komen overeen met de nummers van Figuur 4.4.

**Vergelijking steekproefgegevens met lengte en gewicht 3de nationale groeionderzoek.** Het 3de nationaal groeionderzoek heeft leeftijden tot en met 20 jaar gemeten; de Delftse studenten zijn tussen de 18 en 35 jaar met een gemiddelde van 21 jaar. Aangezien de gemiddelde lichaamslengte bij jonge mannen nauwelijks meer toeneemt na 19,5 jaar (Roede en Van Wieringen, 1985), is het redelijk, de gehele steekproef van 2de en 3de

jaars studenten qua lengte en gewicht te vergelijken met het 3de nationaal groeionderzoek.

Uit Tabel 4.4 blijkt dat lengte en gewicht van de mannelijke studenten van de Delftse steekproef (DELSTU) heel goed overeenkomen met de resultaten van 20-jarige mannen van het 3e nationale groeionderzoek van Roede en Van Wieringen (1985), hetgeen de bruikbaarheid van de data van de Delftse studenten over hun segmenten vergroot. Bij de vrouwelijke studenten valt op dat ze significant ( $p < 0,005$ ) groter en zwaarder zijn, gemiddeld ongeveer 2 cm langer en 2 kg zwaarder, dan de vrouwen in het landelijk groeionderzoek. Dit betekent dat ook de met lengte en gewicht samenhangende variabelen iets groter zullen zijn. De steekproef DELSTU is beter gespreid dan DELKI en benadert GROEI'80 daarom beter, maar er blijft het verschil van 6 jaar, waarin bij de studenten een seculaire groeiverschuiving kan hebben plaatsgevonden.

rij	populatie	lichaamslengte (cm)		lichaamsgewicht (kg)		
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	
1	GROEI 1980	m	182	6,7	72	8,3
2	DELSTU 1986	m	181,9	6,6	71,9	8,1
3	verschil rij 1-2		0,1	0,1	0,1	0,2
4	Student-t		0,23787		0,19202	
	p-waarde (2-zijdig)		0,40609		0,42394	
5	GROEI 1980	v	168,3	6,2	60,2	6,9
6	DELSTU 1986	v	170	6,5	62,4	8,7
7	verschil rij 5-6		-1,7	-0,3	-2,2	-1,8
8	Student-t		-2,74194		-3,18841	
	p-waarde (2-zijdig)		0,00362		0,00096	

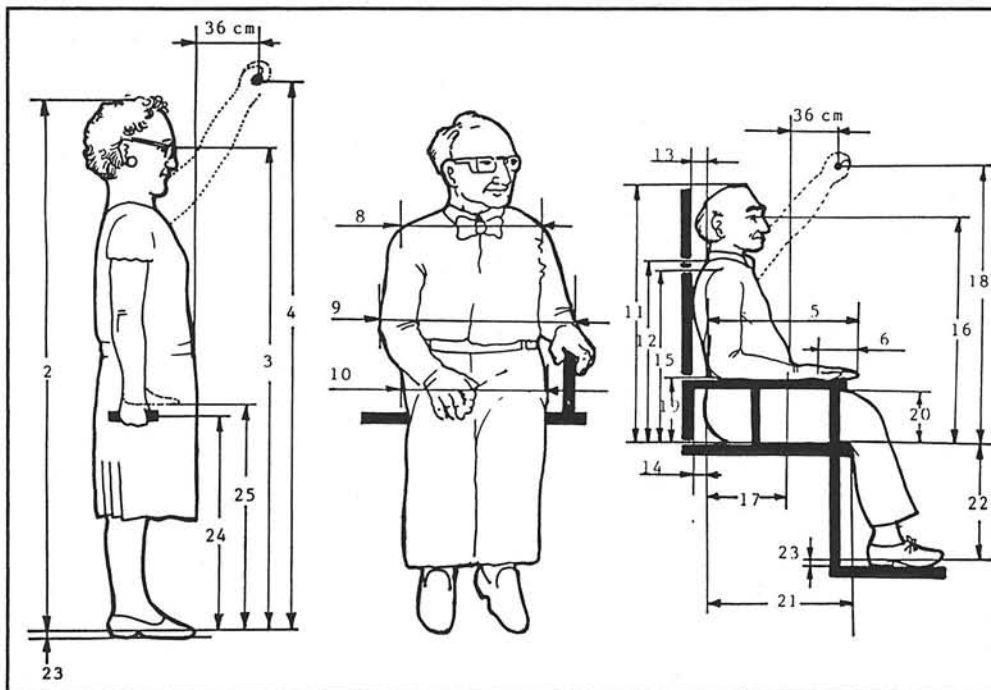
Tabel 4.4: Overzicht van het verschil tussen studenten en het Groeionderzoek van 1980 (GROEI'80) bij lengte en gewicht.

### 4.2.3 Haagse Senioren (bestand GDVV)

#### Methode van onderzoek

Omdat standaard meethoudingen veelal voor onderzoek voor jonge mensen zijn bedacht, dienden bij dit onderzoek, voor een aantal variabelen, eigen definities opgesteld te worden. Er waren wel enkele voorbeelden van antropometrisch onderzoek bij ouderen, die nader geanalyseerd zijn om na te gaan in hoeverre de werkwijze voor ons van toepassing was. Zo bleek de variabele 'laagste punt van rugcontact' (met de rechte rugleuning van een meetstoel) uit het onderzoek in Loughborough (ICE, 1981), in Delft niet reproduceerbaar en is dus niet in het protocol opgenomen. Dat zowel palmhoogte als vuisthoogte bij het GDVV-onderzoek is gemeten, komt omdat de eerste maat overeenkomt met het engelse onderzoek van ICE en de tweede overeenkomt met het duitse onderzoek (DIN). Met deze data kunnen zonnodig bruikbare regressievergelijkingen worden opgesteld, om de ene in de andere om te zetten. De lichaamslengte is bij een beperkt aantal personen niet alleen 'rechttop staand' gemeten, maar ook onder de conditie 'gestrekt' en 'doorgezakt'. Dit is bedoeld om de invloed van

de instructie op de houding te laten zien. De overige definities komen uit de DIN33402 (1981). De meeste van de gemeten variabelen zijn afgebeeld in Figuur 4.7 en de meetstoel wordt weergegeven in Figuur 4.8. Twee van deze meetstoelen zijn voor dit onderzoek geconstrueerd naar een idee van het onderzoek in Loughborough.



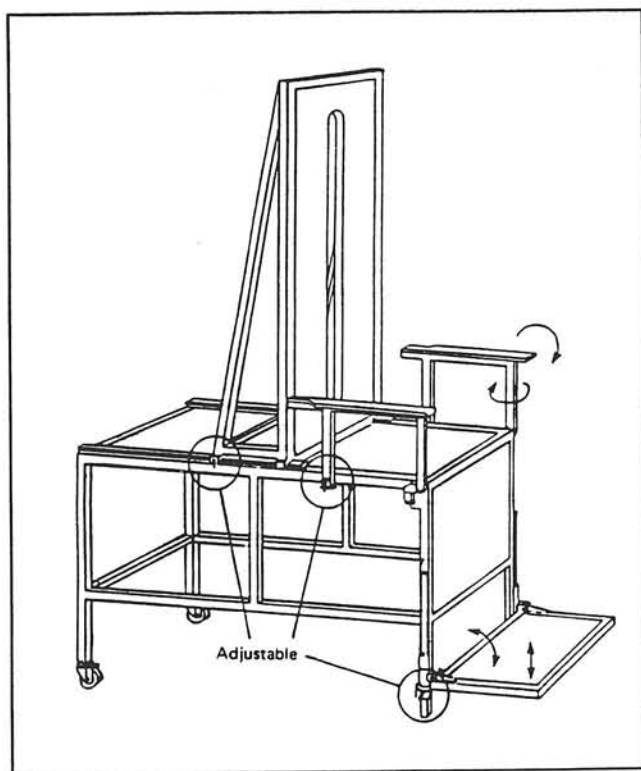
*Figuur 4.7: Overzicht van gemeten lichaamsmaten bij de GDVV-populatie.*

De meetstoel werd niet alleen voor alle 'zit'-maten gebruikt, maar ook voor de 'sta'-maten. Er was voor de GPM-antropometer een houder aan de meetstoel bevestigd, zodat de 'meter' meer aandacht aan het meetproces kon schenken.

#### Organisatie van het meten

Er werden drie meetteams getraind, die bestonden elk uit een 'meter' en een 'notulist'. Totaal zijn de 30 gedefinieerde lichaamsmaten binnen een periode van zes weken bij 822 senioren gemeten. Naderhand bleek bij de analyse, die overigens op dezelfde wijze verliep als bij de studenten is beschreven (Paragraaf 4.2.2), dat een aantal extreme waarden vraagtekens oproep. De meeste daarvan konden opnieuw gemeten worden (indien de proefpersoon niet inmiddels overleden was).

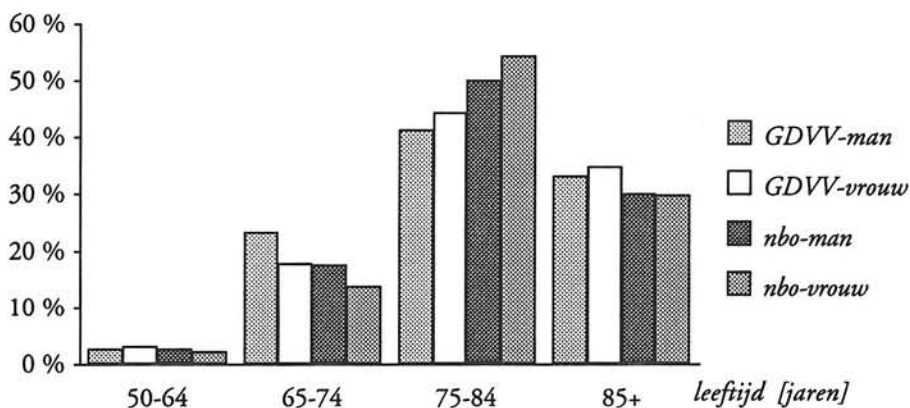




*Figuur 4.8: De meetstoel, waarmee de GDVV-populatie gemeten werd.*

### De steekproef

In Figuur 4.9 staat een overzicht van de verdeling van leeftijd en geslacht van de steekproef, vergeleken met die van de Nederlandse senioren in de bejaardenoorden.



*Figuur 4.9: Verdeling van leeftijd en geslacht van de GDVV-steekproef versus bewoners van de Nederlandse Bejaardenoorden (nbo).*

### Resultaten

In de Bijlage 4.4 staan de resultaten van de metingen aan de senioren per geslacht en per

maatsoort (breedte-, diepte-, lengte- en overige maten). De nummers tussen haakjes achter de namen van de variabelen, komen overeen met de nummers van Figuur 4.7.

Dat nu blijkt dat de gemiddelde waarde 'doorgezakt' in de tabel hoger uitvalt dan 'rechttop', komt doordat de senioren, die de instructie niet begrepen, veelal uit de psycho-geriatrische afdelingen kwamen en gemiddeld kleiner blijken te zijn (Molenbroek et al., 1983).

Gemiddeld blijkt echter, indien bij dezelfde groep wordt vergeleken, dat de lengte 'gestrekt' bijna 2 cm hoger uitvalt, dan de waarde 'doorgezakt'.

## 4.3 Vergelijkingen van de drie populaties

### 4.3.1 Gemiddelde waarden

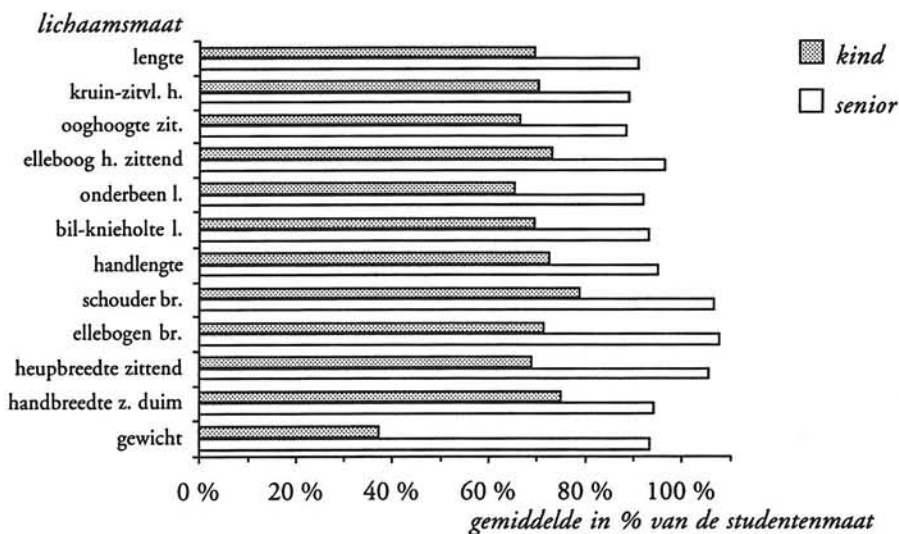
In deze paragraaf worden de gemiddelde waarden van de 12 gemeenschappelijke variabelen van de drie populaties met elkaar vergeleken. Als representant van de groep kinderen is de leeftijdsgroep van 7-jarige jongens genomen. De gemiddelde waarden bij de studenten gelden als 100% en die van de kinderen en de senioren is als percentage van de van de studenten uitgedrukt (Figuur 4.10). In Figuur 4.10 wordt duidelijk gemaakt dat de senioren op een aantal lichaamsmaten hogere gemiddelde waarden hebben dan de studenten: elleboogbreedte, heupbreedte zittend en schouderbreedte biacromiale. Als laagste relatieve waarde ten opzichte van de studenten geldt de ooghoogte zittend. Deze verschillen zijn te verklaren uit het feit dat de lichaamsvorm met de toename van de leeftijd niet alleen iets breder wordt, maar ook iets meer gebogen.

Bij de kinderen haalt het lichaamsgewicht nog geen 40% van die van de studentenpopulatie, maar de overige maten liggen in het gebied van 65-80% van die van de studentenpopulatie. Dit komt redelijk overeen met wat hierover in Hoofdstuk 2 is geschreven ten aanzien van de groei van vorm en afmeting.

### 4.3.2 Standaarddeviatie

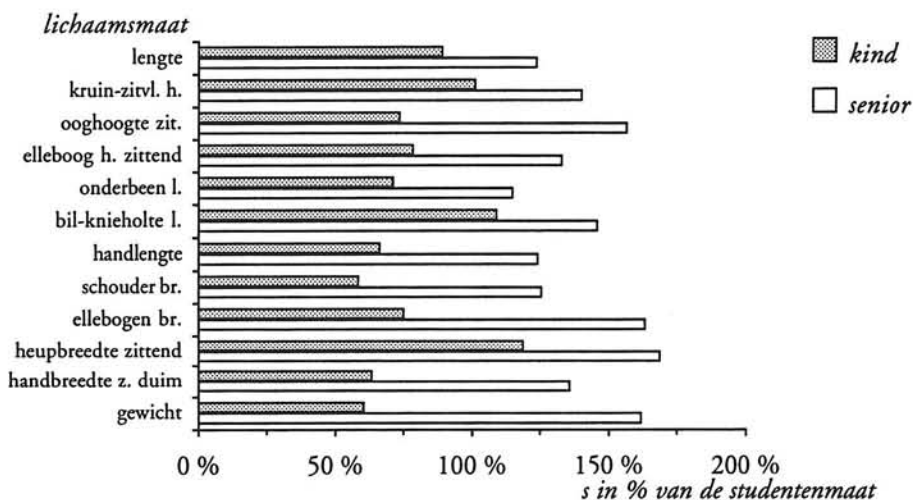
Op dezelfde wijze als in 4.3.1 is de standaarddeviatie bij de 12 gemeenschappelijke variabelen vergeleken. Dit wil zeggen dat de  $s$  bij de studenten geldt als 100% en dat de  $s$  van de kinderen en de senioren als percentage van de  $s$  van de studenten worden uitgedrukt (Figuur 4.11).

Opvallend is dat bij de kinderen van 7 jaar de  $s$  van enkele maten hoger uitvallen dan 100%  $s$  van de studentenmaten: heupbreedte, kruinzitvlak hoogte en bil-knieholte lengte. Dit verschijnsel valt ook te constateren bij de 7-8 jarigen in Duitsland (DIN33402, 1981). Bij de senioren valt op dat er geen enkele  $s$  lager is dan 115%. Ook bij de DIN33402-waarden voor 60-65 jarigen valt dit reeds waar te nemen.



*Figuur 4.I0: Overzicht van de gemiddelde waarden van kind en senior ten opzichte van de student. Kind= 7-jarige kind.*

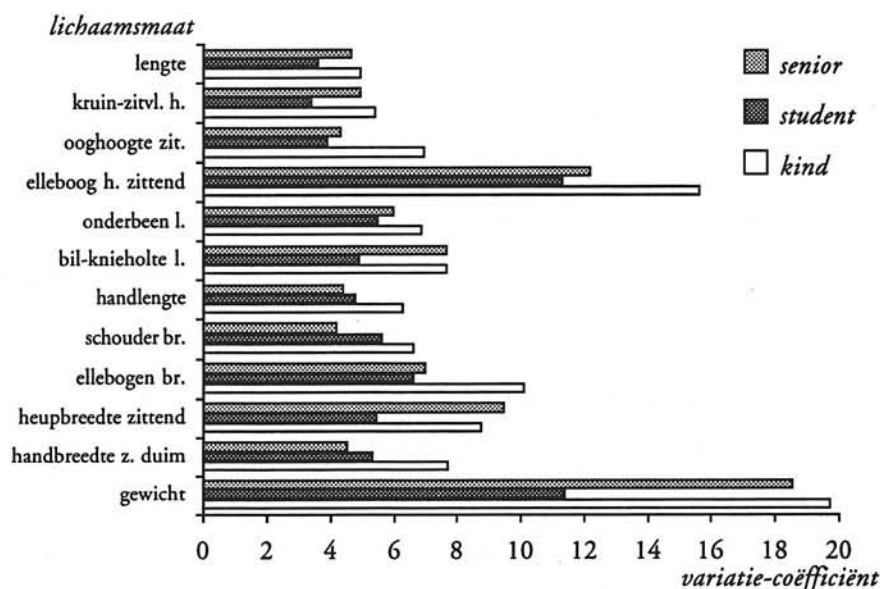
Een mogelijke verklaring (bij 7 jaar) kan zijn dat juist op die leeftijden pre-puberele groeiversnellingen voorkomen, die niet bij iedereen gelijkelijk beginnen en daardoor zorgen dat de spreiding juist dan wat groter is. De gebruikelijke verklaring voor de grotere s bij senioren is dat er in het algemeen een toenemende variantie is met de leeftijd en wel wegens een soort cumulatie van diverse omgevingsinvloeden in hun leven bovenop het genetische programma.



*Figuur 4.II: Overzicht van de standaarddeviaties van kind en senior ten opzichte van de student. Kind=7-jarige kind; studenten=100%.*

### 4.3.3 Variatie-coëfficiënt

De variatie-coëfficiënt ( $VC = 100 * s / \bar{x}$ ) van de drie groepen uit de twee vorige paragrafen is in Figuur 4.12 samengesteld. Opvallend is naast de grote VC's van het gewicht bij kind en senior, dat de VC's van de 'elleboog-zitvlak hoogte' ver boven de andere 10 lichaamsmaten uitsteken. Bij studenten geldt dat twee VC's de grootste zijn: gewicht en elleboog hoogte; maar voor deze twee variabelen hebben de kinderen en de senioren nog grotere waarden. Verder blijkt dat bij kind en senior de lichaamslengte de kleinste VC heeft; bij de student is de kruin-zitvlak hoogte nog iets lager, hetgeen overeenkomt met Roebuck et al. (1975). Als we controleren of de in ons onderzoek gevonden VC's binnen de klassen vallen, die Roebuck et al. hebben opgesteld op basis van 10 antropometrische onderzoeken, dan blijkt dat dit voor elke variabele wel het geval is bij de studenten, maar niet voor de kinderen en de senioren (Tabel 4.5). Dit is verklaarbaar, omdat gegevens van Roebuck et al. afkomstig zijn van vooral militaire data. Onze onderzoekgegevens adstrueren daarmee dat de variatiecoëfficiënt bij de jongsten en de ouderen groter zijn dan bij de militairen.



Figuur 4.12: Overzicht van de variatie-coëfficiënten bij de gemeenschappelijke variabelen bij kind, student en senior. Kind=7-jarig kind.

variabele	kinderen	studenten	senioren	Roebuck
lengte	4,66	3,63	4,95	2,74-3,79
kruin-zitvlak hoogte	4,96	3,44	5,41	3,09-4,04
ooghoogte zittend	4,36	3,93	6,98	3,73-4,53
ellebooghoogte zittend	12,21	11,32	15,64	-
schouderbreedte	4,2	5,62	6,64	4,13-6,23
onderbeenlengte	6,02	5,51	6,89	4,16-5,05
handlengte	4,43	4,82	6,3	4,16-5,06
heupbreedte zittend	9,5	5,49	8,78	4,96-6,97
elleboogbreedte	7,02	6,65	10,11	6,05-8,73
bil-knieholte lengte	7,71	4,91	7,71	4,04-4,8

Tabel 4.5: *Overzicht van variatiecoëfficiënten van de drie proefstudies: kinderen, studenten en senioren en de data van Amerikaanse militairen.*

#### 4.3.4 Vergelijking met KIMA

Om een indruk te krijgen van de seculaire groeiverschuiving, is een vergelijking tussen het DELKI-onderzoek en het KIMA-onderzoek (Steenbekkers, 1993) opgenomen. De verschillen tussen beide onderzoeken kunnen theoretisch door de volgende factoren veroorzaakt worden:

- door seculaire groeiverschuiving tussen 1980 en 1990;
- door regionale verschillen tussen Delft en het landelijk gemiddelde;
- doordat de aantallen kinderen in DELKI niet bepaald zijn op grond van aantallen kinderen in de regio per leeftijd en geslacht.

Het KIMA-onderzoek (n=2400) is landelijk representatief voor leeftijd en geslacht van kinderen van van 2-12 jaar in 1992 in Nederland. De grootte van de KIMA-steekproef in de regio Zuid-Holland kwam op basis van urbanisatiegraad en bevolkingsdichtheid neer op ongeveer 30% van de landelijke steekproef; daarnaast werd rekening gehouden met de sociaal-economische status bij het zoeken van de scholen.

Bij het meten van DELKI is de verdeling van de sociaal-economische status van de samenleving redelijk vertegenwoordigd, doordat op diverse basisscholen in Delft en omstreken is gemeten, zowel op een Jena-plan school als op rooms-katholieke en protestant-christelijke scholen. Bij het DELKI-onderzoek zijn totaal 351 kinderen van 4-13 jaar gemeten in de jaren 1979-1981.

Volgens de literatuur worden verschillen tussen regio's in Nederland minder groot (Roede en Van Wieringen, 1985) of zijn nauwelijks aantoonbaar (Steenbekkers, 1993). Gezien het bovenstaande is de verwachting dat de verschillen tussen KIMA en DELKI veroorzaakt worden door een combinatie van de faktor 'seculaire groeiverschuiving over de periode van 1980 to 1990' en door de faktor 'regionale verschillen'.

Omwille van illustratie is de vergelijking bij slechts één leeftijdsgroep uitgevoerd, namelijk bij 7-jarige meisjes. Hierbij was de steekproefgrootte respectievelijk 93 voor KIMA landelijk en 23 voor DELKI.

variabele	KIMA (K)		DELKI (D)		Verschil (K-D)		T	P
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s		
bil-knieholte lengte	36.3	2.2	34.4	2.9	1.9	-0.7	4,1419	0,00021
bil-knieschijf lengte	44.2	2.3	39.2	3.7	5	-1.4	10,4257	0,00000
ellebogen breedte	30.7	2.7	30	2.6	0.7	0.1	1,2434	0,11341
elleboog zitvlak	17.3	1.8	17.1	1.4	0.2	0.4	0,5329	0,29973
handbreedte	6.4	0.3	6.1	0.4	0.3	-0.1	4,7958	0,00004
handlengte	13.8	0.7	13	0.8	0.8	-0.1	5,4810	0,00001
heupbreedte zittend	24.6	2.1	23.3	1.9	1.3	0.2	2,9688	0,00354
kruin zitvlak hoogte	68.7	2.7	64.7	2.8	4	-0.1	7,1049	0,00000
lichaamsgewicht	26.9	4.3	23.8	3.3	3.1	1	3,4575	0,00112
lichaamslengte	128.6	5.7	121.9	6.6	6.7	-0.9	5,6372	0,00001
onderbeen lengte	34.7	2.2	30.7	1.7	4	0.5	8,7197	0,00000
ooghoogte zittend	57.9	2.7	51.6	2.9	6.3	-0.2	11,1903	0,00000
schouderhoogte zittend	42.4	2.3	41.1	2.7	1.3	-0.4	2,7107	0,00638
voetbreedte	19.8	1	18.6	1.1	1.2	-0.1	5,7550	0,00000
voetlengte	7.5	0.5	7.1	0.3	0.4	0.2	3,8267	0,00045

Tabel 4.6: Overzicht van de verschillen tussen KIMA en DELKI bij 7-jarige meisjes.

Uit Tabel 4.6 volgt dat de DELKI kinderen voor deze leeftijdsgroep voor verreweg de meeste maten (behalve bij ellebogen breedte en elleboog-zitvlak hoogte) significant ( $p < 0,001$ ) kleinere waarden hebben.

Wanneer deze vergelijking wordt gedaan voor de regionale data van KIMA (met  $n=30$  meisjes van 7 jaar), blijft het voorgaande resultaat gehandhaafd, zij het dat over de gehele linie de KIMA-waarden iets lager liggen, en dus de verschillen iets kleiner zijn. De lichaamslengte is bijvoorbeeld 126,8 cm en het lichaamsgewicht is dan 25,9 kg. De conclusie is dus dat de waarden verschillen en wel door steekproefsamestelling en/of door seculaire groeiverschuiving in een periode van 10 jaar.

## 4.4 Correlaties

### 4.4.1 Correlaties bij kinderen

Om een indruk van de samenhang van de lichaamsmaten te krijgen, kan een scatterplot inzichtelijk zijn (Figuur 4.3, blz. 144). In deze paragraaf wordt een indruk gegeven van de samenhang bij een deel van de kinderen; bij de 7-12 jarigen zijn de aantallen per leeftijdsjaar voldoende groot. Tabel 4.7 en Tabel 4.8 geven een indruk van het mogelijk verloop van de correlatiecoëfficiënten met de leeftijd. De keuze is gemaakt voor die variabelen, die het meest relevant zijn voor een ondersteuningsmiddel van een kind.

leeftijd	geslacht	lichaams- lengte	heupbreedte zittend	bil-popl. lengte	popliteale hoogte	voetlengte
7	jongen	0,76	0,66	0,84	0,84	0,67
	meisje	0,72	0,49	0,64	0,88	0,89
8	jongen	0,8	0,4	0,81	0,95	0,93
	meisje	0,85	0,8	0,63	0,91	0,87
9	jongen	0,51	0,2	0,77	0,74	0,62
	meisje	0,66	0,62	0,69	0,89	0,7
10	jongen	0,81	0,45	0,63	0,81	0,78
	meisje	0,8	0,68	0,79	0,78	0,83
11	jongen	0,66	0,74	0,76	0,82	0,9
	meisje	0,65	0,61	0,46	0,38	0,52
12	jongen	0,74	0,63	0,68	0,6	0,65
	meisje	0,7	0,56	0,77	0,88	0,73

Tabel 4.7: Overzicht van de correlatiecoëfficiënten van de Delfse kinderen tussen enerzijds de lichaamslengte en anderzijds het lichaamsgewicht, de heupbreedte zittend, de bil-popliteale lengte, de popliteale hoogte en de voetlengte.

leeftijd	geslacht	heupbreedte zittend	bil-popl. lengte	popliteale hoogte	voetlengte
7	jongen	0,92	0,73	0,74	0,73
	meisje	0,85	0,6	0,55	0,63
8	jongen	0,67	0,81	0,83	0,83
	meisje	0,92	0,71	0,84	0,71
9	jongen	0,7	0,53	0,36	0,48
	meisje	0,85	0,87	0,09	0,48
10	jongen	0,74	0,63	0,6	0,79
	meisje	0,81	0,78	0,46	0,73
11	jongen	0,76	0,51	0,37	0,83
	meisje	0,7	0,46	0,66	0,61
12	jongen	0,85	0,52	0,48	0,74
	meisje	0,83	0,7	0,51	0,77

Tabel 4.8: Overzicht van de correlatiecoëfficiënten van de Delfse kinderen tussen enerzijds de lichaamsgewicht en anderzijds de heupbreedte zittend, de bil-popliteale lengte, de popliteale hoogte en de voetlengte.

Uit deze twee correlatietabellen valt af te leiden dat lichaamslengte en lichaamsgewicht twee redelijk bruikbare indicatoren zijn, om in dit verband de grootte van de ontwerp-relevante variabelen te kunnen voorspellen. De meeste coëfficiënten zijn groter dan 0,7. Enkele zijn onverwachts laag, maar bij nadere bestudering van het bijbehorende scatterplot blijken geen bijzonderheden en dient de oorzaak gezocht te worden in de geringe aantallen voor die combinatie van variabelen en wellicht de invloed van niet-Nederlandse (dus kleinere en wellicht andere proporties) kinderen. Voor ontwerpdoeleinden is het gebruik van het gehele gegevensbestand met data van alle variabelen natuurlijk beter. Dan kan men steeds de juiste doorsnede maken en

constateren hoeveel personen worden uitgesloten bij een bepaalde keuze. De leeftijd en het geslacht spelen in deze twee configuraties slechts een secundaire rol (dat bleek ook door vergelijking met de partiële correlatiecoëfficiënten, waarbij gecorrigeerd was voor de invloed door de leeftijd en geslacht) en dat betekent dat voor ontwerpdoeleinden met een leeftijds- en geslachts-onafhankelijke correlatiecoëfficiënt mag worden gerekend. Dit betekent dat bij de bestudering van bijvoorbeeld de samenhang tussen onderbeenlengte en bovenbeenlengte, men niet hoeft te verwachten dat deze samenhang per leeftijd veel verschilt. In Hoofdstuk 5 wordt bij vraagstuk 10 nader ingegaan op toepassing van antropometrische data voor schoolmeubilair.

#### 4.4.2 Correlaties bij studenten

In deze paragraaf wordt een indruk gegeven van de samenhang met lengte en gewicht. Omdat de variatie in en de samenhang met de leeftijd bij de studenten niet zo groot is, is hier van elke gemeten variabele de correlatiecoëfficiënt weergegeven met lengte en gewicht, gesplitst naar geslacht. De correlatie tussen lengte en gewicht was 0,67 bij mannen en 0,64 bij vrouwen.

In de literatuur over skeletbouw, bijvoorbeeld Lamberts (1969) of Roebuck et al. (1975), blijkt dat er in het algemeen een hoge correlatie is tussen lengtematen onderling. Op de DINED-tabel (Molenbroek en Dirken, 1986) zijn we destijds uitgekomen op een gemiddelde waarde van 0,65 op basis van de correlatietabellen van Roebuck et al. (1975). Uit Tabel 4.9 en 4.10 blijkt een correlatie van de lengtematen met de lichaamslengte van 0,7-0,9. Dit komt dus overeen met het voorgaande. De hoogste correlaties met de lichaamslengte komen voor bij de: ooghoogte staand, hoogte C7 en schouderhoogte staand; hierbij wordt 99% van de variantie door de lichaamslengte verklaard. Dit betekent voor ontwerpdoeleinden dat de lichaamslengte een indicatie is voor deze 'lengte' maten en de de grootte ervan met een eenvoudige regressievergelijking nader bepaald kan worden. Hierbij dient men zich wel te realiseren dat het betrouwbaarheidsinterval breder wordt naarmate de correlatie met de lengte lager is. De meest bruikbare maat is nog steeds de ontwerprelevante lichaamsmaat en niet de meest gemeten maat.

- De laagste correlaties met de lichaamslengte komen voor bij: de huidplooiën subscapula, biceps, iliocristale en triceps; hierbij wordt minder dan 1% van de variantie verklaard door de lichaamslengte. Dit komt overeen met resultaten van de hierboven genoemde literatuur.
- De hoogste correlatie met het lichaamsgewicht komt voor bij de kniebreedte van vrouwen (64% verklaarde variantie) en, eveneens bij de vrouwen, de huidplooi biceps; hierbij wordt 73% van de variantie verklaard door het lichaamsgewicht. Dit komt overeen met resultaten van de hierboven genoemde literatuur.
- De laagste correlatie met het lichaamsgewicht komt voor bij de ellebooghoogte zittend, de breedte wijsvingertop en de enkelknobbelhoogte bij vrouwen; hierbij wordt minder dan 5% van de variantie verklaard door het lichaamsgewicht.



Dit komt overeen met resultaten van de hierboven genoemde literatuur. Voor ontwerptoeepassingen betekent een lage correlatie dat de ontwerper eerder aan een verstelling of een instelling moet gaan denken (Zie ook Paragraaf 5.2.2).

variabele	lichaamslengte geslacht		lichaamsgewicht geslacht	
	man	vrouw	man	vrouw
variabele bil-knieholte diepte	0,744	0,741	0,441	0,690
bil-knieschijf diepte, zittend	0,772	0,810	0,548	0,773
bil-voetdiepte	0,862	0,857	0,456	0,653
borstdiepte	0,173	0,284	0,700	0,642
breedte van elleboog tot elleboog	0,077	0,339	0,677	0,735
breedte wijsvingertop	0,227	0,140	0,220	0,254
buitenste enkelknobbelhoogte	0,552	0,453	0,385	-0,034
dijbeenhoogte	0,139	0,335	0,722	0,730
elleboog-gripasdiepte	0,729	0,683	0,352	0,414
elleboog-vingertop	0,857	0,793	0,445	0,411
ellebooghoogte, staand, gebogen arm	0,928	0,885	0,462	0,607
ellebooghoogte, zittend	0,160	0,205	0,194	0,052
handbreedte (zonder duim), metacarpaal	0,468	0,271	0,490	0,128
handbreedte met duim	0,429	0,354	0,471	0,388
handdikte	0,223	0,103	0,243	0,127
handlengte	0,733	0,676	0,392	0,395
heupbreedte, staand	0,490	0,542	0,761	0,836
heupbreedte, zittend	0,377	0,523	0,794	0,812
hoofddiepte glabella-ophistocranium	0,288	0,326	0,250	0,234
hoofddiepte nasion-ophistocranium	0,271	0,353	0,266	0,209
hoogte cervicaal 7 (staand)	0,966	0,968	0,473	0,610
hoogte trochanter major	0,743	0,745	0,351	0,435
huidplooi biceps in 0,1 mm	-0,157	0,284	0,574	0,851
huidplooi iliocristale in 0,1 mm	-0,115	0,370	0,598	0,722
huidplooi subscapula in 0,1 mm	-0,161	0,248	0,558	0,753
huidplooi triceps in 0,1 mm	-0,025	0,101	0,537	0,701
kniebreedte	0,229	0,388	0,692	0,806
knieknobbelhoogte (femur condyl lat)	0,829	0,830	0,418	0,461
knijpkracht hand	0,215	0,293	0,299	0,304
kruin-zitvlakhoogte	0,742	0,805	0,434	0,527
onderbeenlengte	0,842	0,755	0,316	0,307
ooghoogte, staand	0,963	0,988	0,463	0,609
ooghoogte, zittend	0,720	0,724	0,436	0,401
polsbreedte	0,375	0,237	0,457	0,219
reikdiepte grijpas (zittend/staand)	0,691	0,569	0,367	0,364
reikhoogte, staand (reach height)	0,907	0,929	0,427	0,578
schouder-ellebooglengte	0,801	0,737	0,356	0,371
schouderbreedte biacromiaal	0,373	0,332	0,475	0,576
schouderbreedte bideltaoideus	0,204	0,495	0,669	0,706
schouderhoogte, staand	0,951	0,886	0,463	0,536
vuisthoogte, staand	0,788	0,839	0,413	0,605
wijsvingerlengte	0,563	0,566	0,325	0,332

Tabel 4.9: De correlatie bij de studenten met lengte en gewicht.

#### 4.4.3 Correlaties bij senioren

In deze paragraaf wordt een indruk gegeven van de samenhang van de gemeten variabelen met lengte en gewicht.

variabele	lichaamslengte geslacht		lichaamsgewicht geslacht	
	man	vrouw	man	vrouw
bil-knieholte diepte	0,675	0,596	0,404	0,500
breedte van elleboog tot elleboog	0,288	0,203	0,680	0,685
buikdiepte zittend	0,095	0,192	0,728	0,813
cervicale hoogte staand	0,731	0,714	0,585	0,476
dijbeenhoogte	0,206	0,280	0,573	0,635
afstand rugvlak tot C7	0,007	-0,092	-0,094	-0,119
afstand rugvlak tot sacrum	-0,101	-0,244	-0,156	-0,319
elleboog-vingertop	0,744	0,628	0,454	0,381
ellebooghoogte, zittend	0,261	0,331	0,324	0,392
hakhoogte	-0,057	0,145	0,050	0,159
handbreedte (zonder duim), metacarpaal	0,498	0,392	0,461	0,394
handlengte	0,556	0,569	0,317	0,288
heupbreedte, zittend	0,389	0,296	0,829	0,846
knijpkracht hand	0,450	0,467	0,379	0,402
kruin zitvlakhoogte	0,790	0,790	0,526	0,492
lichaamsgewicht	0,500	0,477	1,000	1,000
lichaamslengte doorgezakt	0,996	0,970	0,594	0,536
lichaamslengte gestrekt	0,994	0,998	0,594	0,555
onderbeenlengte	0,682	0,472	0,175	0,035
ooghoogte, staand	0,964	0,858	0,494	0,395
ooghoogte, zittend	0,684	0,714	0,526	0,482
palmhoogte staand	0,824	0,816	0,449	0,477
reikhoogte zittend	0,586	0,579	0,456	0,458
reikhoogte, staande op 34 cm	0,782	0,758	0,371	0,325
schouderbreedte biacromiaal	0,525	0,446	0,751	0,737
schouderhoogte zittend	0,677	0,666	0,566	0,412
vuisthoogte, staand	0,729	0,740	0,403	0,350

Tabel 4.11: Correlatiecoëfficiënten van alle variabelen met lengte en gewicht per geslacht.

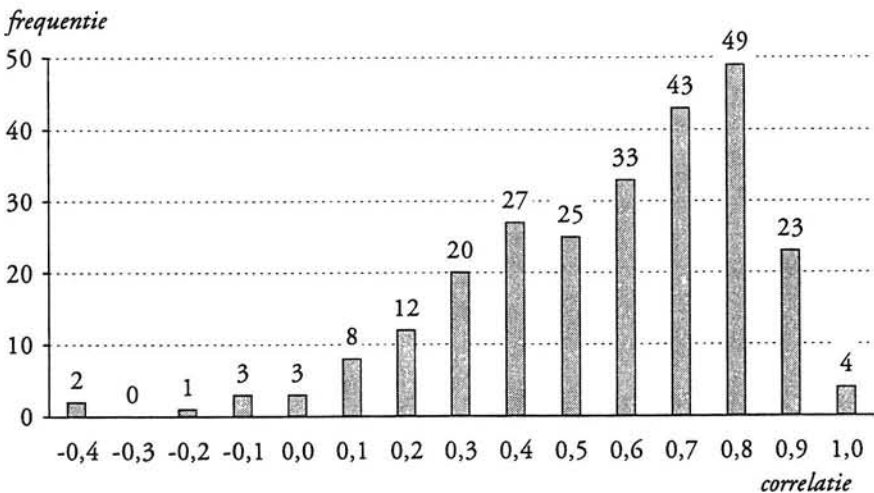
In het algemeen geldt de beschouwing onder Tabel 4.10 hier ook, met dien verstande dat:

- De hoogste correlaties met de lichaamslengte komen voor bij de: ooghoogte staand en de hoogte C7 staand, dit geldt voor beide varianten in de lichaamslengte: doorgezakt en gestrekt; hierbij wordt maximaal 92% van de variantie door de lichaamslengte verklaard; dit is 7% minder dan bij de studenten.
- De laagste correlaties met de lichaamslengte (afgezien van hakhoogte en de beide rugcurve maten: rugvlak-C7 en rugvlak-sacrum) komt voor bij de buikdiepte zittend; hierbij wordt minder dan 1% van de variantie verklaard door de lichaamslengte.

- De hoogste correlatie met het lichaamsgewicht komt voor bij de heupbreedte en buikdiepte; hierbij wordt tot 64% van de variantie verklaard door het lichaamsgewicht.
- De laagste correlatie met het lichaamsgewicht komt voor bij de onderbeenlengte; hierbij wordt minder dan 2% van de variantie verklaard door het lichaamsgewicht.

#### 4.4.4 De correlatie per soort maat

Voor het ontwerpen is de samenhang tussen de lichaamsmaten van groot belang (zie Hoofdstuk 5 vraagstuk 4 tot 12), maar bij het ontbreken van gegevens is een schatting van de correlatie-coëfficiënt per soort maat (lengte, breedte, diepte of omvang) een praktische oplossing. In Tabel 4.13 worden per correlatie-coëfficiënt van de meetgegevens uit de drie voorgaande onderzoeken, zowel het gemiddelde als mediaan en  $s$  weergegeven, omdat de verdelingen vaak niet normaal waren. Als illustratie van het niet normaal-verdeeld zijn dient Figuur 4.13.



*Figuur 4.13: Voorbeeld van een niet-normale verdeling van 253 correlatiecoëfficiënten tussen lengtematen bij vrouwelijke studenten.*

Omdat in de eigen proefstudies geen omvangsmaten aanwezig waren, is voor deze analyse gebruik gemaakt van de Dutchmil-data, de militairen die in 1985 door het Instituut voor Zintuigfysiologie gemeten zijn (Brekelmans e.a., 1986). Wat opvalt is dat de geschatte correlatie-coëfficiënten op de DINED-tabel, afgeleid uit de data van Roebuck et al. (1975), in globale zin wel overeenkomen met de gemiddelde mediane waarde in deze tabel, met uitzondering van de breedte\*breedte (zie ook Tabel 4.14).

soort	populatie	geslacht	soort maat												
			breedte			diepte			lengte			omvang			
			M	$\bar{x}$	s	M	$\bar{x}$	s	M	$\bar{x}$	s	M	$\bar{x}$	s	
breedte	7-8-9-jarigen	man	0.30	0.36	0.19	.	.	.	0.37	0.35	0.22	.	.	.	
		vrouw	0.49	0.48	0.27	.	.	.	0.49	0.43	0.27	.	.	.	
		samen	0.43	0.43	0.20	.	.	.	0.48	0.41	0.23	.	.	.	
	bejaarden	man	0.43	0.46	0.13	0.49	0.47	0.18	0.34	0.32	0.14	.	.	.	
		vrouw	0.42	0.44	0.14	0.53	0.51	0.17	0.29	0.27	0.12	.	.	.	
		samen	0.43	0.41	0.17	0.45	0.44	0.20	0.30	0.31	0.17	.	.	.	
	militairen	man	0.26	0.30	0.15	.	.	.	0.20	0.20	0.12	0.34	0.37	0.18	
	studenten	man	0.37	0.38	0.18	0.25	0.25	0.17	0.28	0.27	0.13	.	.	.	
		vrouw	0.32	0.39	0.22	0.27	0.29	0.20	0.26	0.25	0.17	.	.	.	
samen		0.48	0.44	0.21	0.33	0.31	0.19	0.41	0.40	0.18	.	.	.		
diepte	bejaarden	man	0.49	0.47	0.18	.	.	.	0.17	0.15	0.09	.	.	.	
		vrouw	0.53	0.51	0.17	.	.	.	0.19	0.19	0.11	.	.	.	
		samen	0.45	0.44	0.20	.	.	.	0.08	0.12	0.12	.	.	.	
	studenten	man	0.25	0.25	0.17	0.17	0.26	0.26	0.20	0.19	0.07	.	.	.	
		vrouw	0.27	0.29	0.20	0.12	0.24	0.28	0.23	0.21	0.14	.	.	.	
		samen	0.33	0.31	0.19	0.08	0.25	0.30	0.35	0.28	0.17	.	.	.	
	lengte	7-8-9-jarigen	man	0.37	0.35	0.22	.	.	.	0.49	0.43	0.35	.	.	.
			vrouw	0.49	0.43	0.27	.	.	.	0.62	0.51	0.32	.	.	.
			samen	0.48	0.41	0.23	.	.	.	0.58	0.48	0.33	.	.	.
bejaarden		man	0.34	0.32	0.14	0.17	0.15	0.09	0.55	0.53	0.21	.	.	.	
		vrouw	0.29	0.27	0.12	0.19	0.19	0.11	0.49	0.49	0.21	.	.	.	
		samen	0.30	0.31	0.17	0.08	0.12	0.12	0.57	0.56	0.19	.	.	.	
militairen		man	0.20	0.20	0.12	.	.	.	0.30	0.41	0.26	0.23	0.24	0.11	
studenten		man	0.28	0.27	0.13	0.20	0.19	0.07	0.67	0.61	0.23	.	.	.	
		vrouw	0.26	0.25	0.17	0.23	0.21	0.14	0.65	0.60	0.23	.	.	.	
	samen	0.41	0.40	0.18	0.35	0.28	0.17	0.74	0.69	0.23	.	.	.		
omvang	militairen	man	0.34	0.37	0.18	.	.	.	0.23	0.24	0.11	0.47	0.49	0.27	

Tabel 4.13: Kenmerken van correlatie-coëfficiënten per soort maat en per soort populatie. Een lege cel betekent dat betreffende combinatie niet gemeten is. De variabelen per populatie kunnen verschillend zijn!

Verder valt op dat de standaarddeviatie van de  $r$  steeds een relatief grote waarde heeft, tot soms meer dan 50% van het gemiddelde of de mediane waarde. Dit betekent dat het schatten met echte gegevensbestanden wel erg grof wordt door het werken met de mediane of gemiddelde  $r$ . Hierdoor worden de extreme waarden mogelijk benadeeld. Als we dat toch aanvaarden en zoeken naar een richtlijn voor ontwerpers in de vorm van een tabel met daarin één waarde van  $r$  per soort maat, zoals op de DINED, dan ontstaat Tabel 4.14. De cijfers hierin zijn de gemiddelde mediane waarde per soort maat.

soort maat	breedte	diepte	lengte	omvang
breedte	0,43 (0,65)			
diepte	0,39 (0,40)	0,10 (0,20)		
lengte	0,35 (0,30)	0,22 (0,20)	0,55 (0,65)	
omvang	0,34 (0,50)	-0,5	0,23 (0,20)	0,47 (0,40)

Tabel 4.14: Gemiddelde mediane waarden van de correlatie-coëfficiënten tussen soorten maten op basis van de meetgegevens van de in dit hoofdstuk besproken steekproeven van kinderen (7, 8 en 9 jaar), studenten, bejaarden en militairen. Cijfers tussen haakjes geven de DINED-waarden.

## 4.5 Groepering van variabelen

Om na te gaan of er onderliggende factoren zouden zijn, die de variantie in de gemeenschappelijke variabelen zouden kunnen verklaren, is een gemeenschappelijke correlatiematrix geconstrueerd, met 14 antropometrische variabelen van de drie voorgaande empirische studies te zamen, inclusief leeftijd en geslacht. Vervolgens is deze matrix gebruikt voor een factor analyse; eerst de principale componenten factor analyse en vervolgens de varimax rotatie. Omdat de invloed van leeftijd en geslacht onzeker was, is de factor analyse ook uitgevoerd, na partiële correlatie voor leeftijd en geslacht. De factor analyse is verder zo uitgevoerd dat de diagonaal van de correlatiematrix vervangen is door  $R^2$ , het kwadraat van de multiële correlatie-coëfficiënt, tussen een variabele en de overige variabelen in de dataset. Zodoende kan de variabele na de factor analyse geschreven worden als lineaire combinatie van de gevonden factoren (SAS-User's Guide: Statistics, 1982).

De resultaten van de eerste factor analyse (naar principale componenten en gepartieerd naar leeftijd en geslacht) waren als volgt:

De 1ste factor verklaarde 41% met de principale componenten; de variabelen met een hogere lading dan 0,5 waren:

- lichaamsgewicht
- lichaamslengte
- handlengte
- handbreedte
- schouderbreedte
- heupbreedte
- bil-knieholte lengte
- kruin-zitvlak hoogte
- ooghoogte zittend

Deze lijst van variabelen kan als een 'volume factor' worden opgevat.

De 2de factor verklaarde 13%. De enige variabele met een hogere lading dan 0,5 was:

- popliteale hoogte

Dit is als een beenlengte factor opgevat.

De 3de factor verklaarde nog 9%. De variabelen met een hogere lading dan 0,5 waren:

- kruin-zitvlak hoogte
- ooghoogte zittend

Dit is als een romplengte factor opgevat.

De 4de factor verklaarde nog 2%, maar had geen factorladingen hoger dan 0,5.

Totaal werd er met 3 factoren 63% van de variantie verklaard.

Na varimax rotatie kwamen er de volgende wijzigingen:

Bij de eerste factor scoorde alleen lichaamslengte, handlengte en popliteale hoogte hoger dan 0,5. Dit leek voldoende reden om de eerste factor nu als een algemene lengte factor op te vatten.

Bij de tweede factor kwam een volume factor naar voren met de variabelen:

- lichaamsgewicht
- schouderbreedte
- heupbreedte
- ellebogen breedte

De derde factor verklaarde nu nog 18% met de volgende drie variabelen, die een factorlading hadden groter dan 0,5:

- kruin-zitvlak hoogte
- ooghoogte zittend
- ellebooghoogte zittend

Dit is weer als een romplengte factor opgevat.

De 4e factor verklaarde nog 2%, maar had weer geen factorladingen hoger dan 0,5.

Bij de tweede Factor Analyse, als leeftijd en geslacht wel in de correlatiematrix meegenomen worden, blijkt dat de totaal verklaarde variantie hoger is (76%).

De factoren verklaren na de principale componenten analyse respectievelijk: 48%, 16%, 7%, en 4%, met als som 75%.

Na de varimax rotatie werd dit respectievelijk: 35%, 17%, 15%, en 7%, met als som 74%, hetgeen een betere verdeling over de factoren geeft.

De variabelen geven echter aanleiding tot dezelfde betekenis van de factoren; na de varimax rotatie is dat weer: een algemene lengte factor, een volume factor en een romplengte factor.

### Conclusie

Bij deze set variabelen is de invloed van de leeftijd en geslacht op het verklaren van 75% van de variantie door onderliggende factoren 'algemene lengte', 'volume' en 'romplengte' niet van belang.

## Slot

In dit hoofdstuk is een aantal Nederlandse dataverzamelingen, over sub-populaties, weergegeven, geanalyseerd en onderling vergeleken. Waar nog geen juister of uitgebreider materiaal aanwezig is, zoals voor bejaarden en jong-volwassenen, kunnen deze data als ontwerphulp dienen, om op maat te ontwerpen. Ook komen er algemene inzichten uit deze analyses. Het wordt nu tijd om eens nader op het statistisch instrumentarium in te gaan, dat bij de toepassing van deze data nuttig is.





# 5 Statistische bewerking van antropometrische data

## 5.1 Inleiding

Statistiek en demografie zijn altijd al nauw verwant geweest via de volkstellingen. In de grijze oudheid diende zo'n volkstelling om vast te stellen hoeveel soldaten en belasting een bepaald gebied kon opleveren. De term 'statistiek' (statista betekent staatsman in het italiaans) stamt echter uit de 18e eeuw als aanduiding van het vak staatskennis aan de Universiteit van Göttingen (Van Doorn en Links, 1969). Hierin kwamen zowel bestuurlijke kennis als beschrijvingen van de toestanden in verschillende landen aan bod. Dit waren de zogenaamde Kameraalstatistieken, waar destijds nog weinig cijfers in voorkwamen. De huidige demografie heeft zich gespecialiseerd in het (kwantitatief) beschrijven van volkeren in sociaal en politiek opzicht, waarvoor de statistiek bijna lijkt te zijn uitgevonden; dit wordt ook wel bevolkingsstatistiek genoemd. Enkele varianten van de demografie zijn de demometrie en de huishoudensdemografie. Demometrie houdt zich bezig met de wiskundige beschouwingen binnen de demografie, zoals in Yntema (1977) wordt behandeld, en huishoudensdemografie bestudeert de omvang en de aard van de huishoudens (Leusden et al., 1986). Tegenwoordig wordt statistiek door overheid en bedrijfsleven intensief benut als hulpmiddel bij het beheren van welke elementen dan ook. Statistiek verschaft in het algemeen cijfermatig inzicht in verschijnselen over populaties en steekproeven, ongeacht welk gebied, en presenteert dit in grafieken en tabellen. Statistiek confronteert theorieën en hypothesen met feitelijke gegevens.

Voor het industrieel ontwerpen is statistiek van belang bij het beschrijven van de kwaliteit en kwantiteit van de serieproductie waar het zich op richt, maar meer nog bij het beschrijven van de (demografische) kenmerken van de doelpopulatie waarvoor ontworpen wordt. De frequentie van het gebruik van produkten en het vóórkomen van die produkten is van groot belang voor de industrieel ontwerper. Antropometrisch gezien is daarbinnen interessant te weten, hoe de verdeling van de kritische maten betreffende het produktgebruik is en welke menselijke kenmerken eventueel maatindifferent zijn.

Statistiek zou voor reductie van deze data kunnen zorgen in aantal en in verscheidenheid. Het meten (niet alleen het vergelijken van een meetwaarde met een maatlat, maar ook het meten of waarnemen via een enquête), analyseren en voorspellen van diverse grootheden van een populatie binnen de demografie gelijken op het meten, analyseren en voorspellen van de menselijke afmetingen van een populatie binnen de

antropometrie. Door onderlinge samenhang van de grootheden is het mogelijk binnen bepaalde marges voorspellingen te doen van moeilijk te meten variabelen, bijvoorbeeld het voorspellen van de 'knijpkracht' uit de 'handbreedte' en de 'onderarmomtrek'.

Het meten aan de mens heeft zijn beperkingen, onder meer doordat privacy aspecten een rol gaan spelen. In diverse landen wordt daarover verschillend besloten. In de Verenigde Staten wordt elke 10 jaar sinds 1790 een volkstelling gehouden (de zogenoemde Census day is op 1 april, omdat men dan de grootste kans heeft de mensen thuis aan te treffen). Vandaar dat men daar ook over grote, overzichtelijke hoeveelheden data beschikt (Rives and Serow, 1987), die voor iedereen goed toegankelijk zijn via de Population Index in de bibliotheken.

In Nederland daarentegen is, ondanks vroegere regelmaat van ééns in de tien jaren, er geen volkstelling na 1971 gehouden als gevolg van de meningsontwikkeling over privacy-bescherming en ten dele ook door een zeker overlap met ander onderzoek (CBS).

Jaarlijks wordt er in Nederland sinds 1981 door het Centraal Bureau voor de Statistiek een schriftelijke enquête gehouden (Appelboom, 1984 en 1986). Hierover wordt regelmatig gepubliceerd in het Maandbericht Gezondheidsstatistiek van het CBS.

De grootheden binnen de Mens-Produkt-Interactie, waarin de ontwerper geïnteresseerd is, zijn onder meer:

- 1 het gebruik van produkten;
- 2 het vóórkomen van produkten;
- 3 de kritische afmetingen en bedieningskrachten van produkten;
- 4 de menselijke kenmerken die relevant zijn bij produktgebruik.

Over de punten 2 en 4 wordt ten dele wel in bovengenoemde CBS publikaties gepubliceerd, maar over de punten 1 en 3 is nauwelijks iets bekend (Kanis, 1987).

Het doel van dit hoofdstuk is dan ook om inzicht te verkrijgen in de relatie tussen statistiek, demografie, antropometrie en industrieel ontwerpen.

In Paragraaf 5.2 wordt een kwalitatief overzicht gegeven van enkele maatsystemen van bestaande, industrieel ontworpen serieprodukten. In 5.3 wordt aan de hand van 12 vraagstukken aangegeven, door welke bewerkingen gegevens van antropometrische onderzoeken meer inzicht geven.

## 5.2 Doelgroepen en produktmaatsystemen

### 5.2.1. Doelgroepen

De omvang van enkele nationale basisdoelgroepen staat in Tabel 5.1. Hierbij zijn de vier hoofdfactoren van de variatie van lichaamsafmeting en vorm (Hoofdstuk 2) als globale verdeelsleutel gehanteerd, hoewel uit onze eigen ontwerpersenquête (Hoofdstuk 1) bleek dat ontwerpers vaak meer hebben aan kenmerken van gebruikers van hetzelfde soort produkt dan aan leeftijd- en sexe-gebonden aantallen in het algemeen.

De zogenaamde demografische druk geeft aan welk het aandeel is van de 'niet-actieve' bevolking (0-19 en  $\geq 65$  jaar) ten opzichte van de actieve (20-64 jaar). Met de gegevens uit Tabel 5.1 wordt

$$\begin{aligned} \text{de 'groene' demografische druk} &= a / (b+c) &&= 40,3\% \\ \text{de 'grijze' demografische druk} &= (d+e) / (b+c) &&= 21,0\% \\ \text{en de demografische druk} &&&= 61,3\%. \end{aligned}$$

hoofdgroep	subgroep	grootte	bron
geslacht	vrouwen	50,6%	*
	mannen	49,4%	*
leeftijd	a 0-19 jaar	25%	*
	b 20-39 jaar	33%	*
	c 40-64 jaar	29%	*
	d 65-79 jaar	10%	*
	e 80 +	3%	*
etniciteit	Nederlands	95%	*
	allochtoon	5%	*
handicap	lichamelijk	9%	*
	geestelijk	1%	*
lange mensen ( $\geq 18$ jaar)	man $\geq P99$	1% $\geq 194,3$ cm	+x
	vrouw $\geq P99$	1% $\geq 180,2$ cm	+x
kleine mensen ( $\geq 18$ jaar)	man $\leq P1$	1% $\leq 164,5$ cm	+x
	vrouw $\leq P1$	1% $\leq 150,0$ cm	+x
zware mensen ( $\geq 18$ jaar)	man $\geq P99$	1% $\geq 100,2$ kg	+x
	vrouw $\geq P99$	1% $\geq 88,4$ kg	+x
lichte mensen ( $\geq 18$ jaar)	man $\leq P1$	1% $\leq 53,6$ kg	+x
	vrouw $\leq P1$	1% $\leq 41,8$ kg	+x

Tabel 5.1: Overzicht van de grootte van enkele Nederlandse doelgroepen in percentages van de totale bevolking van 14,8 miljoen personen op 1 januari 1989.

Bronvermelding: \* = CBS (1994)

+ = CBS (1986)

x = eigen bewerkingen

De trend in Nederland in de afgelopen 10 jaar is de volgende:

De 'groene' demografische druk daalde van 55% (1980) via 40,3 (1989) en 41% (1991) naar 39% (1993), maar de 'grijze' demografische druk bleef onveranderd op 20-21%. De totale demografische druk daalde met 13% van 75% in 1980 naar 60% in 1993. Deze veranderingen werden veroorzaakt doordat:

- het aantal jongeren afnam met 7% van 32% (1980) naar 25% (1991);

- het aantal '20-64 jarigen' toenam met 4% van 58% (1980) naar 62% (1993), maar men bedenke dat de 'activiteitsgraad' (= het % dat een betaalde baan heeft) van de leeftijdsgroep 55-64 jaar, slechts 44% bij de mannen is en slechts 15 % bij de vrouwen in 1990 (Van den Brekel en Moors, 1992);
- het aantal ouderen toenam met 1,4% van 11,5% (1980) tot 12,9% (1993); dit zal in 2030 naar schatting 25% zijn ofwel meer dan 3 miljoen mensen.

Voor het antropometrisch ontwerpen betekent dat een accentverschuiving en dat meer aandacht nodig is voor ouderen en voor activiteiten van ouderen.

Gezien de stand der techniek is het wenselijk de antropometrische data snel te kunnen relateren aan allerlei mogelijke doorsnijdingen van een populatie en combinaties van populaties in relatie tot produktgebruik.

Het lijkt zeker een taak vanuit de ergonomie bij mogelijke applicaties van die antropometrische data de gebruikers (ontwerpers/onderzoekers) te wijzen op de soms optredende onnauwkeurigheid in de zin van onvolledigheid, onbetrouwbaarheid en ontoereikende validiteit.

#### Selectie van gebruikers.

Soms is de spreiding van een produktmaat beperkt en wil men geen gebruikers daarbuiten. De gebruikers worden uitgesloten, waardoor er slechts een deel van de werkelijke spreiding van de mensmaat in acht wordt genomen. Voorbeelden hiervan zijn: auto's met selectie door het vereiste rijbewijs, produkten in het leger met een selectie door de militaire keuring (Tabel 2.9), speelgoed met een selectie door (aangeduide) afmetingen en kinderveilige sluitingen met een selectie door lengte van de vinger of door kracht e.d.

### 5.2.2 Produktmaatsystemen

Bij het ontwerpproces van gebruiksgoederen horen fases, waarin wordt getracht vast te stellen welke lichamelijke afmetingen, krachten, houdingen en bewegingen de deels onbekende, toekomstige gebruiker heeft. Deze vaststellingen liggen in het ontwerpproces vooral in de analyse fase, voorafgaand aan het Programma van Eisen en in de evaluatie fase, zoals in Hoofdstuk 3 is beschreven. Toch zijn er veel produkten op de markt, waarbij er geen of te weinig aandacht is voor de gebruiker, vaak door onkunde zoals in Hoofdstuk 1 is geschetst. Massaproductie hangt samen met massagebruik en dat wil zeggen dat er bij het ontwerp rekening moet worden gehouden met een vaak grote spreiding in het gebruik. Een niet onbelangrijk deel daarvan hangt af van de maatgeving. Een simpele kinderstoel zal door menig volwassene ook wel eens als ondersteuningsmiddel van het zitvlak gebruikt zijn. Dit kan vaak zonder risico, ook al is die stoel veel te klein voor volwassenen en zal deze waarschijnlijk weinig comfort leveren. Anderzijds heeft een stoel met te grote zittingdiepte tot gevolg dat de gebruiker onderuit gaat zitten met gebogen rug of misschien wel de neiging krijgt om in kleermakerszit op de zitting plaats te nemen.

Bestaande, vaak suboptimale, maatsystemen (=antropometrische produktmodellen) vloeien voort uit een aanwezig inzicht in de variatie in afmetingen van het menselijk lichaam en de beperkingen binnen de stand van de techniek.

Men kan de bronnen van de varia(n)tie van het menselijk lichaam in drie, elkaar niet uitsluitende, typen onderscheiden:

### *1 Binnen een populatie*

De variatie binnen een populatie betekent in deze context de ('range') spreidingsbreedte, of het bereik van de hoogste tot de laagste gevonden waarde van een variabele. Bij de lichaamslengte bijvoorbeeld is dit 40 cm bij de Nederlandse 20-jarige mannen (Tabel 2.5), of zelfs 213 cm als men de uiterste waarden ter wereld volgens het Guinness Record Book neemt (Tabel 2.3).

### *2 Tussen populaties*

De variatie tussen populaties betekent in deze context het verschil tussen de gemiddelde waarden van een lichaamsafmeting in twee landen of populaties. Het verschil tussen de gemiddelde lichaamslengte van volwassenen in Nederland en Duitsland in 1980 was bijvoorbeeld 6 cm. De variatie onder punt 1 is vaak, in tegenstelling tot wat men wellicht veronderstelt, groter dan onder punt 2 (zie blz. 51).

### *3 Proporties van segmenten*

Door lange benen en een relatief korte romp kan bij dezelfde lichaamslengte een geheel andere figuur ontstaan dan in het geval van korte benen en een relatief lange romp. Door een individueel groeipatroon, waarvan het genetisch programma slechts in globale zin overeenkomstig is, en dat door tal van omgevingsfactoren (Hoofdstuk 2) beïnvloed wordt, ontstaat een scala van variaties die maken dat er bijna geen individu gelijk is aan een ander.

Men kan anderzijds naast variantie in de menskundige aspecten ook spreken van variantie binnen de produktmaatsystemen (Tabel 5.2), waar een aantal typen van ontwerp oplossingen voor bestaan:

- 1 Het produkt wordt op maat van de gebruiker gemaakt; denk hierbij aan een maatcostuum, een vingerring, een kunstbeen of een professioneel aangepaste racefiets.
- 2 Verschillende typen van het produkt geven bij elkaar voldoende verscheidenheid in maten, om de maatvariatie in lichaamsafmetingen in de gebruikerspopulatie op te vangen (althans een groot deel daarvan, zoals bij schoenen, kleding, fietsen, rolstoelen, brillen, luiers, etc.).
- 3 Eén type van het produkt is voldoende voor aanpassing aan de variatie in de lichaamsafmetingen, althans in de ogen van de producent. Voorbeelden zijn: gereedschap, kantine stoelen, huizen in het algemeen en openbare middelen (zoals straatmeubilair, openbaar vervoer e.d.).
- 4 Eén of meer versteltrajecten zorgen voor aanpassing, zoals de zittinghoogte bij kantoorstoelen (vaak continu verstelbaar) of de armsteun bij kantoorstoelen (soms discreet verstelbaar).

5 Instelbare produkten zijn een variant van de onder punt 4 genoemde typen, zoals bij rolstoelen of keukens.

produkttype	1 op maat	2 meer typen	3 één type	4 verstelbaar	5 instelbaar
ondersteuningsmiddel	race fiets	schoolmeubel	straatmeubel	kantoorstoel	rolstoel
verblijfsruimte	race auto	auto	telefooncel	zitruimte auto	rolstoelkeuken
bedieningscomponent	wedstrijd- biljartkeu	handvat wandelstok	knoppen in telefooncel	fietsversnelling	fietszadelhoogte
last	rugzak astronaut	koffer	boodschappenkrat	rugzak	baby draagzak
gereedschap	strijkstok	oorspuit	aanwijsstok	verrekijker	schaaf
persoonlijke uitrusting	prothese	schoen	zonnebril	binnenhelm	broekriem

Tabel 5.2: *Overzicht van produktvoorbeelden per ontwerptype ingedeeld naar antropometrisch ergonomische functies.*

Hierna volgt een tweetal voorbeelden uit de praktijk, waarbij zowel de demografische aspecten (omvang van de markt) als de antropometrische aspecten (de verdeling van de produktmaten over de spreiding van de produktrelevante mensmaten) aan bod komen.

### Brillen en maten

Er zijn in Nederland ruim 6 miljoen mensen (43%) die een bril dragen. Hiervan draagt 62% de bril vrijwel altijd (Swinkels, 1987). Er is een samenhang tussen de leeftijd en het gebruik van de bril. Bij personen van 60 jaar en ouder draagt 96% een (lees) bril of contactlenzen en bij kinderen jonger dan 10 jaar 6%.

Of een bril past hangt onder meer af van de antropometrie van het hoofd. 'Onder meer', omdat de mode zo'n grote invloed heeft gekregen op dit oorspronkelijk als orthese bedoeld produkt, dat de antropometrie secundair is geworden. Men kan bij benadering zeggen dat in de jaren zeventig de brillen te klein waren, in de jaren tachtig te groot en in de jaren negentig waarschijnlijk weer redelijk passend (Visser en Noorman, 1990). Het bestaande maatsysteem is in Tabel 5.3 weergegeven, met rechts de in de norm (DIN58200, 1986) gedefinieerde produktmaten, zoals de fabrikanten deze hanteren en links de gerelateerde mensmaten.

mensmaat	produktmaat
hoogte oogkas	hoogte van het brillenglas
hoofdbreedte	2 * breedte van het brillenglas + tussenstuk
neusvleugelbreedte	neuswijdte (5 mm onder de middellijn = verbindingslijn tussen centra van beide glazen)
neusrugbreedte	brugwijdte
afstand oor-voorzijde hoofd	veerlengte (recht gedacht)
interpupillaire afstand	afstand tussen de middens van de glazen

Tabel 5.3: *Overzicht van mens- en produktmaten bij het produkt 'bril'.*

Dit is een typisch voorbeeld van de wijze, waarop antropometrische gegevens impliciet worden verwerkt in de industrie. De produktmaten worden gestandaardiseerd en de relatie met overeenkomstige mensmaten is vervaagd of afwezig; bijstelling van het maatsysteem geschiedt dan vooral op basis van verkoopcijfers per type. De aantallen per maat zullen in de praktijk verlopen met de mode en met eventuele seculaire groeiverschuivingen (zie 2.6.2). Voor zover bekend, is daar voor dit produkt geen onderzoek naar gedaan. Volgens Visser en Noorman (1990) zijn er de volgende spreidingen bij de genoemde produktmaten, welke wij naast de mensmaten uit diverse bronnen plaatsen in mm (Tabel 5.4).

produktmaat	min	max	stap	mensmaat	P1	P99	sexe
neuswijdte	12	22	1	neusrugbreedte Hertzberg (1954)	11	20	m
veerlengte	130	145	5	tragion-subnasale Flügel (1986)	117	141	m
					113	131	v
glasbreedte	48	61	1	hoofdbreedte Hertzberg (1954)	142	166	m
	52	59	1	hoofdbreedte Flügel (1986)	137	165	v
					163	172	m

Tabel 5.4: Spreiding in produktmaat en mensmaat. 'stap' = grootte van elk increment tussen 'min' en 'max'. Regel 2 met 'neuswijdte' zegt dus dat er 11 maten zijn met een neuswijdte van 12 mm tot en met 22 mm, oplopend in stappen van 1 mm.

Ten aanzien van de neuswijdte en de veerlengte komt de spreiding in de produktmaat redelijk overeen met de in de literatuur aangegeven mensmaten.

Ten aanzien van de glasbreedte (volgens de betreffende norm DIN58200 (1986) heet dit schijflengte) versus hoofdbreedte zou men de volgende redenering kunnen opstellen:

Maximaal is de bijbehorende hoofdbreedte 2 keer de schijflengte plus de neuswijdte. Dit wordt minimaal  $2 * 48 + 12 = 108$  mm en maximaal  $2 * 61 + 22 = 144$ , aangenomen dat er geen correlatie aanwezig is tussen de hoofdbreedte en de neusrugbreedte (de correlatie is voor Amerikaanse piloten slechts 0,11 volgens Hertzberg et al., 1954).

Volgens de data van Flying Personnel is de hoofdbreedte (P1-P99) echter: 142-166 mm en volgens Flügel et al. (1986) is de hoofdbreedte voor P1<sub>vrouw</sub> in de vroegere Deutsche Democratische Republiek 137 mm en 172 mm voor P99<sub>man</sub>. Het ziet er naar uit dat er te weinig grote en te veel kleine breedte maten zijn, rekening houdend met een toeslag van 10 mm voor de extra ruimte die de veren geven en 10 mm voor de brede neuzen bij de smalle hoofden.

Deze toetsende berekening is echter een grove benadering, want de hoofdbreedte uit de databronnen is wellicht niet dezelfde als waar de brillen fabrikanten van uitgaan.

Voor een meer precieze evaluatie van dit maatsysteem zal nagegaan moeten worden in hoeverre de definities overeenkomen tussen die van de mens- en de produktmaten en zou de toets met enkele steekproeven van gebruikers geverifieerd moeten worden. De aard van de conclusie blijft echter, dat men met een antropometrische evaluatie kan

constateren of er voldoende adequate spreiding in produktmaten aanwezig is, om het produkt antropometrisch ergonomisch verantwoord te vinden. Indien er onvoldoende gegevens aanwezig zijn, dient men zelf eerst onderzoek te verrichten (zie Hoofdstuk 6), wat in dit geval geraden schijnt, gezien het slechts beschikken over oude USA en DDR-maten of over oude Nederlandse militaire gegevens.

### Schoenen en maten

De Nederlander koopt per jaar gemiddeld 3,4 paar schoenen. Dat betekent een markt van 50 miljoen paar schoenen per jaar. In de begin jaren zestig lag de Nederlandse produktie op 32 miljoen paar, maar deze is drastisch teruggelopen tot 8,5 miljoen paar in 1987, met name door de sterke import uit China, Taiwan en Korea (NRC 6 juli 1988).

Data over afmetingen van Nederlandse voeten worden daarmee nog belangrijker. Immers, met goede data kan men via normen eisen aan produkten gaan stellen (ILS-TNO, 1984). De grote maten (schoenmaat 47-57) en de kleine maten (schoenmaat 17-27) zijn pas na inspanningen van de Klub van Lange Mensen en de Belangenvereniging van Kleine Mensen enigszins verkrijgbaar geworden. Een andere reden voor de grotere belangstelling voor betere schoenmaten komt vanuit de Arbeidsomstandighedenwet, waarin meer nadruk op ergonomie is gelegd (zie Hoofdstuk 1, blz. 14). Als een van de belangrijke persoonlijke beschermingsmiddelen geldt de schoen. Voor enkele grote beroepsgroepen, bijvoorbeeld de Nederlandse Landmacht of de Nederlandse PTT, is in dit verband onderzocht hoe het schoenmaatsysteem eruit zou moeten zien. Verschillen in etniciteit leiden tot verschillende maatsystemen, zoals de praktijk van de schoenproduktie al jaren geleden heeft bewezen (Sniijders, 1984; Beckers en Brekelmans, 1991). In deze boeken wordt onderscheid gemaakt in voeten van Angelsaksische, Germaanse, Romaanse of Baltische oorsprong, dat zich vooral manifesteert in de balomvang van de voet. Volgens ILS-TNO (1979) hebben kleinere voeten een relatief grotere balomvang. Dit wordt bevestigd door de volgende illustratie:

Een populatie met relatief kleine voeten is Vietnam Military uit 1964; deze hebben volgens het Anthropometric Source Book (ARP, 1978) vergeleken met de USA Flying Personnel '67 een voetenlengte, die gemiddeld 14% kleiner is ( $\bar{x} = 23,67$  cm versus 27,03 cm), terwijl de P99 waarde van de balomvang 3% groter is (28,8 cm versus 28,0 cm). De balomvang is hierbij gedefinieerd als de maximale omvang ter hoogte van de distale uiteinden van de metatarsale voetbeentjes. Het is daarom ook voorstelbaar dat het steeds moeilijker werd passende schoenen te produceren voor een groeiende internationale markt.

Het Mondopointsysteem wilde hierop een adequaat antwoord geven door een directe relatie te leggen tussen de voetenlengte, voetbreedte en de schoenmaat. Bij de conventionele maatsystemen wordt de inwendige lengte van een schoen uitgedrukt in een getal dat afhankelijk is van het maatsysteem. Het Franse (F) en het Engelse (E) zijn het meest gebruikelijk in Europa. Hiernaast zijn er nog het Amerikaanse (A) voor de herenschoen en het Brannock (B) systeem voor de damesschoen.

Naast de lengte wordt soms een breedte gehanteerd in 3 of 5 maten.



*Het Engelse schoenmaatsysteem (E).* Eerst werd uitgegaan van 1/3 inch (= 8,47 mm) als steek; later werden ook halve maten toegevoegd (1/6 inch = 4,23 mm). In feite dus de duim als maat voor de voet. Het resultaat bestaat uit twee series van 13 maten van de binnenzoolengte.

Een serie voor kinderen: maat 0 komt overeen met 4 inch en maat 13 met 25/3 inch (4 inch + 13 keer de steek van 1/3 inch) en een serie voor volwassenen: maat 0 komt overeen met 25/3 inch en maat 13 met 38/3 inch (25/3 inch + 13 keer de steek van 1/3 inch).

*Het Franse schoenmaatsysteem (F).* Eerst werd de centimeter als steek genomen, maar toen dit te groot bleek, koos men voor 2/3 cm = 6,67 mm. Het Franse systeem begint bij maat 17 (=17 maal 2/3 cm binnenzoolengte) en loopt op in stappen van 2/3 cm tot maat 48. De conversie regels zijn nu  $F = (E + 25) * 1,27$  en  $E = (F / 1,27) - 25$  voor volwassenen. Over de andere twee systemen wordt hier niet verder uitgeweid; volstaan wordt met het voorbeeld dat bij een binnenzoolengte van 220 mm hoort  $F_{33} = E_1 = A_{1\frac{1}{2}} = B_3$ .

In Tabel 5.5 wordt een overzicht gegeven van de voornoemde schoenmaatsystemen.

Toeslagen kent men ook in deze maatsystemen; men noemt een functionele toegift de waarde die men bij de binnenzoolengte optelt of ervan aftrekt afhankelijk van het leestmodel. Meestal is de waarde 10 tot 15 mm. Door de verschillende meetwijze van voet en binnenzool hanteert men nog een correctiemaat van 4 mm. Dit wil zeggen dat voor franse schoenmaat 44 (=engelse maat 9,5) geldt: een binnenzoolengte van  $44 \times 6,67 = 293,3$  mm en de bijbehorende voet =  $293,3 - 15 + 4 = 282,3$  mm.

### Het Mondopointsysteem

Het probleem dat er zoveel verschillende schoenmaatsystemen zijn, heeft men in de zestiger jaren geprobeerd op te lossen door het Mondopointsysteem dat op de voetlengte was gebaseerd. Bovendien werd de maat uitgedrukt in mm. In het Mondopoint R2-systeem is er een lengtesprong van gemiddeld 7,5 mm tussen de onderlinge schoenmaten. De Franse schoenmaat 34 en 48 komen overeen met respectievelijk Mondopoint R2 maat 217 en 307.

In het Beckers en Brekelmans (1991) wordt helaas niet de lengte/breedte verhouding in het Mondopoint systeem beschreven en evenmin is duidelijk of de lengtesprong bij de kleinere maten gelijk is aan die bij de grotere maten. Daarom zijn in Tabel 5.5 twee vraagtekens opgenomen.

stelsel	aantal maten	steek (mm)	min (mm)	max (mm)	aanduiding
Frans	32	6,67	113	320	17 (1) 48
Engels	52	8,47	101,6	320	0 (1/2) 13, 0 (1/2) 13
Amerikaans	52	8,47	97,3	317,8	0 (1/2) 13, 0 (1/2) 13
Brannock	54	8,47	86,8	313,7	0 (1/2) 13, 0 (1/2) 13
Mondopoint	30(?)	7,5	82(?)	307	82 (1) 307

Tabel 5.5: Overzicht van de schoenmaatsystemen. De aanduiding van bijvoorbeeld 17 (1) 48 betekent: van maat 17 tot en met maat 48 in stappen van steeds 1 maat oplopend.

In het rapport ILS-TNO (1979) wordt geconcludeerd dat met de positieve seculaire groeiverschuiving van de lichaamslengte er ook meer grote maten schoenen aan militairen zijn uitgegeven. In 1964 vormden de maten 45-49 nog 11% van het totaal en in 1977 was dit al bijna 16%, met een opmerkelijke voorkeur (60%) voor het breedte type B; de andere percentages in 1977 waren: 1,64% voor smalle type S en 37,2 % voor het type medium M. De gemiddelde lengte-maat was echter in de periode van 1955 tot 1977 slechts gestegen van 42,47 tot 42,70.

Van Eyk et al. (1990) introduceerden een nieuwe methode, om de juiste schoenmaat vast te stellen in verband met de lateraliteit van de voeten. Zij pleiten voor een aanpassing van het maatsysteem van de landmacht en de PTT, waarbij rekening is gehouden met de links-rechts verschillen (lateraliteit, zie ook blz. 99) en een nieuwe lengte/breedte verhouding. Een steek van 7,5 mm voor de lengte en een steek van 6 mm voor de breedte zouden adequaat moeten zijn.

type maat	percentiel	sexe	grootte (cm)	populatie
breedte	P1	m	8,6	Amerikaanse burgers (18-85 jaar)
	P1	v	7,7	Air Force Women 1968 USA
	P1	v	7,7	Landmacht 1979 NL
	P1	m	9,3	Landmacht 1979 NL
	P99	v	9,8	Landmacht 1979 NL
	P99	m	11,4	Landmacht 1979 NL
	P99	m	12,3	Navy Flyers 1964 USA
	P99	m	11,2	Amerikaanse burgers (18-85 jaar)
	lengte	P1	m	23,5
P1		v	21,5	Air Force Women 1968 USA
P1		v	21,5	Landmacht 1979 NL
P1		m	24,1	Landmacht 1979 NL
P99		v	27,1	Landmacht 1979 NL
P99		m	29,2	Landmacht 1979 NL
P99		m	29,5	Navy Flyers 1964 USA
P99		m	29,2	Amerikaanse burgers (18-85 jaar)

Tabel 5.6: *Extreme maten van volwassen voeten uit het bestand van het Anthropometric Source Book (ARP, 1978); Vuisting et al. (1979) en de Amerikaanse burgers volgens Hawes and Sovak (1994).*

Vergelijken we deze wensen met de data in Tabel 5.6 over voetafmetingen, dan blijkt dat er voor 98% van de Nederlandse populatie in 1979, 6-7 breedtematen en 11-12 lengtematen zouden moeten zijn voor volwassenen (mannen en vrouwen samen). Dit is eigenlijk een grove benadering, omdat deze data niet representatief zijn voor geheel Nederland. Een landelijk representatief onderzoek naar afmetingen van de Nederlandse voeten zou daarom zinvol zijn.

## 5.3 Bewerking van antropometrische data

Bij het gebruik van ruwe antropometrische data voor de talrijke toepassingen in de praktijk, komen veelvuldig bepaalde typen vraagstukken naar voren. De volgende vraagstukken zijn kenmerkend voor de bewerkingen, die nodig zijn om adequaat antwoord te kunnen geven. Deze zijn te onderscheiden naar de plaats van voorkomen binnen het antropometrisch ontwerpproces, zoals dat in Hoofdstuk 3 is gepresenteerd. Het paragraafnummer verwijst naar de plek waar een vraagstuk zal worden behandeld binnen dit hoofdstuk.

*Bij het gaan ontwerpen, waarbij globale antropometrische gegevens nodig zijn, om in eerste instantie te kunnen bepalen welke de afmetingen van het produkt zullen zijn (Paragraaf 5.3.1).*

- 1 Wat is de rol van het al dan niet normaal verdeeld zijn van de frequentie-verdeling van de data. Hoe groot is deze invloed en is deze te voorspellen?
- 2 Stel twee Gaussisch-verdeelde variabelen  $x_1$  en  $x_2$ ; dan is bekend dat  $x_3 = x_1 + x_2$  en  $x_4 = x_1 - x_2$  ook Gaussisch zijn. Maar hoe normaal verdeeld zijn indices zoals  $x_5 = x_1 / x_2$ ,  $x_6 = x_1 / (x_2 * x_2)$  zoals de Quetelet-index of een P-ratio, zoals bijvoorbeeld  $P_{5_{\text{man}}} / P_{5_{\text{vrouw}}}$ ?
- 3 Is de  $S_g$ -formule op de DINED-tabel juist, die de standaarddeviatie voorspelt van een gezamenlijke populatie van mannen en vrouwen uit de beide sub-spreidingen?

*Bij het in tweede instantie vaststellen van het percentage van de gebruikersgroep dat vermoedelijk zal worden uitgesloten (Paragraaf 5.3.2).*

- 4 Is het mogelijk bij een gegeven bivariate verdeling een ellips te construeren die een vooraf bepaald percentage, bijvoorbeeld 99% of 95% van de waarnemingen, als ellips omhult?
- 5 Is de  $P_z$ -formule (waarbij wordt vastgesteld hoeveel de reductie van de gebruikerspopulatie is bij gecombineerde toepassing van twee maten) juist en kan deze asymmetrisch gebruikt worden?
- 6 Hoe groot is de reductie van de geschiktheidspopulatie bij het ontwerpen voor meer dan twee maten?
- 7 Hoeveel % van een populatie voldoet aan het criterium: gemiddelde + of - een marge van 10% per maat, bij 2 en meer maten, met andere woorden hoeveel personen zijn er 'gemiddeld' in een paar fysieke kenmerken? Bijvoorbeeld toe te passen in een percentiel profiel.
- 8 Is het mogelijk een algoritme te vinden, dat iteratief de voorspelling van het betrouwbaarheidsinterval aangeeft voor maat  $y$  vanuit maat  $x$ , indien de ruwe data bekend zijn of het drietal parameters  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ , en  $s_x$ ,  $s_y$  en  $r_{xy}$ ?

*Bij het in derde instantie minimaliseren van het aantal gebruikers dat uitgesloten zal worden door differentiatie in produkttypen (Paragraaf 5.3.3).*

- 9 Is het mogelijk een maatsysteem te construeren binnen een bepaald percentielgebied (bijvoorbeeld P1-P99) ?
- 10 Is het mogelijk te illustreren hoe het maatsysteem van een produkt bij produktdifferentiatie samenhangt met de verdeling van de lichaamsmaten?

*Bij het verrichten van onderzoek (data-verzameling) op het moment dat blijkt dat aanwezige gegevens onvoldoende zijn (Paragraaf 5.3.4).*

- 11 Geeft een analyse van bestaande metingen inzicht in hoeveel metingen nodig zijn?
- 12 Is er een systematisch verband tussen liggend, zittend of staand gemeten lichaamsmaten?

*Bij het presenteren van de eigen antropometrische onderzoekresultaten.*

In Hoofdstuk 5 komen de volgende twee vraagstukken ten dele aan de orde. Daarom wordt in dit hoofdstuk volstaan met de vermelding van de vraagstelling.

- 13 Zijn de correlatie-coëfficiënt en de variatiecoëfficiënt per type maat te classificeren? Dit werd in de tabellen 4.13 en 4.14 geïllustreerd.
- 14 Welke grafische presentatiewijze van correlatie-coëfficiënten is het meest aantrekkelijk voor ontwerpers?
- In tabelvorm door per cel de waarden van diverse populaties af te drukken (zoals in Tabel 4.7) of verder uitgesplitst per soort maat (zoals in Tabel 4.13) ?
  - In een 3D-histogram?
  - Per soort maat (breedte, lengte, diepte en omtrek), zoals op de DINED-tabel?

### 5.3.1 Bij het gaan ontwerpen

Hierbij zijn globale gegevens nodig zijn, om in eerste instantie te kunnen bepalen welke de afmetingen van het produkt zullen zijn.

**Vraagstuk 1: Wat is de rol van het al dan niet normaal verdeeld zijn van de frequentieverdeling van de data. Hoe groot is deze invloed en is deze te voorspellen?**

Veel biologische variabelen zijn (bijna) normaal verdeeld. De waarde waaronder  $x\%$  van de naar grootte gerangschikte meetwaarden ligt, heet de percentielwaarde  $P_x$ . De normale verdeling heeft als eigenschap dat slechts twee kentallen ( $\bar{x}$  en  $s$ ) nodig zijn om de overige percentielwaarden te kunnen schatten met behulp van de formule  $P_x = \pm z * s$ . Hierbij is excentriciteit  $z$  getabelleerd in veel statistische handboeken. Of en in hoeverre de verdeling 'normaal' is, kan men constateren aan enkele statistische grootheden, zoals de scheefheid (skewness of  $a_3$ ) en de piekigheid (kurtosis of  $a_4$ ), maar ook de Shapiro-W. De grootte hiervan heeft vermoedelijk invloed op schattingen van percentielwaarden. Dit is van belang bij het ontwerpen, omdat men daarin vaak juist met extreme percentielwaarden werkt. Het zou interessant zijn te weten, hoe groot de afwijking is, die veroorzaakt wordt door het schatten van de percentielwaarden met behulp van de formule  $P_x = \pm z * s$ . Als mogelijke voorspellers wordt in dit vraagstuk gedacht aan de vormparameters  $a_3$ ,  $a_4$  en Shapiro-W. Hiervoor is een experiment met

behulp van de data van de proefstudies uit Hoofdstuk 4 gedaan. De drie verschillende typen van antropometrische variabelen, waarbij dit probleem wordt bestudeerd, zijn: geslacht = m/v; soort populatie = bejaarden /studenten /militairen; soort maat = breedte-/korte lengte-/lange lengte-/diepte- en omtreksmaten.

Eerst een korte toelichting op de belangrijkste vormparameters van de normale verdeling en over de mate, waarin ze zelf normaal verdeeld zijn. Dit is noodzakelijk, om aan te kunnen geven waar de grenzen liggen van deze vormparameters, waarbuiten geen sprake meer is van een normale verdeling. Bij een normale of Gaussische verdeling is het gebruikelijk het gemiddelde verschil tussen alle items en het gemiddelde, elk tot een macht te verheffen (Sokal and Rohlf, 1981). Men spreekt dan van:

$$\text{het tweede moment } m_2 \text{ als: } (1/n) \sum (x_i - \bar{x})^2$$

$$\text{het tweede moment } m_3 \text{ als: } (1/n) \sum (x_i - \bar{x})^3$$

$$\text{het tweede moment } m_4 \text{ als: } (1/n) \sum (x_i - \bar{x})^4$$

Nu is de scheefheid gelijk aan  $a_3 = m_3 / s^3$  met  $a_3 = 0$  voor een normale verdeling, en is de piekigheid gelijk aan  $a_4 = (m_4 / s^4) - 3$  met  $a_4 = 0$  voor een normale verdeling. Hierbij is  $s$  de standaarddeviatie en is  $s^2$ , ofwel de variantie, gelijk aan het tweede moment. De  $a_3$  geeft aan in welke mate de afwijkingen  $(x_i - \bar{x})$  rechts of links van het midden groter zijn; anders gezegd  $a_3$  meet of de staarten van de verdeling gelijk zijn. Bij het lichaamsgewicht is de frequentieverdeling vaak scheef naar rechts ( $a_3 > 0$ ). Dit wil zeggen dat de staart rechts langer is dan links. De waarden van  $a_3$  zijn in principe onbegrensd.

De kurtosis (piekigheid) geeft aan hoe zwaar de staarten van de verdeling zijn. De term  $-3$  wordt gebruikelijk toegevoegd om voor een normale verdeling de waarde 0 te verkrijgen. De waarden van  $a_4$  zijn minimaal  $-2$ . Het verband tussen  $a_3$  en  $a_4$  is als volgt:  $a_4 \geq a_3^2 - 2$ .

In ICE (1983) wordt aangegeven dat de scheefheid van antropometrische variabelen bij  $n > 150$  bij benadering normaal verdeeld is met een standaarddeviatie van  $\sqrt{(6/n)}$ . Hieruit volgt dat, indien de scheefheid ligt buiten het gebied  $+ \text{ of } - 1,96\sqrt{(6/n)}$ , de data niet uit een normaal verdeelde populatie komen. Voor  $n$  kleiner of gelijk aan 150 zouden er afgeleide tabellen zijn. Evenzo is de piekigheid voor grote steekproeven normaal verdeeld met een gemiddelde 0 en een standaarddeviatie  $\sqrt{(24/n)}$ .

ICE (1983) geeft ook een formule voor het bepalen van de betrouwbaarheidsintervallen van de percentielwaarden. De ondergrens of lower boundary (LB) en de bovengrens of upper boundary (UB) van het betrouwbaarheidsinterval van bijvoorbeeld  $P_5$  zijn te vinden als:

$$LB = 0,05 * n - 1,96\sqrt{(n * 0,05 * 0,95)} \text{ en}$$

$$UB = 0,05 * n + 1,96\sqrt{(n * 0,05 * 0,95)}.$$

Voor bijvoorbeeld de  $P_5$ -waarden van de onderbeenlengte bij  $N = 822$  'bejaarden m+v' betekent dit dat het 95% betrouwbaarheidsinterval loopt van het 29ste tot het 53ste rangnummer binnen de 822 proefpersonen. Dit komt overeen met de range van 36,1-36,9 cm. De test op normaliteit wordt binnen SAS (SAS Procedures Guide, 1988)

bij  $n \leq 2000$  aangegeven met de grootheid  $W$  van Shapiro en Wilk (1965); bij  $n > 2000$  wordt de grootheid  $D$  volgens Kolmogorov (Sokal en Rohlf, 1981) uitgerekend. Omdat het in de antropometrie veelal gaat om steekproeven  $< 2000$ , is de grootheid  $W$  in de analyse meegenomen.

Volgens SAS is het kental  $W$  gelijk aan de verhouding tussen twee schatters  $A$  en  $B$ . *'The  $W$  statistic is the ratio of the best estimator of the variance (based on the square of linear combination of the order statistics) to the usual corrected sum of squares estimator of the variance'* (SAS Procedures Guide, 1988, blz. 413). Bij een normale verdeling ligt de  $W$  theoretisch tussen 0 en 1 en hoe dichter bij 1 des te normaler de verdeling. Bij onze data varieert  $W$  tussen 0,9 en 1.

Voor het analyseren van het onderhavige vraagstuk is gezocht naar geschikte variabelen uit de proefstudies (Hoofdstuk 4) en wel zodanig dat die variabelen bij de drie proefstudies overeenkomstig gemeten waren. Hieraan toegevoegd zijn enkele variabelen van de populatie militairen, omdat hierin omtreksmaten gemeten waren.

Van elk van de variabelen (Tabel 5.7) is op twee manieren de  $P_1$ ,  $P_5$ ,  $P_{95}$  en de  $P_{99}$  bepaald:

- a Door de percentielwaarde te schatten vanuit de normale verdeling met  $\bar{x} \pm 2,3265 * s$ ; het resultaat werd  $NP_1$  en  $NP_{99}$  genoemd. Zo ook werden  $NP_5$  en  $NP_{95}$  bepaald met  $\bar{x} \pm 1,6449 * s$ .
- b Door in de onderzochte steekproeven 'bejaarden' en 'studenten' en militairen vast te stellen welke de 'echte' empirische percentielwaarden zijn:  $P_x$ . Dit wil zeggen die meetwaarde, die de bovengrens aangeeft van  $x\%$  van de meetwaarden, indien de meetwaarden gerangschikt zijn op volgorde van grootte.

Bij het zoeken van een geschikte indicator voor het verschil tussen  $P_x$  en  $NP_x$ , is niet de absolute waarde van het verschil genomen, omdat deze te veel samenhangt met de grootte van de gemiddelde waarde. Wij vonden een betere indicator door de afwijking tussen  $P_x$  en  $NP_x$  te delen door het gemiddelde en met 100 te vermenigvuldigen. Zo ontstond een percentuele afwijking (over de verschillen in percentielwaarden)  $VP$ . Bijvoorbeeld is:  $VP_1 = 100 * (NP_1 - P_1) / \bar{x}$ , etc. Verder werden  $DP$ 's berekend; dit zijn naar het 95% betrouwbaarheidsinterval geschaalde  $VP$ 's. Dit betekent dat  $DP_x$  nul zal zijn indien  $NP_x = P_x$ , -1 als  $NP_x = PL_x$  en gelijk aan +1 als  $NP_x = PU_x$ . Hierbij zijn  $PL_x$  en  $PU_x$  de ondergrens en de bovengrens van het betrouwbaarheidsinterval. Tenslotte zijn ook voor de oorspronkelijke vormparameters van de verdeling ( $W$ ,  $a_3$  en  $a_4$ ) geschaalde versies onafhankelijk van het aantal waarnemingen berekend, zodat een onderlinge vergelijking mogelijk is. Dit werden  $WDEV$ ,  $SKD$  en  $CUD$ . Zolang 0 in het 95% betrouwbaarheidsinterval ligt, mag de nulhypothese dat  $W = 0$  of  $a_3 = 0$  of  $a_4 = 0$ , niet verworpen worden. De waarden +1 en -1 zijn de uiterste waarden van  $WDEV$ ,  $SKD$  en  $CUD$ , waarvoor deze nulhypothese nog juist niet verworpen mag worden.

De standaard statistische grootheden van het computerprogramma SAS (SAS, 1982, 1988a, 1988b) zijn enigszins aangepast met behulp van het programma *DESCRIPT* (De Hoogh, 1992) aan de hierboven gedefinieerde extra vormparameters. Deze grootheden zijn in de analyse parallel meegenomen, om te zien welke de meest adequate informatie

gaf omtrent een bruikbaarheids criterium van de schatting van percentielwaarden. Als doel werd dan geformuleerd: bij welke waarde van deze grootheden kan men stellen dat het niet meer verantwoord is om de P-waarden te schatten met  $\bar{x}$ , s en z-waarden en dient men uit te gaan van de empirische percentielwaarden.

Een overzicht van de zo geconstrueerde vormparameters met de waarden van de belangrijkste statistische grootheden staat in Tabel 5.8.

Als data voor dit experiment zijn de 'studenten', 'militairen' en de 'bejaarden' data genomen. De data van de militairen (zie ook Hoofdstuk 3) genaamd DUTCHMIL '85, komen van het Instituut voor Zintuig Fysiologie -TNO te Soesterberg (Brekelmans et al., 1986).

Tabel 5.7 laat de lijst met de gekozen lichaamsmaten zien. De data zijn vervolgens opgesplitst per geslacht, zodat er van 7 verschillende populaties gesproken kan worden:

bejm	bejaard-man;
bejf	bejaard-vrouw;
bej	bejaard;
stum	student-man;
stuf	student-vrouw;
stu	student;
mil	militairen.

De maten zijn ingedeeld in 5 klassen maten, omdat het vermoeden bestaat dat de afwijking van de normale verdeling samenhangt met het soort maat:

B	breedte maten
D	diepte maten
K	korte lengte maten (<60 cm)
L	lange lengte maten
O	omtreksmaten

Hierbij geldt dat het aantal van 75 de optelsom is van de 17 variabelen bij vrouwelijke studenten en 17 variabelen bij mannelijke studenten en 18 variabelen bij vrouwelijke bejaarden en 18 variabelen bij mannelijke bejaarden en 5 variabelen bij mannelijke militairen.

Tabel 5.8 en Tabel 5.9 illustreren de 'ruimte' die door enkele vormparameters wordt ingenomen. Leesvoorbeeld: De voorkomende waarden van VP1 (=relatieve verschilmaat tussen P1-geschat en P1-empirisch) liggen tussen -8,575 en + 8,486 uitgedrukt als percentage van het gemiddelde van de betreffende lichaamsmaat. Dit levert per lichaamsmaat één VP1 en voor alle 75 lichaams-maten is er dan sprake van een frequentieverdeling, waarvan in Tabel 5.8 de belangrijkste kenmerken staan.

maat	populatie				type antropometrische variabele					
	bejf	bejm	stuf	stum	mil	B	D	K	L	O
bil-knieholte lengte	1	18	35	53				•		
elleboog-elleboog breedte	2	19	36	54		•				
elleboog-vingertop lengte	3	20	37	55				•		
elleboog-zitvlak hoogte	4	21	38	56				•		
handbreedte zonder duim	5	22	39	57						
handlengte	6	23	40	58				•		
heupbreedte zittend	7	24	41	59						
lichaamsgewicht	8	25	42	60	75					
lichaamslengte	9	26	43	61	71					•
popliteale hoogte	10	27	44	62				•		
ooghoogte staand	11	28	45	63					•	
ooghoogte zittend	12	29	46	64					•	
schouderbreedte bideltoidius	13	30	47	65		•				
vuisthoogte staand	14	31	48	66					•	
kruin-zitvlak hoogte	15	32	49	67					•	
schouderbreedte biacromia			50	68		•				
dijbeendikte	16	33	51	69			•			
buikdiepte	17	34					•			
borstdiepte			52	70			•			
hoofdomtrek					72					•
borstomtrek					73					•
tailleomtrek					74					•

Tabel 5.7: Overzicht van lichaamsmaten met de maatnummers, die bij Figuur 5.2 gebruikt zijn.

grootheid	aantal variabelen	spreidingsbreedte		minimum	maximum
		$\bar{x}$	s		
VP1	75	0,619	3,408	-8,575	8,486
VP5	75	-0,383	1,125	-3,400	2,189
VP95	75	-0,190	1,175	-3,722	2,420
VP99	75	-1,266	2,598	-8,201	2,934
WDEV	75	-0,647	1,960	-12,927	1,994
SKD	75	-0,247	1,700	-6,440	4,256
CUD	75	-1,273	1,662	-7,224	0,807
DP1	69	0,022	0,992	-3,354	2,544
DP5	74	-0,174	0,724	-4,603	0,948
DP95	75	-0,029	0,469	-0,988	1,997
DP99	67	-0,408	0,811	-4,741	1,378
W	75	0,977	0,014	0,930	0,997
PW	75	0,311	0,273	0,000	0,960
scheefheid	75	0,010	0,436	-1,300	1,002
piekigheid	75	0,713	1,019	-1,096	4,427

Tabel 5.8: Spreiding van de vormparameters over de zeven genoemde deelpopulaties gezamenlijk.  $VP1 = 100 * (NP1 - P1) / \bar{x}$ ;  $NP1 =$  geschatte  $P1$ ;  $P1 =$  empirische  $P1$ ;  $WDEV$ ,  $SKD$  en  $CUD$  zijn gechaalde versies van  $W$ ,  $a_3$  en  $a_4 (-1..+1)$ ;  $DPx = VPx$  geschaald naar betrouwbaarheidsinterval.



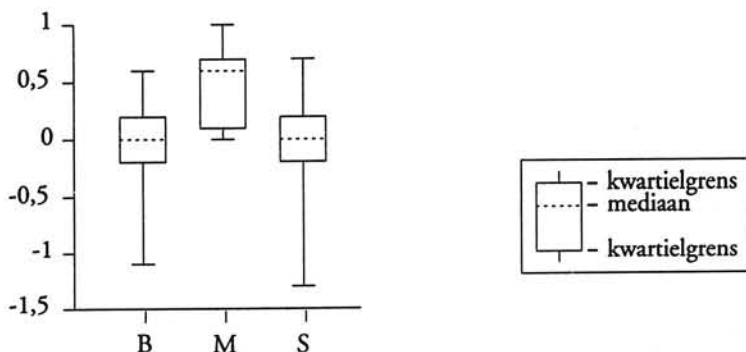
Aan de hand van de resultaten in de tabellen 5.8 en 5.9 blijkt dat er wel diverse, maar niet opvallend veel overschrijdingen optreden van wat 'normaal' is. Als praktische grens is gesteld dat de gedefinieerde vormparameters binnen de 95% betrouwbaarheids-grenzen dienen te liggen. De verdeling van het lichaamsgewicht bij de zeven onderzochte populaties bij antropometrisch onderzoek is meestal scheef naar rechts, omdat er wel een biologisch minimum gewicht is, maar nauwelijks een maximum. Dit in tegenstelling tot de verdeling van de lichaamslengte, die meestal de meest 'normale' maat oplevert. Daarom is het redelijk dat de 'scheefheid' bij het lichaamsgewicht hoger is ( $>0,3$ ) dan bij de lichaamslengte ( $<0,3$ ) over alle deelpopulaties (Bijlage 5.1). Ook bij de piekigheid valt dezelfde trend waar te nemen. Ter illustratie wordt in Tabel 5.9 aangegeven welke waarden de 7 gebruikte indicatoren hebben bij de meest opvallende variabelen in de onderzochte groep van 75 variabelen, in contrast met een meer 'normale' variabele, zoals de lichaamslengte van de militairen, die op de onderste regel staat.

variabele	populatie	code	VP1	VP5	VP95	VP99	WDEV	SKD	CUD
elleboog-elleboogbreedte	bejf	2	-3,6	-0,8	1,3	-6,6	-0,4	-2,0	-2,2
heupbreedte zittend	bejf	7	-5,3	-1,8	-1,9	-3,5	-2,5	-3,4	-3,0
lichaamsgewicht	bejf	8	-8,6	-3,2	-2,0	-7,4	-2,0	-2,9	-2,1
ooghoogte staand	bejf	11	8,5	0,5	0,9	2,3	-6,0	4,0	-6,8
buikdiepte	bejf	17	-1,3	-2,2	0,9	-2,7	-1,7	-3,5	-7,2
lichaamsgewicht	bejm	25	-5,3	2,1	-1,3	-7,1	-0,7	-1,0	-0,1
lichaamsgewicht	stuf	42	8,1	-3,4	-3,7	-8,2	-0,5	-0,8	-1,3
lichaamsgewicht	stum	60	-1,5	-2,7	-2,9	-5,3	-1,4	-2,3	-2,7
borstdiepte	stum	70	-0,7	-1,2	-0,4	-4,9	-0,3	-1,5	-3,3
borstomtrek	mil	73	-3,2	-1,0	-0,7	-5,2	-6,2	-4,9	-3,3
tailleomtrek	mil	74	-6,2	-2,8	-3,0	-5,8	-12,9	-6,4	-4,3
lichaamsgewicht	mil	75	-5,4	-2,0	-1,6	-6,9	-4,5	-4,0	-2,4
lichaamslengte	mil	71	0,4	0,0	-0,2	0,0	-0,5	0,2	0,0

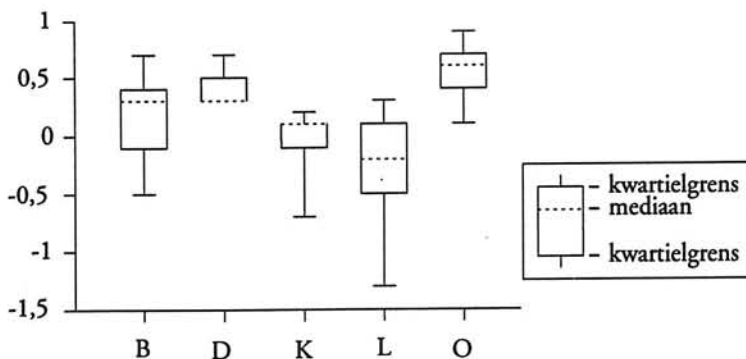
Tabel 5.9: Waarden van de vormparameters bij 'extreme' variabelen, uitgedrukt in een procentuele afwijking van hun gemiddelde voor de VP's. Voor de laatste 3 kolommen is 'normaal' gelijk aan  $<+1$  en  $>-1$ . Codes: zie Tabel 5.7.

Bij controle van de uitschieters bleek dat de grootste waarde (-12,9 voor WDEV (=de geschaalde vormparameter, die onafhankelijk van het aantal waarnemingen is en die voor normale verdelingen binnen het gebied -1 tot +1 moet liggen)) veroorzaakt wordt door de tailleomtrek van de militairen. Als illustratie blijkt dat verschillen van 5 cm optreden zowel voor P1 als voor P99. De schatting voor P1 = NP1 = 655, terwijl P1 werkelijk 705 mm is. Evenzo is NP99 = 978 met P99 = 1025. De 95% betrouwbaarheidsintervallen van P1 en P99 waren respectievelijk: 690-710 en 1015-1070 mm. De spreidingsbreedte van de tailleomtrek liep van 67 cm tot en met 110 cm met een gemiddelde van 82 cm. Dus duidelijk een verdeling met naar rechts een zware staart.

Ook is gekeken in hoeverre de spreiding van de vormparameters per soort maat en per soort populatie opvallend was. Het resultaat voor wat betreft de scheefheid staat in figuren 5.1, 5.2 en 5.3. Omdat er slechts 5 variabelen (met name omtreksmaten) van de militairen zijn meegenomen in de analyse, wordt het beeld van de scheefheid vooral daardoor bepaald en wijkt het enigszins af van de twee andere populaties. De mediaan van de verzameling  $a_3$ -waarden bij de militairen is iets hoger dan het gemiddelde. Bij de studenten en de bejaarden heeft de scheefheid een redelijk normale verdeling met zowel een gemiddelde als een mediane waarde gelijk aan nul.

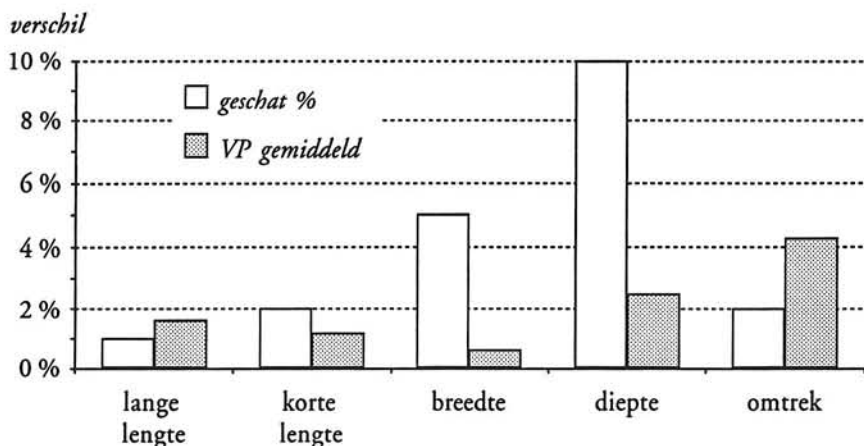


*Figuur 5.1: Overzicht van de spreiding van de scheefheid ( $a_3$ ) voor de 3 populaties (bejaarden, militairen en studenten). De variabelen per populatie staan in Tabel 5.7.*



*Figuur 5.2: Overzicht van de spreiding van de scheefheid ( $a_3$ ) voor de 5 soorten maten. De variabelen per populatie staan in Tabel 5.7.*

Uit Figuur 5.2 is af te lezen dat vooral de lange lengte maten het meest 'normaal' zijn, met een licht negatieve mediaan en een iets lager gemiddelde. De waarden van de VP's (verschil tussen geschatte en werkelijke percentielwaarden) kunnen gelezen worden als aanwezige percentuele afwijkingen tussen de geschatte en de werkelijke percentielwaarden. Vergelijking met enkele op ervaring geschatte cijfers over de toegestane afwijkingen, staan in Figuur 5.3. Hierbij is VP-gemiddeld gelijk gesteld aan  $(VP_{11} + VP_{99}) / 2$ .



*Figuur 5.3: De grootte (in %) van de verschillen tussen de geschatte en de werkelijke percentielwaarden uitgezet naar maatsoort.*

Opvallend is dat de percentielwaarden van de omtreksmaten de grootste verschillen te zien geven en niet zoals verwacht de diepte maten; de empirische data van de omtreksmaten zijn veelal hoger en wel zodanig dat de verschillen toenemen bij hogere P-waarden. Voor de diepte- en de breedtematen is dit effect ook aanwezig maar minder sterk. Een schatting met behulp van en s van breedtematen levert volgens deze resultaten de kleinste verschillen op met de empirische data. Met deze resultaten ligt het voor de hand verder het verband te kwantificeren tussen de drie voorspellers  $a_3$ ,  $a_4$  en W enerzijds en de VP's anderzijds.

#### Samenhang van de vormparameters en de voorspelbaarheid

Teneinde de samenhang tussen de vormparameters  $VP_1$ ,  $VP_5$ ,  $VP_{95}$ ,  $VP_{99}$ , WDEV, SKD en CUD te onderzoeken, zijn diverse analyses gedaan om meer inzicht in de samenhang te krijgen:

- een correlatieanalyse van het geheel leverde een grote samenhang op tussen de VP's onderling en met de scheefheid: de correlatiecoëfficiënten  $r$  waren significant ( $p = 0,0001$ ) en wel gelijk aan 0,73 tussen SKD en  $VP_1$ , was 0,51 tussen SKD en  $VP_5$ , was 0,53 tussen SKD en  $VP_{95}$  en was tenslotte 0,7 tussen SKD en  $VP_{99}$ ;
- indien deze uitgesplitst werd per populatie, bleek dat de onderlinge samenhang van de VP's bij de militairen het grootst ( $r = 0,9$ ) was en bij de studenten het laagst ( $r = 0,0 - 0,3$ ); de scheefheid bleef de beste voorspeller van de VP's;
- uitsplitsing naar maatsoort leverde de hoogste correlaties van de VP's bij de lengtematen ( $r = 0,6$ ); de beste voorspeller voor de VP's bleef de scheefheid;
- factoranalyse van de gehele correlatiematrix, waarmee immers de covariantie uitgedrukt kan worden in een aantal onderliggende factoren, leverde geen nieuwe gezichtspunten op;
- clusteranalyse groepeerde variabelen op basis van een Euclidische afstand (=som der kwadraten van de verschillen tussen de coördinaten) en leek hier goed van toepassing

om het gebruikte bestand te karakteriseren. De gedachte is dat er groepen variabelen zijn die meer normaal zijn dan andere. Met clusteranalyse is als het ware een beschrijving te geven van het bestand dat straks zorgt voor de relatie tussen de voorspellers ( $a_3$ ,  $a_4$  en  $W$ ) en de te voorspellen grootheden ( $VP_1$ - $VP_{99}$ ).

Er wordt nagegaan welke observaties dicht bij elkaar liggen (gerekend in Euclidische afstanden) in de denkbeeldige ruimte die door de zeven eerder genoemde vormparameters (3 voorspellers en 4 te voorspellen grootheden) gevormd wordt. Er blijken dan (zie Bijlage 5.2) sommige clusters van lichaamsmaten te zijn (cluster 4, 6 en 7) die een groot deel van het aantal van 75 maten omvatten. De clusters 1, 2, 3 en 5 hadden slechts 1 observatie en zijn daarom als uitschieters te beschouwen.

*Conclusie vraagstuk 1.* Uit bovenstaand experiment inzake niet-normale verdelingen van antropometrische variabelen blijkt het volgende:

- 1 De verschillen in extreme P-waarden komen met de 'normale'-verdeling goed tot uiting, als men ze uitdrukt in procenten van het gemiddelde (VP-waarden, VP = Verschil in Percentielwaarden), of als men via een clusteranalyse een MDS-projectie (MDS = Multi Dimensional Scaling) toepast, zoals in de figuren 1, 2 of 3 van Bijlage 5.2. Deze VP's kunnen oplopen tot meer dan 10% bij lichaamsgewicht, buikdiepte en tailleomtrek.
- 2 In het algemeen is de scheefheid  $a_3$  de beste indicator voor het aangeven van de VP's (samen met de piekigheid  $a_4$  goed voor een verklaarde variantie met  $R^2 = 0,623$  bij  $VP_1$  en  $0,589$  bij  $VP_{99}$ ).
- 3 Kwantitatief kan men de grootte van het verschil tussen de geschatte en de werkelijke percentielwaarden, bij vermoedelijk niet-normale verdelingen, voorspellen met de regressie vergelijkingen uit Bijlage 5.3. De 1ste ( $VP_1$ ) en de 99ste ( $VP_{99}$ ) percentielwaarde van het verschil kan men dan zodanig beschrijven, dat ongeveer 60% van de variantie verklaard wordt met de  $a_3$  en de  $a_4$ .
- 4 Met regressievergelijkingen is op eenvoudige wijze een correctiefactor D te bepalen die dient te worden opgeteld bij de schatting van de percentielwaarde met behulp van  $\bar{x}$  en  $s$ . De formule voor de schatting van de percentielwaarde voor normale verdelingen is:  $NPx = \bar{x} + z * s$ . Voor scheve verdelingen wordt de formule  $NPx = \bar{x} + z * s + D$ . Hierbij is D gelijk aan  $VPx * \bar{x} / 100$ .

Maar eigenlijk vallen de grootte van de verschillen tussen de geschatte en de empirische percentielwaarden, na de analyse van de data, erg mee. De lengten, breedten en diepten blijken in onze data nooit meer dan 2,5% buiten de schatting te vallen; alleen de omtreksmaten kunnen iets meer dan 4% verschillen.

**Vraagstuk 2:** Stel twee Gaussisch-verdeelde variabelen  $x_1$  en  $x_2$ ; dan zijn  $x_3 = x_1 + x_2$  en  $x_4 = x_1 - x_2$  ook Gaussisch. Maar hoe normaal verdeeld zijn indices zoals  $x_5 = x_1 / x_2$ , of  $x_6 = x_1 / (x_2 * x_2)$  (Quetelet-index) of de P-ratio, zoals bijvoorbeeld  $P_{5\text{man}} / P_{5\text{vrouw}}$ ?

Om dit te onderzoeken zou naar de theoretische verdeling van de normale verdeling gekeken kunnen worden. Dan blijkt dat er bij een quotiënt van twee normale

verdelingen in principe geen normale verdeling resulteert, maar vanwege de centrale limietstelling in de wiskunde mag wel gesteld worden dat een kenmerk normaal verdeeld is, indien dit steekproefsgewijs getrokken is met een eindig tweede moment (= variantie), een gemiddelde  $>0$  en bij een redelijk grote  $n$  (Meelen, 1984 en Van Soest, 1988). Omdat in de antropometrie indices een grote rol spelen (zie Hoofdstuk 2), worden hierna de verdelingen van enkele indices verder geanalyseerd met behulp van de empirie. De volgende indices worden hier gekozen voor nadere analyse:

$$i_1 = q_{11} = \text{gewicht/lengte, in kg/m}$$

$$i_2 = q_{12} = q_{11}/\text{lengte, in kg/m}^2$$

$$i_3 = q_{13} = q_{12}/\text{lengte, in kg/m}^3$$

$$i_4 = P_{95\text{man}}/P_{5\text{vrouw}}$$

$$i_5 = P_{95\text{vrouw}}/\bar{x}_{\text{man}}$$

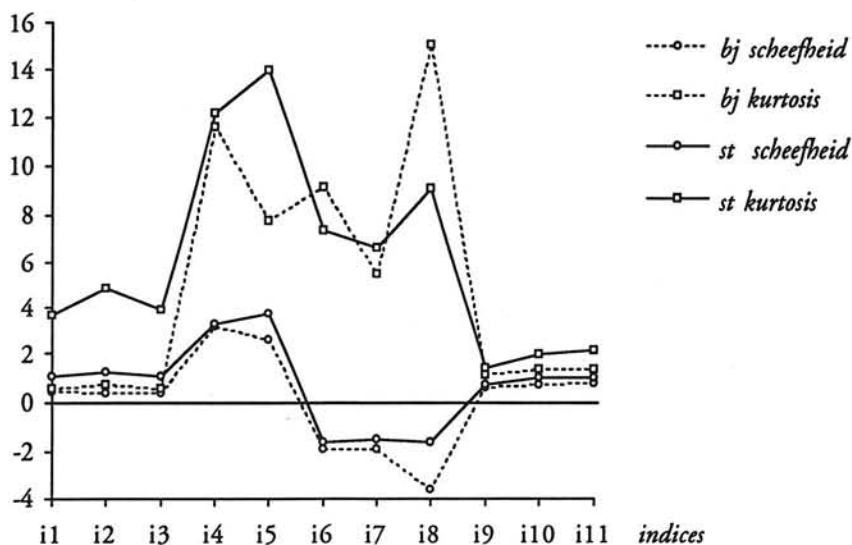
$$i_6 = \bar{x}_{\text{man}}/\bar{x}_{\text{vrouw}}$$

$$i_7 = P_{5\text{man}}/P_{5\text{vrouw}}$$

$$i_8 = P_{95\text{man}}/P_{95\text{vrouw}}$$

De reden voor de keuze van juist deze acht indices is dat de eerste drie door Quetelet in de vorige eeuw beschreven zijn als bruikbare vormparameters van het menselijk lichaam (Quetelet, 1871). De tweede wordt momenteel tevens regelmatig gebruikt in het kader van het beschrijven van het 'overgewicht' c.q. 'ondergewicht' van een populatie (zie Hoofdstuk 2, blz. 74). De indices zijn voor dit vraagstuk berekend voor de eigen data van studenten en bejaarden per geslacht. Om ze in één grafiek te kunnen plaatsen, heten  $i_1 - i_3$  voor de mannelijke proefpersonen  $i_1 - i_3$  en voor de vrouwelijke proefpersonen  $i_9 - i_{11}$ . De indices  $i_4 - i_8$  zijn gekozen vanwege hun vermelding als P-ratio op de DINED-tabel (Molenbroek en Dirken, 1986). Omdat uit het vorige vraagstuk bleek dat de scheefheid  $a_3$  één van de beste vormparameters was om de normaliteit van een verdeling aan te geven, is deze ook hier gebruikt. In Figuur 5.4 staat een overzicht van de scheefheid en de piekigheid van  $i_1 - i_{11}$ . Hieruit blijkt dat de Quetelet indices voor beide populaties en voor beide geslachten een  $a_3$  en een  $a_4$  hebben tussen 0 en 1 en daarom 'normaal' genoemd kunnen worden, maar bij  $i_4 - i_8$ , variëren de  $a_3$  en de  $a_4$  tussen -4 en 12, en zijn daarom 'niet normaal'. Om dit beeld iets te verduidelijken is in de figuren 5.5-5.9 het histogram van elk uitgezet. Vanwege het vermoeden dat er hierbij een samenhang bestond met het type maat, is een onderscheidende arcering gebruikt voor elk type maat. Uit deze figuren blijkt dat de scheefheid en piekigheid vooral door de niet-lengtematen wordt veroorzaakt. Het meest opvallend komt dit tot uiting bij  $i_4 = P_{95\text{man}}/P_{5\text{vrouw}}$  (Figuur 5.5) en  $i_5 = P_{95\text{vrouw}}/\bar{x}_{\text{man}}$  (Figuur 5.6) waar de extreme waarden de huidplooidikten zijn. Hieruit blijkt dat de indices  $i_4 - i_8$  verre van normaal-verdeeld zijn en dat de index afwijkt van de waarde die op de DINED-tabel wordt vermeld (Bijlage 2.6). Dit wil zeggen dat bij de niet lengte-maten de variatie verhoudingsgewijs groter is dan bij de lengte-maten.

waarde van de parameter

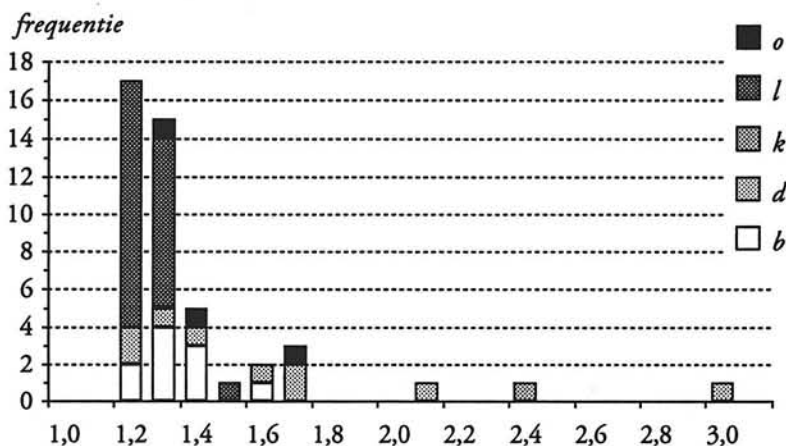


Figuur 5.4: Overzicht van de scheefheid en de kurtosis van de indices.

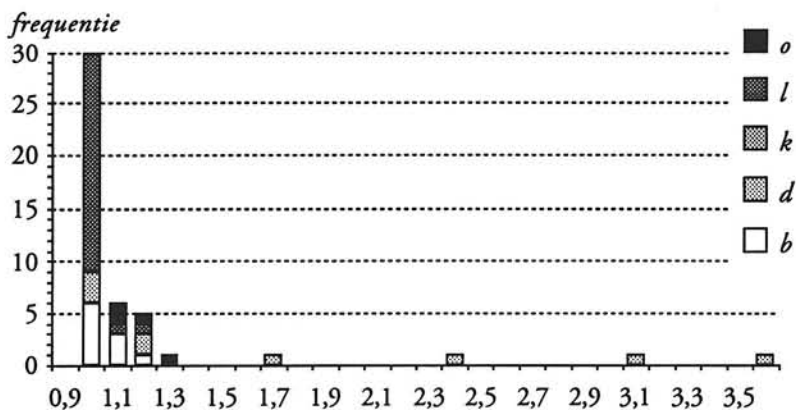
Conclusie vraagstuk 2. Voor de lengte-maten zijn de indices  $i_4, i_5, i_6, i_7$  en  $i_8$  op de DINED-tabel wel bruikbaar. Voor de niet-lengte maten geldt dat de indices  $i_4 - i_8$  door hun niet normale verdelingen, niet goed geschat worden door de formules op DINED-tabel. Als bijvoorbeeld van een populatie de  $\bar{x}_{\text{man}}$  gegeven is, waaruit men met behulp van index  $i_5 = P_{95\text{vrouw}} / \bar{x}_{\text{man}}$  een indruk van de spreiding wil krijgen, dan is de werkelijke spreiding bij diepte-maten (inclusief huidplooidikte) volgens Figuur 5.6 3,6 keer  $\bar{x}_{\text{man}}$  en niet 1,03, zoals volgens de DINED!

De type maten bij de volgende 5 figuren zijn als volgt geclassificeerd:

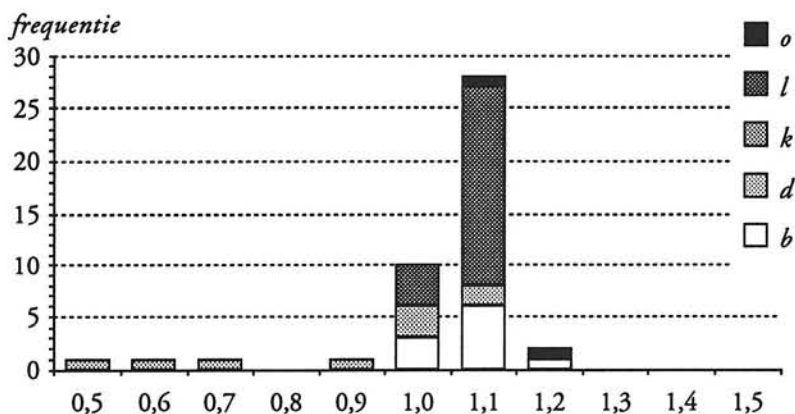
l = lengte maat; b = breedte maat; o = omtreksmaat; k = knijpkracht; d = dieptemaat, zie ook de legenda bij Figuur 5.5-5.9.



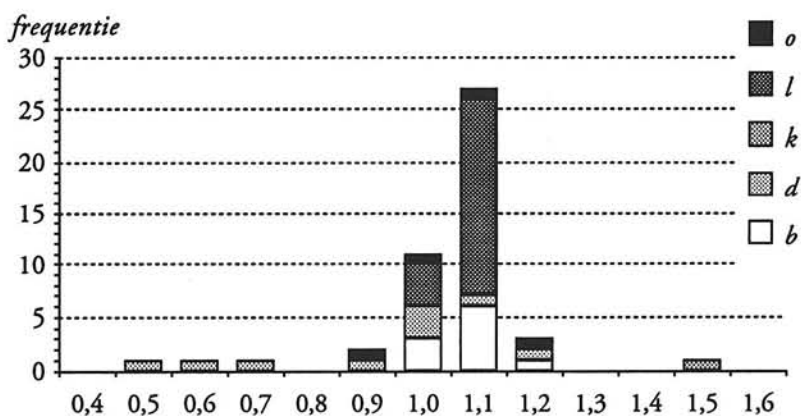
Figuur 5.5: Overzicht van de spreiding van de index  $i_4 = P_{95\text{man}}/P_{95\text{vrouw}}$  bij studenten.



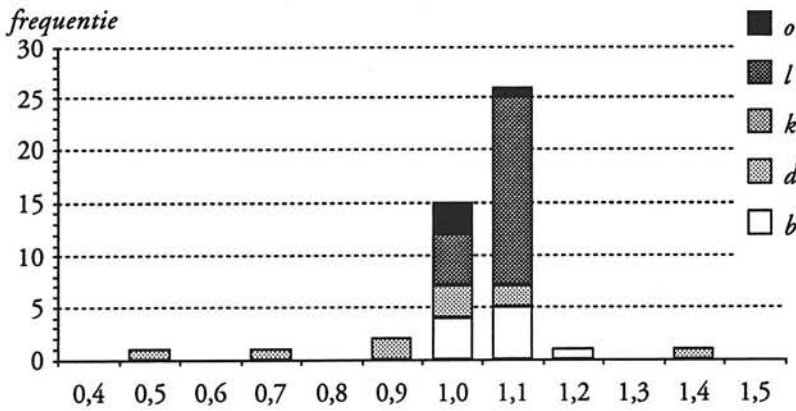
Figuur 5.6: Overzicht van de spreiding van index  $i_5 = P95_{vrouw} / \bar{x}_{man}$  bij studenten.



Figuur 5.7: Overzicht van de spreiding van de index  $i_6 = \bar{x}_{man} / \bar{x}_{vrouw}$  bij studenten.



Figuur 5.8: Overzicht van de spreiding van de index  $i_7 = P5_{man} / P5_{vrouw}$  bij studenten.



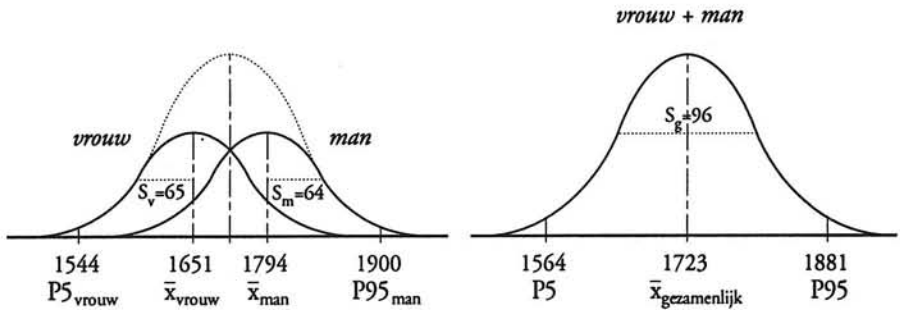
Figuur 5.9: Overzicht van de spreiding van de index  $i_g = P95_{man} / P95_{vrouw}$  bij studenten.

Vraagstuk 3: Is de Sg-formule, die aangeeft hoe groot de standaarddeviatie is van een gezamenlijke populatie van mannen en vrouwen, op de DINED-tabel juist?

*Inleiding.* Vanwege de behoefte, bij het ontwerpen over een eenvoudige formule te beschikken, waarmee de gecombineerde standaarddeviatie bepaald kon worden, is destijds de zogenaamde Sg-formule bedacht en op de DINED-tabel geplaatst.

Als percentages *man* en *vrouw* in gelijke mate bijdragen, luidt deze formule:

$s_g^2 = 1/2 * s_m^2 + 1/2 * s_v^2 + 1/4 * (\bar{x}_m - \bar{x}_v)^2$  (Figuur 5.10),  
 waarbij m = man, v = vrouw; g = gezamenlijk



Figuur 5.10: Voorbeeld van ligging van de drie verdelingen: mannelijk, vrouwelijk en gezamenlijk bij de variabele: lichaamslengte.

*Werkwijze.* Het verifiëren van deze formule kan wellicht theoretisch gebeuren, maar in deze paragraaf is voor de empirische wijze gekozen:



Uit het 'studenten'-bestand (zie Hoofdstuk 4) zijn van 10 variabelen de meetgegevens geselecteerd. De standaarddeviaties van deze 10 variabelen zijn berekend op basis van drie deelpopulaties en zijn als volgt benoemd:

man:  $s_m$

vrouw:  $s_v$

man+vrouw:  $s_g$

Vervolgens is ook de  $s_g$  berekend met behulp van de volgende formule, waarbij met ongelijke aantallen *man* en *vrouw* rekening is gehouden.

$$s_g^2 = [n_m / (n_m + n_v)] * s_m^2 + [n_v / (n_m + n_v)] * s_v^2 + [n_m * n_v / (n_m + n_v)^2] * (\bar{x}_m - \bar{x}_v)^2;$$

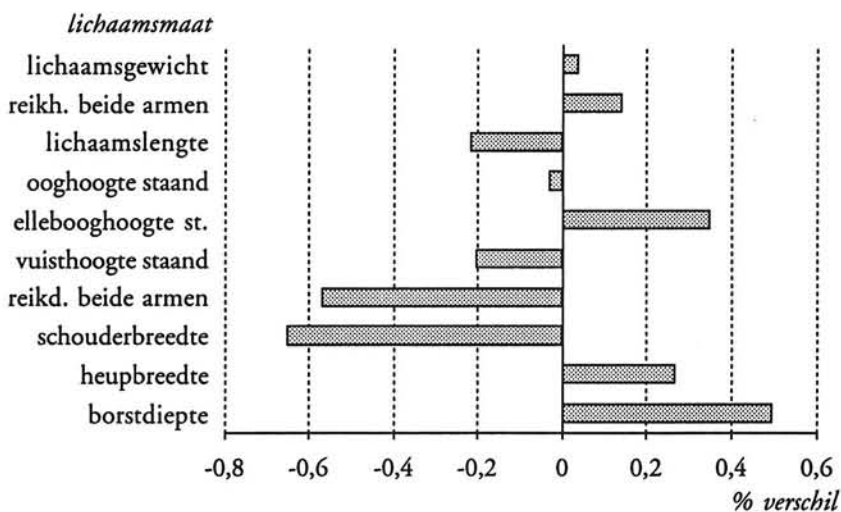
theoretisch zou dit moeten zijn (De Vries, 1994):

$$s_g^2 = [n_m - 1 / (n_m + n_v - 1)] * s_m^2 + [n_v - 1 / (n_m + n_v - 1)] * s_v^2 + [n_m * n_v / ((n_m + n_v - 1) (n_m + n_v))] * (\bar{x}_m - \bar{x}_v)^2$$

maar bij grote aantallen ( $n > 100$ ) is dit nauwelijks of niet merkbaar.

*Resultaten.* De resultaten van deze bewerkingen staan in Figuur 5.11

*Conclusie vraagstuk 3.* Hieruit blijkt dat de gegeneraliseerde  $S_g$ -formule minder dan 1% afwijkt van de empirische resultaten en dat het verschil in absolute zin maximaal 0,28 mm bedraagt, hetgeen ruimschoots binnen de meetbetrouwbaarheid ligt van dit soort maten. Conclusie: de  $S_g$ -formule is juist en mag ook in gegeneraliseerde vorm gebruikt worden. Het verdient dus aanbeveling die tweede vorm op de DINED-tabel te vermelden.



*Figuur 5.11: Het verschil tussen de schatting met de formule voor  $s_g$  en de empirische waarden bij combinatie van mannelijke ( $n=265$ ) en vrouwelijke ( $n=89$ ) proefpersonen.*

### 5.3.2 Bij het vaststellen van de gebruikers

Bewerkingen van antropometrische data zijn nodig bij het in tweede instantie vaststellen van het percentage van de gebruikersgroep dat vermoedelijk zal worden uitgesloten.

**Vraagstuk 4: Is het mogelijk bij een gegeven bivariate verdeling een ellips te construeren, die een vooraf bepaald percentage, zoals bijvoorbeeld 99% of 95% van de waarnemingen, als ellips omhult?**

Uit de literatuur blijkt dat de contourlijnen van een algemene binormale verdeling ellipsvormig zijn (Sittig en Freudenthal, 1951; Sokal en Rohlf, 1981; Meelen, 1984; Arisz, 1991). Bij een gegeven puntenwolk (scattergram), kan men de vraag ook nader als volgt specificeren:

Wat is het algoritme voor een ellips die p% van de waarnemingen omhult?

Met het antwoord op deze vraag zal de ontwerper sneller kunnen bepalen of zijn produktconcept aan het programma van antropometrische eisen voldoet.

Bij een binormale verdeling geldt:

met  $\rho$  = de correlatiecoëfficiënt tussen de maten  $x_1$  en  $y_1$  van de populatie  
met  $r$  = de correlatiecoëfficiënt tussen de maten  $x_1$  en  $y_1$  van de steekproef  
met  $\sigma$  = de standaarddeviatie van de populatie  
met  $s$  = de standaarddeviatie van de steekproef

dat bij

$\rho = 0$  en  $\sigma_1 = \sigma_2$  de ellips een cirkel is;

$\rho = 0$  en  $\sigma_1 > \sigma_2$  de ellips een lange as 'a' heeft die samenvalt met de x-as en een korte as 'b', die samenvalt met de y-as;

indien echter

$\rho > 0$  en  $\sigma_1 > \sigma_2$ , dan maakt de lange as 'a' een hoek  $\varphi$  met de positieve x-as, waarbij geldt dat  $\tan(2\varphi) = 2\rho\sigma_1\sigma_2 / (\sigma_1^2 - \sigma_2^2)$ ;

indien

$\rho < 0$  en  $\sigma_1 > \sigma_2$ , dan maakt de lange as een hoek  $-\varphi$  met de x-as.

Volgens Meelen (1984) blz. 68, geldt dat de 95 % contourellips te schrijven is in matrix-notatie als:

$$(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})^T \boldsymbol{\Sigma}^{-1} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}) = 5,99 = \chi^2_{0,95}(2)$$

Hierbij geldt:

$\boldsymbol{\mu}$  = de verwachtingsvector  
 $\boldsymbol{\Sigma}$  = de variantie-covariantiematrix  
T = het teken dat aangeeft dat deze matrix getransponeerd dient te worden, indien deze uitgeschreven wordt

$\chi^2_{0,95}(2)$  = de 95ste percentielwaarde van de chi-kwadraat verdeling met 2 vrijheidsgraden

Deze vergelijking is te herschrijven tot een soort vierkantsvergelijking met als oplossing:

$$y_{1,2} = \rho x \pm \sqrt{(1 - \rho^2) * \sqrt{(\chi^2 - x^2)}}$$

Hierbij geldt:

$\rho$  = de correlatiematrix;

$\chi^2$  = de 95e percentielwaarde van de chi-kwadraat verdeling met 2 vrijheidsgraden.

Dit algoritme is in het computerprogramma ELLIPS verwerkt (De Hoogh, 1992). Als invoergegevens zijn hiervoor vereist:

twee kolommen data x, y ofwel  $s_x$ ,  $s_y$  en r.

In Figuur 5.12 wordt de werking van ELLIPS gedemonstreerd met de twee variabelen lichaamslengte (variabele y) en lichaamsgewicht (variabele x) uit het studenten-bestand. ELLIPS tekent hier de 95% contour-ellips in een rooster van stippellijnen, die horizontaal op een afstand  $s_x$  en verticaal op een afstand  $s_y$  getekend zijn. In het kader wordt tevens aangegeven:

- De coördinaten van enkele belangrijke punten, zoals de snijpunten (1, 2, 3 en 4) van de regressielijnen  $y = f(x)$  en  $x = f(y)$  met de ellips, uitgedrukt in de oorspronkelijke eenheden van de gemeten variabele. Dit wil zeggen dat voor punt 1 geldt: een gewicht van 840 hectogram en een lengte van 1994 mm.
- Dat in werkelijkheid 95,48% van de steekproef binnen de theoretische ellips te vinden is.
- De correlatiecoëfficiënt 0,64 bedraagt.
- Dat door de punten 3 en 4 de regressielijn  $y = ax + b$  gaat met  $a = 0,5810$  en  $b = 1385,3236$ .
- De eigenwaarden 1 en 2, die een indicatie zijn voor de lengte van de lange as en de korte as van de ellips.

Volgens Sokal and Rohlf (1981) is de vergelijking van de lange as van de ellips:

$$y = \bar{y} + b_1(x - \bar{x})$$

$$\text{met } b_1 = \frac{s_{xy}}{(\lambda_1 - s_y^2)}$$

en waarbij  $s_{xy} = \sum \frac{x_i y_i}{(n-1)}$  de covariantie is

$$\text{en } \lambda_1 = \frac{1}{2} \left[ s_x^2 + s_y^2 + \sqrt{(s_x^2 + s_y^2)^2 - 4(s_x^2 s_y^2 - s_{xy}^2)} \right]$$

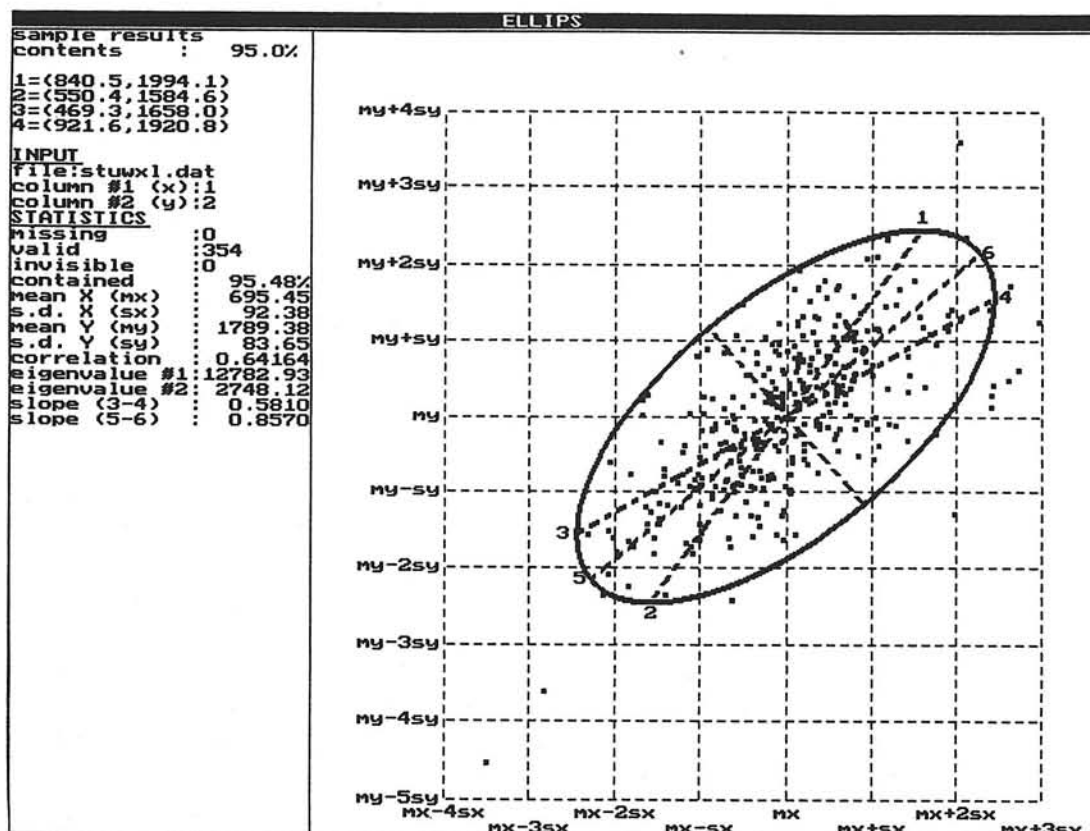
$\lambda_1$  = de eigenwaarde van de (co)variantie matrix van x en y

$b_1$  = de helling van de lange as van de ellips

$b_2$  = de helling van de kleine as

Omdat ze onderling loodrecht staan, geldt  $b_2 = -1 / b_1$ . De verhouding van de lengten van de korte en de lange as is dan

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \text{ met } \lambda_2 = s_x^2 + s_y^2 - \lambda_1$$



Figuur 5.12: Een voorbeeld van de uitvoer van het programma ELLIPS met in dit geval de data van het lichaamsgewicht ( $x$ ) en de lichaamslengte ( $y$ ) van 354 studenten en een ellips, die 95% van de individuen omhult.

*Conclusie vraagstuk 4.* Omdat ELLIPS uitgaat van centrering van de ellips in de data, betekent dit dat er in één oogopslag te zien is wat zich bijvoorbeeld tussen + en - 3 keer  $s_x$  en  $s_y$  afspeelt. Ook is zowel visueel als kwantitatief te inspecteren, welk deel van de puntenwolk door de ellips wordt omhuld. Tijdens het gebruik van ELLIPS bleek echter dat toch ook behoefte is aan de absolute waarden langs de assen. In de volgende versie zal dit aangepast worden.

Het resultaat van het zoeken naar een antwoord op de gestelde vraag, is een computerprogramma, waarvan hier alleen een schermafbeelding is gepresenteerd. In de praktijk bleek dat vooral het interactief kunnen werken met verschillende percentages en de invoer van nieuwe data zeer bevredigend was. Toepassingen hiervoor komen aan bod bij vraagstuk 9 en 10.

**Vraagstuk 5:** Is de  $P_z$ -formule (waarbij wordt vastgesteld hoeveel de reductie van de gebruikerspopulatie is bij twee maten) juist en kan deze asymmetrisch gebruikt worden?

Met de  $P_z$ -formule (Dirken et al., 1980; 1984) is het mogelijk bij het dimensioneren van een ontwerp met twee maten  $x$  en  $y$ , waarvoor  $P_x$  en  $P_y$  de symmetrische percentages zijn, een gecombineerde geschiktheidspopulatie  $P_z$  te bepalen. Met symmetrisch wordt bedoeld dat links en rechts van  $P_{50}$  een even groot deel van de doelgroep ligt.

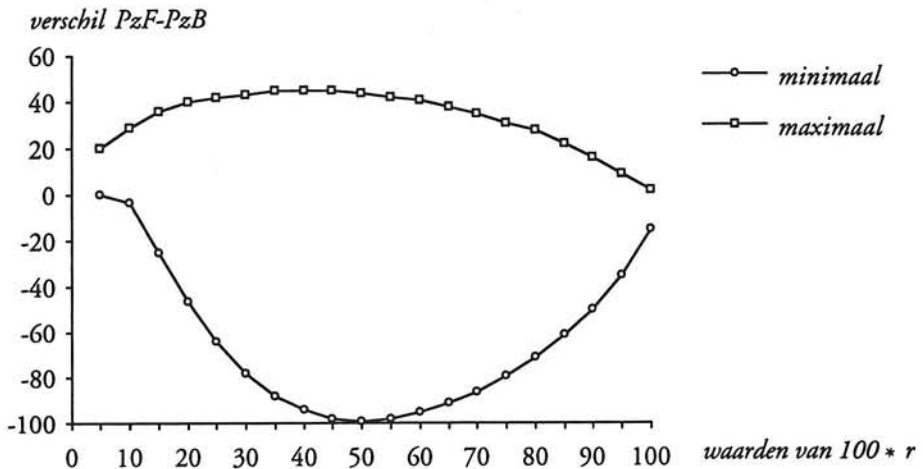
De formule luidt:  $P_z = P_x * P_y + r^2 (P_x - P_x * P_y)$

met  $P_x \leq P_y$ .

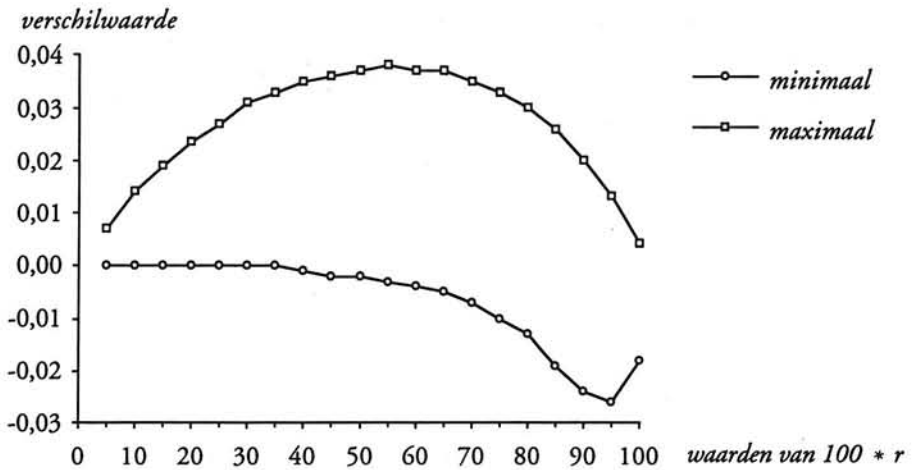
In deze paragraaf wordt deze formule met 'PzF' aangehaald; PzF is ook gelijk aan:

$$PzF = (1-r^2) P_x * P_y + r^2 P_x$$

In een testprogramma is stapsgewijs deze formule doorgerekend.  $P_x$  en  $r$  varieerden hierbij met 0,01 van 0,00 tot 1,00;  $P_y$  varieerde hierbij van  $P_x$  tot 1,00 eveneens met stappen van 0,01. De zo berekende PzF werd vergeleken met een numeriek berekende  $P_z$  voor binormale verdelingen. Deze numerieke routine werd onder de naam BIVNOR beschreven door Donnelly (1973). Deze  $P_z$  werd PzB genoemd. Hierbij werd het algoritme ALNORM (Hill, 1973) gebruikt om de percentielwaarden  $P_x$ ,  $P_y$  nauwkeurig te bepalen. Het relatieve verschil percentage  $D = [100 * (PzF - PzB) / PzB]$  voor elke waarde van  $r$  wordt getoond in Figuur 5.13. De absolute verschillen  $D = PzF - PzB$  staan in Figuur 5.14. Uit beide figuren blijkt dat de grootste verschillen steeds maximaal zijn voor  $r = 0,5$  en voor elke waarde van  $r$  bij  $P_x = 0,5$ . Daarbuiten daalt het verschil vloeiend naar nul voor de uiterste waarden van  $r$  en  $P_x$ . Het grootste absolute verschil is 0,038; hetgeen overeenkomt met 3,8%. Uit deze test bleek niet een afhankelijkheid van de symmetrie van de gebruikerspopulatie ten opzichte van de  $P_{50}$ -waarde; in de formule wordt immers alleen een indicatie van de oppervlakte-deel onder de curve van de normale verdeling meegenomen. De oppervlakte van bijvoorbeeld  $P_{10}$ - $P_{50}$  is gelijk aan  $P_{30}$ - $P_{70}$ .



*Figuur 5.13: De maximale en de minimale waarden van de percentuele verschillen tussen twee wijzen van bepalen van Pz: de geschatte PzF minus de numeriek bepaalde PzB.*



*Figuur 5.14: De maximale en de minimale waarden van de absolute verschillen tussen de geschatte waarden van Pz (PzF) en de numeriek bepaalde waarden van Pz (PzB).*

*Conclusie vraagstuk 5.* Het wiskundige bewijs dat de  $P_z$ -formule juist is, is niet geleverd; wel een illustratie dat het een redelijk snelle benadering is en de uitkomsten voor ontwerpers acceptabel dicht bij de theoretische benaderingsformule liggen. Praktisch gezien kan men uit de figuren 5.13 en 5.14 alvast concluderen, dat de  $P_z$ -formule goed bruikbaar is. Het ligt tevens voor de hand een betere formule te bedenken. Ontwikkelingen in die richting zijn inmiddels op gang gekomen.

**Vraagstuk 6: Hoe groot is de reductie van de geschiktheidspopulatie bij het ontwerpen voor meer dan twee maten?**

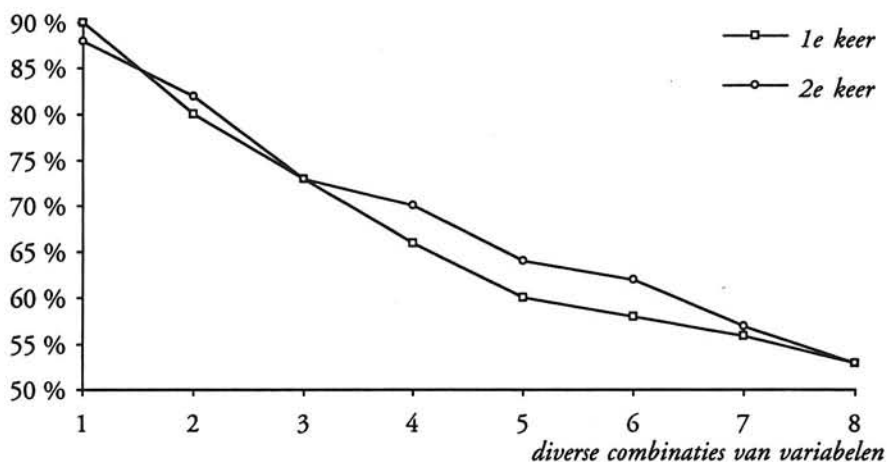
Bittner is één van de weinigen in de antropometrische literatuur die resultaten publiceerde over het verminderen van de geschiktheidspopulatie, indien er bij een ontwerpprobleem tegelijkertijd met meer dan twee lichaamsmaten rekening moet worden gehouden (Bittner (1974) vermeld in Sanders and McCormick, 1987, blz. 337 en Bittner, 1978). Bittner vond een reductie (uitsluiting) van 52 procent van de populatie bij het gebruik van 13 lichaamsmaten, met voor elk  $P_5$ - $P_{95}$  grenzen in plaats van de 10 procent uitsluiting die gold voor elke dimensie afzonderlijk. Om dit effect te verifiëren, is uit de studenten data (zie Hoofdstuk 4) een aantal maten geselecteerd, dat relevant is voor het ontwerpen van een beeldschermwerkplek.

Van deze maten zijn de gegevens bekend zoals in Tabel 5.10 en Tabel 5.11 op blz. 198 is aangegeven. Met behulp van het statistisch programma SAS is in 8 opeenvolgende stappen steeds geteld hoeveel personen uit de steekproef voor die betreffende lichaamsmaat een waarde hadden tussen  $P_5$  en  $P_{95}$ . Indien aan deze voorwaarde voldaan werd, werd de volgende stap genomen en weer geselecteerd tussen  $P_5$  en  $P_{95}$ .

Nadat de 8 stappen doorlopen waren, is de volgorde van de 8 lichaamsmaten gewijzigd en zijn de 8 selectie-stappen nog eens doorlopen. Deze reductie op eigen data geeft ongeveer hetzelfde resultaat als Bittner. Uiteraard blijkt dat de gekozen volgorde geen effect heeft op het eindniveau van de totale reductie. In dit geval blijkt bij het ontwerp van een beeldschermwerkplek, waarbij voor de 8 ontwerprelevante maten als grenswaarden de niet ongebruikelijke P<sub>5</sub>- en P<sub>95</sub>-waarden waren gekozen, dat er door de onderlinge samenhang (Tabel 5.11) 47% van de populatie wordt uitgesloten van gebruik. Dit getal komt overeen met een gemiddelde reductie per maat van bijna 6%. Bittner vond een reductie van gemiddeld 4% per maat. Het is jammer dat Bittner niet aangaf, wat hij vond na 8 maten, om de uitkomsten beter vergelijkbaar te maken. Maar stel dat we een extra 5 (= 13 - 8) -tal maten in ons experiment zouden meenemen met bijvoorbeeld 1% gemiddelde reductie per maat. Dit levert als totaal  $47 + 5 * 1 = 52\%$  en zou eenzelfde eindscore opleveren als Bittner. Die 1% lijkt een redelijk ondergrens voor de gemiddelde reductie gezien onze behaalde 4% per maat over de eerste 8 maten.

Uit deze resultaten blijkt nog eens duidelijk wat het effect is van de samenhang tussen de lichaamsmaten. Zonder samenhang zou immers bij 8 maten en steeds gebruik makend van een bereik van P<sub>5</sub>-P<sub>95</sub>, een reductie optreden van  $1 - 0,9^8 = 0,57$  (57%). Door de samenhang blijkt dit in dit geval 10% minder te zijn.

In Figuur 5.15 staat hoe het verloop is van beide reductie-processen bij de studenten data.



*Figuur 5.15: Het verloop van twee willekeurige reductieprocessen bij de studenten data.  
1e keer: volgorde 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 van Tabel 5.10 of Tabel 5.11  
2e keer: volgorde 8, 2, 1, 3, 5, 6, 4, 7 van Tabel 5.10 of Tabel 5.11*

nr	mens-maten	produktmaten	P5	P95
1	popliteale hoogte	zittinghoogte	427	532
2	bil-popliteale diepte	zittingdiepte	453	540
3	elleboog-zitvlak hoogte	armsteunhoogte	189	279
4	elleboog-gripas diepte	armsteunlengte	315	390
5	schouderhoogte zittend	rugleuninghoogte	568	671
6	ooghoogte zittend	hoogte midden beeldscherm	745	874
7	heupbreedte zittend	afstand tussen de armleuningen	319	388
8	breedte over de ellebogen	breedte van de stoel	370	483

Tabel 5.10: Relevante antropometrische variabelen in het geval van een beeldschermwerkplek voor de studentenpopulatie (de maten zijn in mm weergegeven).

nr maat	1	2	3	4	5	6	7	8
1 popliteale hoogte	100							
2 bil-popliteale lengte	63	100						
3 elleboog-zitvlak hoogte	-03	-14	100					
4 elleboog-gripas lengte	77	58	1	100				
5 schouderhoogte zittend	48	29	49	50	100			
6 ooghoogte zittend	60	35	47	63	74	100		
7 heupbreedte zittend	13	39	9	15	17	22	100	
8 breedte over ellebogen	25	29	4	37	31	31	56	100

Tabel 5.11: Correlatietabel van de 8 beeldschermwerkplekmaten. Alleen de eerste twee decimalen zijn weergegeven

*Berekeningswijze.* Een poging is ondernomen (De Hoogh, 1992) de formule voor berekening van PzF te generaliseren naar  $m$  dimensies ( $m > 2$ ), waarin alle  $m * (m - 1) / 2$  correlatiecoëfficiënten worden gebruikt. Deze nieuwe formule noemen we PzH. Alhoewel de huidige resultaten niet ongunstig zijn, zal verificatie van de toepasbaarheid pas kunnen plaatsvinden, zodra de PzF-formule in 2 dimensies naar behoren is gecorrigeerd en generalisatie naar meer dimensies heeft plaatsgevonden.

*Toetsing.* De formule PzH is in het computerprogramma FMULNOR (De Hoogh, 1992) interactief bruikbaar gemaakt, zodanig dat van de bejaarden of de studenten steeds een serie lichaamsmaten en bijbehorende percentielwaarden gekozen konden worden. Het programma berekende vervolgens de waarde volgens de formules naast de empirische waarde.

Bij toepassing op de *bejaarden* gegevens (dus op een andere populatie dan waaruit de nieuwe berekeningswijze is ontwikkeld) blijkt onder meer dat deze wijze veel perspectief biedt (Tabel 5.12). De lichaamsmaten van de bejaarden zijn hierbij overeenkomstig die van de studenten (Tabel 5.10) genomen en wel de nummers 1, 2, 3, 4 en 8 met de gemiddelde onderlinge correlatie van  $\bar{r} = 0,164$ . Het aantal waarnemingen, waarbij al deze vijf maten gemeten was, bedroeg  $N = 568$  uit de totale steekproef van  $N = 822$ .



selectie (1)	empirisch (%) (2)	De Hoogh (%) (3)	verschil (3-2)
P95 popliteale hoogte	82 (N1=464)	80	-2
P90 bil-popliteale diepte	67 (N1=383)	63	-4
P75 elleboog-zitvlak hoogte	32 (N1=181)	28	-4
P50 elleboog-gripas diepte	7 (N1=39)	5	-2

*Tabel 5.12: Vergelijking tussen de berekeningswijze van De Hoogh en de empirie in het geval van 4 dimensies. Leesvoorbeeld bij 3e regel tabel: In kolom (3) staat dat er 63% van de 568 proefpersonen onder P90 zitten volgens formule  $P_z H$ , na een eerste selectie van P95; in kolom 2 staat dat dit empirisch 67% = 383 proefpersonen bleken te zijn.  $n = 568$ .*

Dunnett (1988) meldt dat  $P_z = 1/3$  bij  $P_x = P_y = r = 0,5$ . De 'oude'  $P_z$ -formule geeft dan 0,3125 en is daarmee blijkbaar toch een redelijke benadering. Vanwege de exponentiële toename van de hoeveelheid rekenstappen, is het nieuwe model niet 'handig' en dient er naar een efficiëntere berekeningswijze gezocht te worden. Bijvoorbeeld zou gezocht kunnen worden naar een correctiefactor voor het meerdimensionale geval, die bij het twee-dimensionale geval ervoor zorgt dat het verschil tussen  $P_z = 0,3125$  en  $P_z = 1/3$  opgeheven wordt. Wellicht zal die nog onbekende factor ook voor meer dan twee dimensies een gunstige werking hebben.

**Vraagstuk 7: Hoeveel % van een populatie voldoet aan het criterium: gemiddelde + of - een marge van 10% per maat, bij 2 en meer maten; met andere woorden: hoeveel personen zijn gemiddeld in een paar fysieke kenmerken? Bijvoorbeeld toe te passen in een percentiel profiel.**

Een overeenkomstig effect van reductie van de gebruikersgroep, als bij vraagstuk 6, is te constateren, als gezocht wordt naar de gemiddelde mens die voldoet aan de gemiddelde waarde van een serie variabelen. Churchill and Daniels onderzochten in 1952 (ARP, 1978) het idee van 'the Average Man' door van het gegevensbestand van 4063 Amerikaanse militairen, gemeten door Herzberg in 1950, een serie van 10 maten te selecteren. De maten waren alle relevant voor kleding ontwerpers.

Het interval rondom het gemiddelde, dat bij de selectie meegenomen werd, was steeds + en - 0,3 s. Dit betekent dat P38 en P62 de grenzen vormen en 24% rondom het gemiddelde insluiten. Althans volgens de tekst in ARP (1978); in Hertzberg (1960) staat over hetzelfde experiment dat de grenzen op + en -15 % lagen en dit komt overeen met P35 en P65; ofwel + en - 0,4 \* s. Het resultaat komt in beide beschrijvingen echter overeen: aan de eerste selectie (het gemiddeld zijn op 2 maten) voldeed slechts 25,97% van de empirische data. Hieruit blijkt dat de theoretische  $2 * 12 = 24%$  met bijna 2% overschreden is. Aan de tweede selectie voldeed 7,43% en na de 9de selectie was er in de steekproef geen persoon meer van wie ook nog de rode maat lag in het gewenste interval. De conclusie destijds was dat het concept van de 'average man' 'misleading' was en dat het beter is steeds uit te gaan van de variatie in lichaamsmaten cq lichaamsbouw.

Eenzelfde test bij het studentenbestand leek interessant en is uitgevoerd. Hiertoe zijn van bovengenoemde variabelen uit Tabel 5.10, die ontwerprelevant zijn voor een

beeldschermwerkplek, de grenswaarden P38 en P62 bepaald overeenkomstig het onderzoek van Churchill en Daniels in 1952 (ARP, 1978). Het resultaat van het selectieproces met deze 8 lichaamsmaten rondom het gemiddelde staat in Tabel 5.13. Hieruit blijkt dat er reeds bij 5 maten nog slechts 1 student over is, die toevallig ook aan het 6de criterium voldoet. Dit betekent dat het reductie proces ook hier in ongeveer dezelfde mate optreedt. Het verschil in resultaat met het experiment van Churchill en Daniels zal vermoedelijk ten dele liggen in het feit dat de lichaamsbouw enigszins verschilde en ten dele doordat zij een andere set lichaamsmaten kozen, namelijk bedoeld voor het kledingontwerpen.

	som van aantal maten							
	1	2	3	4	5	6	7	8
aantal studenten (n)	84	32	10	4	1	1	0	0
n in % van 354	24	9	3	1	0	0	0	0

Tabel 5.13: Het resultaat van het zoeken naar de gemiddelde ( $\bar{x} \pm 0,3 * s$ ) student.

Het moge duidelijk zijn dat bij een striktere interpretatie van het 'overeenkomen met de gemiddelde waarde', de strikte individualiteit in lichaamsvorm nog meer wordt benadrukt. Het ontwerpen voor een groep door te kiezen voor  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$  ..., betekent dus het ontwerpen voor niet bestaande gebruikers. begrip 'percentielprofiel' bruikbaar. Dit houdt in dat van een persoon van een serie lichaamsmaten geïllustreerd wordt welke de percentielwaarden zijn in relatie tot een referentiepopulatie. Bijlage 5.4 geeft zo'n percentielprofiel van de auteur met als referentie de DINED-waarden.

**Vraagstuk 8: Is het mogelijk een algoritme te vinden, dat iteratief de voorspelling van het betrouwbaarheidsinterval aangeeft voor maat y vanuit maat x, indien hetzij de ruwe data bekend zijn of het drietal parameters  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ , en  $s_x$ ,  $s_y$  en  $r_{xy}$ ?**

Bijvoorbeeld bij het bepalen van de maatvoering van ondersteuningsmiddelen voor gehandicapten kan de voorspelling van lichaamsmaten op basis van de dijbeenlengte een grote rol spelen (Molenbroek, 1988; van Haaster, 1988; Henze en Staarink, 1989; Sieuwertsen en Molenbroek, 1990; Steenbekkers en Molenbroek, 1990). Het probleem was steeds dat voor elk produktontwerp zo nauwkeurig mogelijk vastgesteld moest worden welke marges tussen produkt en mens toelaatbaar waren, rekening houdend met kledingtoeslagen en op basis van gegevens die veelal niet helemaal representatief waren voor de doelgroep.

Traditioneel werd de dijbeenlengte (bil-knieholte diepte) als voorspeller in de rolstoel-passingen gebruikt. Een langer dijbeen resulteerde dan niet alleen in een grotere zittingdiepte, maar ook in een grotere afstand voetensteun- zitting, een grotere afstand armsteun-zitting en een grotere zittingbreedte, etc. Het onderlinge verband tussen de lichaamsmaten werd eigenlijk niet optimaal gebruikt, omdat de correlatiecoëfficiënt impliciet gelijk aan 1 werd gesteld. In theorie ligt de correlatiecoëfficiënt  $r$  tussen -1 en +1. In de antropometrische werkelijkheid zijn waarden van  $r < -0,2$  zeldzaam en is een waarde  $r = 0$  reeds bijzonder. Bijvoorbeeld tussen de elleboog-zitvlakhoogte en de dijbeenlengte is de  $r$  gelijk aan ongeveer 0. Dit betekent dat bij elke dijbeenlengte

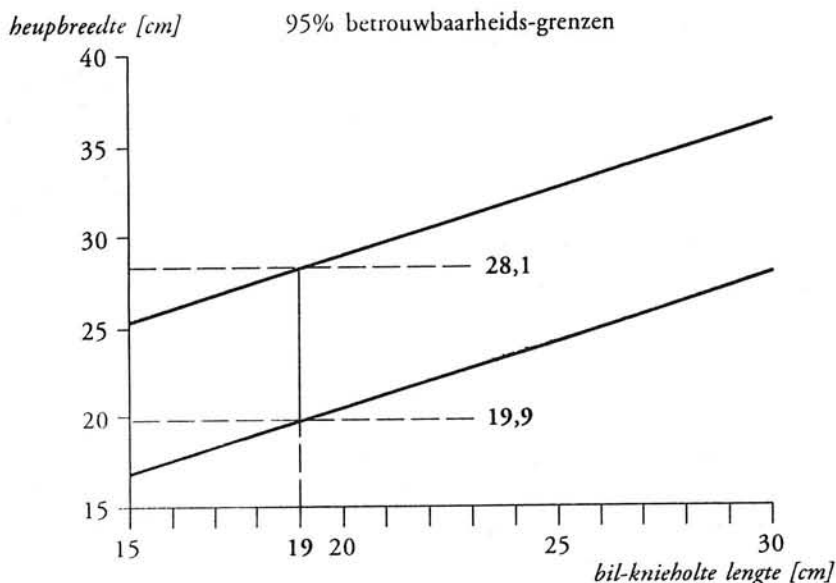
een verstelbereik van de armsteun gewenst is gelijk aan de waarde die volgt uit de samenhang tussen beide variabelen. In het GMD-project 'bruikleenpakket kinderrolstoelen' (Henze en Staarink, 1989) is geprobeerd een beter maatsysteem op te zetten met behulp van werkelijke meetgegevens. Hierbij werden als bronnen DELKI (Ter Hark en Molenbroek, 1986) en KIMA-1 (Steenbekkers, 1989) gebruikt. De relatie tussen de ontwerprelevante maten van rolstoel en dijbeenlengte is met behulp van scatterplots en regressievergelijkingen vastgelegd. Het volgende antropometrische produktmodel werd hierbij gebruikt:

produktmodel	mensmodel
zittingdiepte	dijbeenlengte
zittinghoogte	onderbeenlengte
zittingbreedte	heupbreedte
rugleuninghoogte	schouderhoogte
armsteunhoogte	elleboog-zitvlak hoogte
rugleuningbreedte	schouderbreedte
hoofdsteunhoogte	kruin-zitvlakhoogte

Hieruit werden vervolgens tabellen voor ontwerpers/onderzoekers gegenereerd, waarin voor elke dijbeenlengte (die binnen het project liep van 22 cm tot 50 cm in stappen van 2 cm) een spreidingsbreedte te vinden is van de andere relevante maten. Bijvoorbeeld hoort bij een dijbeenlengte van 40 cm:

- een zittingbreedte van 22-33,5 cm;
- een zittinghoogte van 28,5-43,5 cm;
- een rugleuninghoogte van 39-56 cm;
- een armsteunhoogte van 12-25,5 cm.

Deze opsomming kan men beschouwen als een deel van het GMD-kinderrolstoel-maatsysteem. Deze produktmaten zijn vastgesteld door rekening te houden met toelagen voor kleding en houding. Tijdens dit project bleek duidelijk behoefte aan een adequaat gereedschap voor ontwerpers/onderzoekers, om twee-dimensionale antropometrische relaties iteratief te kunnen bestuderen, en wel ten einde te kunnen vaststellen hoeveel gebruikers door een bepaald keuze uitgesloten worden. In de vraagstukken 4,5 en 6 is reeds aandacht aan dit probleem geschonken, maar nog niet in termen van betrouwbaarheidsintervallen. Omdat antropometrische data veelal van kleine steekproeven afkomstig zijn, ligt het voor de hand aandacht te besteden aan de verwachting van de spreiding van de antropometrische parameters bij de doelpopulatie op basis van de steekproefgegevens. Daartoe werd het computerprogramma EXOBS ontwikkeld (De Hoogh, 1992). Hiermee kan interactief bepaald worden hoeveel % in de populatie uitgesloten wordt op variabele  $y$  (=de cumulatieve overschrijdingskans) bij een zekere keuze van de variabele  $x$ .



*Figuur 5.16: Voorspelling volgens het programma EXOBS, van het 95% betrouwbaarheidsinterval van de heupbreedte vanuit de bil-knieholte lengte.*

Bijvoorbeeld bij Figuur 5.16 is met 95 % zekerheid te verwachten dat bij een bil-knieholte lengte van 19,0 cm een heupbreedte (zittend) hoort die ligt tussen 19,9 en 28,1 cm. Wil men bij hetzelfde probleem weten hoe dit zit bij een ander % of bij een andere dijbeenlengte, dan kan men eenvoudig (binnen het computerprogramma met de pijltjestoetsen) naar een andere waarde gaan. Hiermee kan een maatsysteem, zoals het rolstoelmaatsysteem, adequater opgezet worden. Dit wil zeggen dat hiermee beter duidelijk kan worden gemaakt welke gevolgen (in termen van % uitsluitingen) een wijziging in dijbeenlengte heeft voor één van de voorspelde rolstoelvariabelen. Het in het ontwerp meenemen van een bepaalde spreidingsbreedte voor de dijbeenlengte heeft tot gevolg dat direct de daarmee samenhangende waarden van de overige rolstoelmaten in centimeters verstelbaar worden uitgedrukt. Uit het oogpunt van onder meer materiaaleigenschappen of constructie blijkt dan of dat realiseerbaar is. Bij het GMD-kinderrolstoelproject, vond deze analyse nog plaats zonder gebruikmaking van EXOBS, met behulp van alleen de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van alle bovenstaande mensmaten in de vorm van dijbeenlengte \* rest (= paarsgewijs steeds één van de andere relevante mensmaten).

Voorafgaand aan deze procedure zou echter eerst nagegaan moeten worden welke de beste voorspellers zijn van de relevante maten. Het ligt in de verwachting dat dit niet alleen de dijbeenlengte is, maar ook de heupbreedte.

### 5.3.3 Bij het minimaliseren van de uitsluitingen

Het bewerken van antropometrische data kan in derde instantie erop gericht worden om het aantal gebruikers te minimaliseren, dat uitgesloten zal worden door een bepaalde differentiatie in produkttypen. Bijvoorbeeld door meer schoenmaten te produceren voor grotere en bredere voeten, wordt het aantal uitsluitingen minder.

**Vraagstuk 9: Is het mogelijk een maatsysteem te construeren binnen een bepaald percentielgebied (bijvoorbeeld P1-P99) ?**

Een 'steenverband' is de afbeelding van een tweedimensionaal maatsysteem, uitgedrukt in (gestandaardiseerde) waarden van de beste voorspellers voor de rest van een produktsoort. Eén steen of klasse (zie Tabel 5.14 of Figuur 5.17) bevat een optimaal aantal waarnemingen (punten uit de puntenwolk die het scattergram aangeeft). De grootte van de 'steen' of klasse wordt bepaald door productie-eisen. Bijvoorbeeld meubelplaat is maximaal van een bepaalde grootte. De grootte van een steen wordt echter ook bepaald door eisen ten aanzien van comfort en/of houding. Het produkt bijvoorbeeld mag niet te klein of te groot zijn inzake die bepaalde lichaamsmaat. Onder meer Sittig en Freudenthal (1951), Sieuwertsen en Molenbroek (1990) en Schuffel (1989) beschreven het begrip maatsysteem of 'steenverband' reeds eerder. In Sittig en Freudenthal (1951) wordt een tweedimensionaal maatsysteem voor dameskleding gepresenteerd (dat echter nooit is ingevoerd). Ruglengte en tailleomtrek bleken met 19 maatcategorieën 95,5% van de gebruikersgroep te kunnen omvatten (zie ook hoofdstuk 3). De tailleomtrek werd daartoe geënclassificeerd in 7 categorieën en de ruglengte in drie (kort, middel en lang). Zodoende ontstonden er 'stenen' met een lengte (=omtrekverschil) van 8 cm taille en een hoogte van 3 cm ruglengte. Het criterium voor een maatcategorie was hier het te verwachten comfort van een kledingstuk, indien dit net past tot en met een acceptabele marge. In het artikel van Sieuwertsen en Molenbroek wordt geanalyseerd hoeveel maatcategorieën (stenen) nodig zijn voor kinderzitjes voor gehandicapte kinderen van een bepaalde leeftijdsgroep. Hierbij wordt een methode van aanpak aangegeven voor het geval er ruwe data aanwezig zijn en voor het geval alleen en s bekend zijn van de relevante maten. Indien alleen en s bekend zijn, wordt uitgegaan van het afbakenen van een maatveld XY ter grootte van de kleinste produktmaat X tot de grootste produktmaat X enerzijds en van klein naar groot voor produktmaat Y anderzijds. Hierbij wordt uitgegaan van de aanname dat er binnen het maatveld XY een homogene puntenverdeling is in plaats van een kansdichtheidsfunctie volgens de bivariate normale verdeling. Vervolgens wordt op de wijze, die hierboven reeds is vermeld, bekeken of er één of meer produkttypen nodig zijn. Indien er ruwe data aanwezig zijn, wordt de methode volgens het programma ELLIPS (zie Paragraaf 5.3.2) voorgesteld. Schuffel illustreerde een maatsysteem voor de gevechtsbroek met de tailleomtrek en de tussenbeenlengte (kruishoogte) als relevante dimensies ('uitgiftematen' worden ze in dat artikel genoemd). Het doel was om een zo klein mogelijk aantal maatcategorieën te ontwikkelen. In het artikel van Schuffel wordt op die wijze bepaald dat 6 maatcategorieën voldoende zijn voor het omvatten van 95,4% van de gebruikersgroep.

Interactief is het mogelijk met het eerder genoemde (zie vraagstuk 4) computerprogramma ELLIPS tot een combinatie van 'stenen' te komen, met een voor de ontwerper optimaal aantal produktmaten. Bij het ontwikkelen van dit soort maatsystemen is het handig te zien wat het effect van een wijziging in het conceptmaatsysteem is. Het programma ELLIPS is daarom zodanig uitgebreid dat een tabel geproduceerd kan worden met daarin de kansinhoud per 'steen', dus per mogelijke maatscategorïe. Door het raster (het 'grid') fijn genoeg te kiezen, kan het systeem geoptimaliseerd worden naar bijvoorbeeld zo weinig mogelijk maatscategorïen (zoals bij de gevechtsbroek) of naar een vaste 'sprong' in de opvolgende maatscategorïen (zoals bij schoenen). In Tabel 5.14 staat een voorbeeld van de tabel-uitvoer met 10 categorïen. Die 10 is willekeurig gekozen in dit geval. ELLIPS vraagt om het aantal klassen in horizontale en in verticale richting en geeft aan, met de SDS (standaarddeviatiescore) als eenheid langs de assen, weer wat de kansinhoud \* 10000 in de steekproef is (zie voor toepassing hiervan vraagstuk 10). Het aangeven van de absolute waarden is ook in principe mogelijk.

		RIJ											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
		-372	-298	-224	-150	-76	-3	71	145	219	293	367	
KOL	10	308	0	0	0	0	0	142	57	28	0	0	227
	9	248	0	0	0	28	0	57	114	0	28	28	256
	8	188	0	0	0	0	85	85	170	85	0	0	426
	7	128	0	0	0	0	284	426	483	114	28	0	1335
	6	67	0	0	som van cel- inhoud=2242 =22%		568	824	682	256	0	0	2386
	5	7	0	0			597	852	227	0	0	0	2358
	4	-53	0	28			710	199	142	28	0	0	1903
	3	-114	0	28			114	57	0	0	0	0	710
	2	-174	0	57	28	57	0	0	0	0	341		
	1	-234	28	0	28	0	0	0	0	0	0	57	
	-294	28	114	625	1676	2386	2699	1875	511	57	28	10000	

Tabel 5.14: Uitvoer van het programma ELLIPS met de kansinhoud voor een maatsysteem van 10 x 10 maatscategorïen. Uitgezet zijn de lichaamslengte en het lichaamsgewicht van 352 man + vrouw studenten (%vrouw = 28). Steekproef proporties \* 10.000; maatsysteem 10x10.

Horizontaal staat de lichaamslengte (met  $\bar{x} = 1790$  mm en  $s = 81$  mm) en verticaal het lichaamsgewicht (met  $\bar{x} = 695$  hectogram en  $s = 89$  hectogram), aangegeven in SDS-scores. Links staat in de tweede kolom '67', hetgeen betekent  $67/100 = 6,7 * s$ . Dit dient gelezen te worden als een bovengrens van die rij. Zo is  $7/100 = 0,07 * s$  de ondergrens van die rij. De kansinhoud van die rij 5 staat rechts met het getal '2358'. Dit betekent  $2358 / 10.000 = 23\%$  van het lichaamsgewicht. In de tabel is bij wijze van voorbeeld een maatsysteem met 3 categorïen getekend. Het programma ELLIPS geeft dan aan welk deel van de steekproef binnen elk der categorïen valt en welk er buiten ligt. In dit geval

ligt 8% er buiten en ligt in de linker 'steen' 22%, in de middelste 49% en in de rechter 21%. Wijzigingen in dit concept maatsysteem zijn met behulp het programma eenvoudig te maken.

Deze illustratie van ELLIPS laat hoogstens zien wat de bedoeling is. Het gebruiksgemak dient nog verder ontwikkeld te worden. Zo zou standaard ook de absolute waarde bij de cellen moeten worden afgedrukt en ook de som van de cellen binnen een gemaakte 'steen' en erbuiten.

**Vraagstuk 10: Is het mogelijk te illustreren hoe het maatsysteem van een produkt bij produktdifferentiatie samenhangt met de verdeling van de lichaamsmaten?**

Het antwoord op dit vraagstuk wordt gegeven aan de hand van de voorgestelde Europese CEN-norm voor schoolmeubilair (CEN/TC 207/WG5/TG1 N35-N69, 1994). De vraag is dan of de produktdifferentiatie adequaat kan worden toegepast in verband met de antropometrische gegevens van Nederlandse kinderen. Deze vraag is relevant, omdat de Nederlandse Norm voor schoolmeubilair NEN3531 (1977), die toegelicht wordt in de NPR3831 (1977), aan verandering toe is omdat:

- de oude norm uit 1977 dateert;
- de open markt in Europa na 1992 van de fabrikanten een aanpassing vergt aan de Europese CEN-norm en dit brengt grote investeringen met zich mee.

De Nederlandse Norm Commissie voor Schoolmeubilair had onder meer bezwaar tegen het CEN voorstel voor de maatreeks van de zittinghoogten. Op basis van de meetgegevens van de onderbeenlengte van drie beschikbare populaties is een scatterplot gemaakt van de onderbeenlengte versus de lichaamslengte van kinderen en jongeren in Nederland van 4 tot 25 jaar. De gebruikte populaties en hun respectieve auteurs waren:

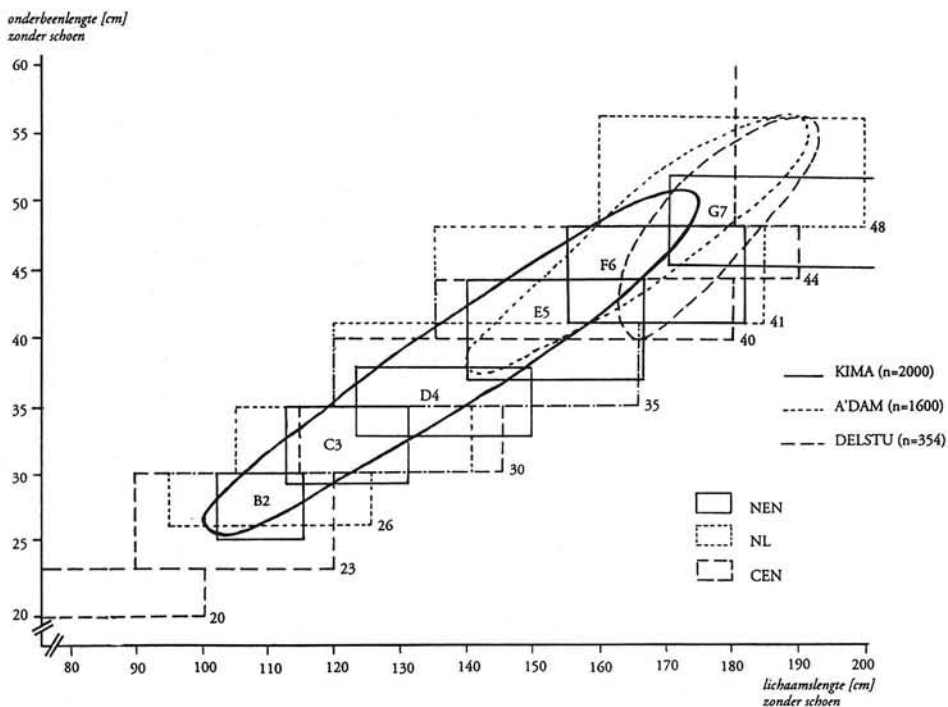
- De KIMA-gegevens van Steenbekkers (1993). Dit betrof een geografisch representatieve Nederlandse steekproef van ruim 2000 kinderen van 2-12 jaar, die in 1991 gemeten is.
- De tiener-gegevens van Kemper (1985), een steekproef van 1600 kinderen van 13-19 jaar in Amsterdam, gemeten in 4 cohorten van 400 gedurende 1976-1980.
- De DELSTU-gegevens van de auteur, een steekproef van 354 studenten, die in 1985 en 1986 in Delft gemeten zijn.

De eerste en de derde populatie werden uitgebreider beschreven in Hoofdstuk 3 en 4.

Figuur 5.17 geeft de verzameling van de drie scatterplots enigszins vereenvoudigd weer. Hierin is ook een overzicht gegeven van alle genormeerde zittinghoogten volgens de CEN (onderbroken lijn) en volgens ons eigen voorstel van juni 1992 (getrokken lijn).

Dit geeft twee 'steen'-verbanden door elkaar heen. De lengte van de steen geeft aan welke lengten van kinderen bij desbetreffende zittinghoogte horen. De hoogte van de steen geeft de discomforttoeslag aan, die nog toelaatbaar is bij desbetreffende zittinghoogte. In Tabel 5.15 wordt dit op de onderste regel weergegeven. De gedachte hierachter is dat een onderbeen niet korter mag zijn dan de zittinghoogte, maar wel iets

langer, omdat het onderbeen dan onder een hoek met de verticaal geplaatst kan worden, waarbij als maximale hoek 30 graden wordt gesteld.



*Figuur 5.17: Drie maatsystemen voor zittinghoogte (CEN, NL en NEN) en de relatie tussen lichaamslengte en onderbeenlengte bij drie steekproeven.*

classificatie volgens norm	0	1	2	3	4	5	6
CEN ±1 zittinghoogte (cm)	21	24	31	36	41	45	49
CEN lengte klasse (cm)	80-100	90-120	105-145	120-165	135-180	155-190	180+
NL lengte klasse (cm)		95-125	105-140	120-160	135-185	160-200	
NL zittinghoogte (cm)		28	32	37	43	50	
NL knieholtehoogte (cm)		26-30	30-35	35-41	41-48	48-56	
NL hakhoogte (cm)		2	2	2	2	3	
NL max. toeslag (cm)		4	5	6	7	8	

*Tabel 5.15: Nederlands voorstel juni 1992 versus CEN voorstel 1992.*

*Overzicht zittinghoogten bij maatsysteem voor schoolmeubilair; op de eerste regel van de tabel staat de aanduiding van de 7 typen schoolmeubel-setjes. Zowel tafel als stoel worden ingedeeld volgens één van deze categorieën. Leesvoorbeeld: in categorie 3 mag de zittinghoogte liggen tussen  $36 \pm 1$  cm; volgens CEN horen daarbij kinderen met een lichaamslengte van 120-165 cm; volgens NL 120-160 cm; volgens NL is de zittinghoogte voor deze categorie 37 cm, gebaseerd op een knieholtehoogte 35-41 cm + een hakhoogte van 2 cm en een maximale discomforttoeslag van 6 cm.*

Hierdoor is bijvoorbeeld bepaald dat een kind met een onderbeenlengte (geschoeid met 2 cm hak) van 26 + 2 cm tot 30 + 2 cm nog kan zitten op een zittinghoogte van 28 cm.



De hoek tussen onderbeen en verticaal is dan maximaal 30 graden en vanuit ergonomisch oogpunt acceptabel. De zittinghoogte wordt dan maximaal  $32 * \cos 30 = 28$  cm. Op basis van deze gedachte is een reeks van comforttoeslagen bedacht (4 cm tot 8 cm, zie onderste rij Tabel 5.15) voor het 'maatsysteem' voor schoolmeubelen (Tabel 5.15). Hieruit blijkt dat men bij het opstellen van de CEN-norm niet heeft gecontroleerd in hoeverre de verhoudingen tussen de menselijke afmetingen overeenstemmen met de norm. De CEN-lengtegroepen zijn in het diagram van Figuur 5.16 soms naar rechts te groot genomen (dat wil zeggen dat daar kinderen langere onderbenen hebben) en soms zijn ze links te kort (dat wil zeggen, dat daar kinderen zijn, die een te kleine zittinghoogte toegewezen krijgen). Verticaal zijn er teveel maten. Het blijkt dat een maatreeks van 5 voldoende zou zijn, om de spreiding van de onderbeenlengte te dekken. Opgemerkt dient wel te worden dat bovenstaand idee alleen de zittinghoogte voor de Nederlands kinderen betreft. Vanuit ergonomisch oogpunt dienen uiteraard meer aspecten van het schoolmeubel onderzocht te worden (wenselijkheid van verstelbaarheid en schuine werkvlakken, zie onder meer Van Wieringen et al. 1984) en vanuit CEN-oogpunt dienen de wellicht langere Nederlandse kinderen met die van de andere Europese landen vergeleken te worden.

Het blijkt dat de gegevens in de CEN-norm, bij gebrek aan data, met name door onderhandelen tussen de leden (zowel fabrikanten als wetenschappers) van de Europese Normcommissie, tot stand komen. Het belang van de fabrikanten daarbij is dat hun bestaand meubilair bij voorkeur voldoet aan de nieuwe norm. Het is dus niet zo verwonderlijk dat de richtlijnen in de CEN-norm verschillen van ergonomische richtlijnen.

In Ramaekers et al. (1993) wordt uitvoerig ingegaan op de antropometrische leemten van het bovengenoemde CEN-voorstel op basis van Europese antropometrische data en werden er de volgende voorstellen gedaan:

- 1 De onderbeenlengte als voorspeller te gebruiken in plaats van de lichaamslengte. De CEN/TC207/WG5/TG1 was overtuigd van het wetenschappelijk voordeel van deze benadering en heeft dit gehonoreerd door dit als mogelijkheid expliciet te vermelden.
- 2 Een extra grote maat (zittinghoogte 52 cm, terwijl tot nu toe 45 cm de hoogste maat was) in te voeren, zodat Nederlandse kinderen met lange onderbenen adequaat van een meubel voorzien kunnen worden. De CEN/TC207/WG5/TG1 heeft voorstel min of meer overgenomen, met dien verstande dat nu 50 cm + of - 2 cm toelaatbaar is.
- 3 De stapgrootte tussen de opeenvolgende maten ('stenen') aan te passen aan het hiervoor beschreven idee, overeenkomend met steeds de betreffende onderbeenlengte \* cosinus 30 graden. De CEN/TC207/WG5/TG1 was met enige moeite te overtuigen van de logica achter deze gedachte, maar handhaafde toch het voorliggende voorstel. Als reden gold dat er niet onevenredig meer Nederlandse kinderen werden benadeeld als Nederland de onderbeenlengte als voorspeller ging invoeren.

*Conclusie vraagstuk 10.* De conclusie moet zijn dat Nederlandse kinderen er duidelijk op vooruit gegaan zijn met schoolmeubilair volgens het bereikte compromis. Onderkend moet echter ook worden dat een norm een combinatie is van wetenschap en commercie en niet puur een wetenschappelijke consensus is. Het nadeel van het bereikte compromis is dat een fabrikant een zittinghoogte op een willekeurige plek in de CEN-'stenen' van Figuur 5.17 (inclusief een nog niet getekende '48-52 steen') mag leggen. Dit betekent dat land X een G7 stoel mag produceren van 52 cm en land Y een G7 mag produceren met 48 cm als zittinghoogte. De ingevoerde grote maat in het schoolmeubelsysteem heeft wellicht consequenties voor de overgang naar de 'gewone' stoel met meestal een zittinghoogte van 46 cm. Immers uit bovenstaande gegevens volgt dat een groot deel van de Nederlands jonge mensen (namelijk die met een lichaamslengte >170 cm) en vooral jonge mannen op de 'gewone' stoel te laag zitten. De hoge zitting van 50 cm zal vermoedelijk ook leiden tot een hogere tafelhoogte dan 72 cm die in de CEN-norm voor werkmeubilair wordt voorgesteld, indien men tenminste rekening wil houden met een P99 dijbeendikte, met een comfort- en kledingtoeslag, hakhoogte en enige tafelbladdikte of ondergeschoven laden.

### 5.3.4 Bij het verrichten van onderzoek

Het bewerken van antropometrische data is onder meer regelmatig nodig bij het verrichten van onderzoek (data-verzameling) wanneer gebleken is dat aanwezige gegevens onvoldoende zijn. In deze paragraaf zullen vooral de begrippen 'steekproefgrootte' en 'meethouding' worden belicht.

**Vraagstuk 11:** Geeft een analyse van bestaande metingen inzicht in hoeveel metingen nodig waren?

De literatuur geeft verschillende aanwijzingen over de aard en omvang van een steekproef, indien de resultaten een geldigheid moeten hebben voor de populatie: aselekt, typologisch, gestratificeerd, etc. Bij dit vraagstuk stellen we alleen de grootte van de steekproef aan de orde. Sokal en Rohlf (1981) zeggen dat de onderzoeker in ieder geval een schatting moet hebben van de variabiliteit van de items. Er is een eenvoudige formule gebaseerd op de maximaal toegestane standaardfout SE:

$$SE = s / \sqrt{n}$$

met  $n$  = de steekproefgrootte,

met  $s$  = de standaard deviatie van de populatie of een schatting ervan en

met SE = de toegestane standaard fout.

Toegepast op ons bejaardenonderzoek leverde dat destijds het volgende:

We namen aan, mede op basis van de literatuur (ICE, 1981), dat 3 mm een acceptabele standaardfout van de lichaamslengte was. Als standaarddeviatie van de lichaamslengte verwachtten we 70 mm voor zowel mannen als vrouwen, mede gebaseerd op literatuur, onder meer Van Wieringen (1972).

Het resultaat was een indruk van de vereiste grootte  $n$  van de steekproef:  $n = (70 / 3)^2 = 544$ . Volgens Sokal and Rohlf (1981) is de volgende formule bruikbaar, om te bepalen of er een verschil  $\delta$  tussen verschillende populaties aanwezig is (blz. 263):

$$n \geq 2 \left( \frac{\sigma}{\delta} \right)^2 \left[ t_{\alpha[v]} + t_{2(1-p)[v]} \right]^2$$

met

$\delta$  = het kleinste wenselijke verschil

$\sigma$  = de standaard deviatie van de populatie, te schatten uit eerdere analyses

$v$  = graden van vrijheid

$\alpha$  = het significantie niveau

$p$  = de gewenste waarschijnlijkheid

$t_{\alpha[v]}$  en  $t_{2(1-p)[v]}$  = waarden van een tweezijdige t-verdeling.

Hierbij is het voldoende als  $\sigma$  en  $\delta$  beide uitgedrukt worden in een % van de gemiddelde waarde. Een voorbeeld (naar Sokal en Rohlf, blz. 263, 1981): Bekend is uit voorgaande studie dat de variatiecoëfficiënt van een bepaalde lichaamsmaat ongeveer 6% is. Het plan is om 4 steekproeven te bestuderen door variantie-analyse. Hoeveel mensen dienen gemeten te worden in elke steekproef, om er 80% zeker van te zijn, dat een 5% verschil tussen twee van de vier steekproeven gevonden zal worden met een significantieniveau van 1%. Iteratief blijkt dat  $n = 35$  het juiste antwoord is met  $n \geq 2 (6/5)^2 [2,612 + 0,845]^2 = 34,4$ . Hierbij is voor  $\sigma / \delta = 6 / 5$  ingevuld, omdat  $\sigma$  geschat kan worden door  $s$  en van  $s$  bekend is dat  $s = 6 \bar{x} / 100$  en mede omdat  $\delta$  als  $5 / 100$  geschreven kan worden. Met  $v = 4 (35-1) = 136$  kunnen de t-waarden opgezocht worden in een statistisch handboek.

Roebuck et al. (1975) hebben een experimentele formule voor  $n > 100$ : (Roebuck noemt  $k$  de 'statistic of interest')

$$n = \{(k * s) / d\}^2$$

met  $k$  variërend als 1,96 voor  $\bar{x}$

1,39 voor  $s$

2,46 voor  $P_{50}$

2,67 voor  $P_{25}$  of  $P_{75}$

3,25 voor  $P_{10}$  of  $P_{90}$

7,33 voor  $P_1$  of  $P_{99}$

met  $s$  = de geschatte standaarddeviatie van de populatie en

met  $d$  = het gewenste te detecteren kleinste verschil.

Deze laatste formule zal worden toegepast op de vraag: 'Bij hoeveel mensen (volwassenen, mannen en vrouwen) dient de borstdiepte gemeten te worden, wil de gemiddelde waarde van die maat met een nauwkeurigheid van + of - 2,5 mm bepaald kunnen worden?'

Hiervoor geldt dan dat  $k = 1,96$ ;  $s = 19$  mm (bron: studenten data) en  $d = 2,5$  mm.

Invulling levert  $n = 216$ . Passen we hierop echter de eerste formule toe, dan zouden 230 mensen pas voldoende zijn als we de aanname doen dat  $SE = 1,25$  mm, hetgeen wil

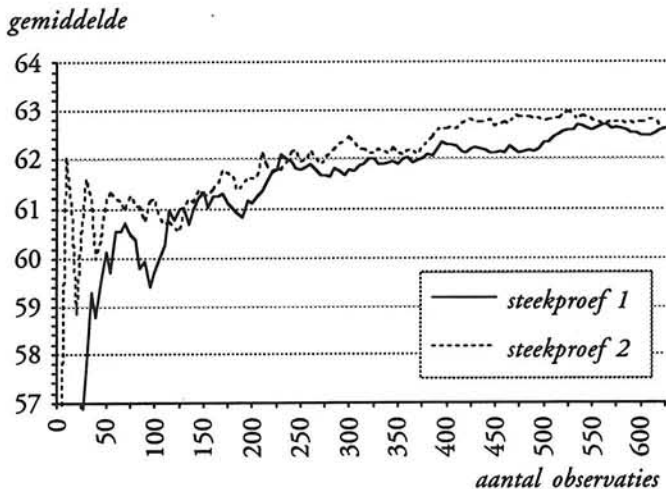
zeggen dat er 95% kans is dat het populatiegemiddelde ligt tussen 2,5 mm boven en onder het steekproefgemiddelde.

Om aan te tonen dat voor toepassing in de antropometrie de bestaande formules de grootte van de steekproef wellicht onnodig hoog schatten, is geanalyseerd hoe het verloop van  $s$  en  $\bar{x}$  als functie verlopen van het gemeten aantal bij een reeds gemeten dataset.

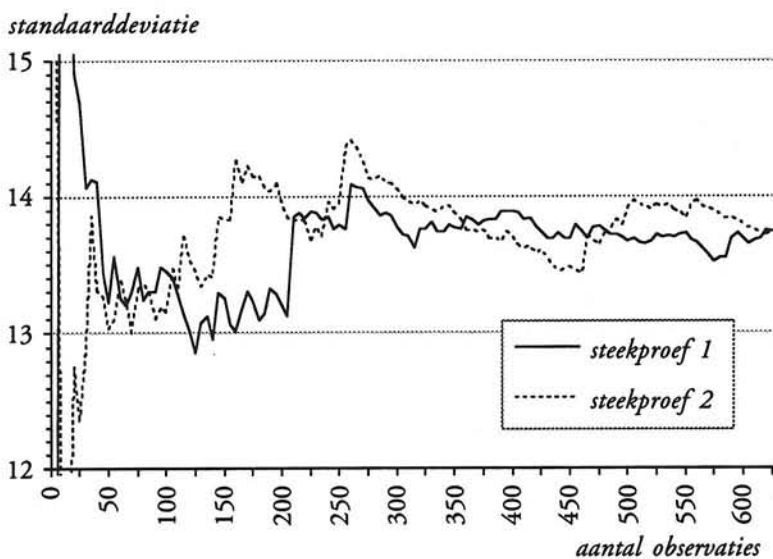
Als dataset werd de vrouwelijke bejaardenpopulatie gekozen met  $n = 624$ . Hierbij werd de volgorde binnen de dataset random bepaald en werd de steekproefgrootte steeds met  $n = 10$  vergroot. In Figuur 5.18 is te zien hoe bij het lichaamsgewicht het gemiddelde verloopt als functie van  $n$  bij twee verschillende volgorden (in de figuur worden deze steekproef 1 en 2 genoemd). Hieruit blijkt bij een  $n = 400$  een indicatie te bestaan voor de gemiddelde waarde van 62,5 kg. In Figuur 5.19 is te zien wat zodoende het verloop van de standaarddeviatie bij het lichaamsgewicht is tussen de boven- en de ondergrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval. Het lijkt alsof er na  $n = 250$  reeds een zodanige stabilisering optreedt, dat verdere proefpersonen nauwelijks meer bijdragen aan een grotere betrouwbaarheid van de standaarddeviatie, die uiteindelijk 14 kg werd. Meer random volgorden (we probeerden het met 2500 volgorden) leidden, zoals wellicht te verwachten is, tot de benadering die volgt uit de bekende formule voor het bepalen van het betrouwbaarheidsinterval rond het rekenkundig gemiddelde  $\bar{x} = \mu \pm z * s / \sqrt{n}$ . Met  $SE = s / \sqrt{n}$  (zie het begin van deze paragraaf) leidt dit tot een steekproefgrootte  $n = 544$ . Een suggestie voor een andere maatstaf zou wellicht kunnen zijn, het laten oplopen van de steekproefgrootte tot er 3 opeenvolgend pieken in het verloop van het gemiddelde 'lager' zijn.

*Conclusie vraagstuk 11.* Na deze analyse volgt geen eenduidig recept hoe in het vervolg te handelen bij antropometrisch veldonderzoek. Wel werd een beter inzicht in detotstandkoming van de kernparameters van een normaal verdeelde grootheid verkregen.

Indien bekend is, hoe nauwkeurig het gemiddelde of de standaarddeviatie moeten zijn, kan men met het continue controleren van  $\bar{x}$  en  $s$  en bij antropometrische veldonderzoeken (zie verder Hoofdstuk 6) en via bovenstaande visualisatietechniek wellicht overbodige metingen voorkomen. Erg pragmatisch lijkt het niet om zolang door te meten, dat elke variabele juist voldoet aan het SE-criterium; wellicht is het verstandiger te stoppen met meten als bijvoorbeeld 50% van de variabelen voldoet aan het SE-criterium. In de antropometrie wordt de steekproefgrootte immers vaker bepaald door enerzijds de inzet van de onderzoeker(s) en anderzijds door het toegewezen budget, de beschikbare tijd en wat een gelijksoortig onderzoek heeft gedaan, meer dan door een enigszins kwantificeerbaar criterium ten aanzien van de gewenste nauwkeurigheid. Tenslotte kan over de gedemonstreerde formules om de steekproefgrootte te schatten, gezegd worden, dat voor onderzoeken, waarbij percentielwaarden voorspeld dienen te worden, de formule van Roebuck de voorkeur heeft; bij kleine steekproeven ( $n < 100$ ) en vooral indien verschillen met andere kleine steekproeven van belang zijn, is de formule van Sokal en Rohlf aan te bevelen. De eerste formule verdient aanbeveling voor alle overige gevallen.



*Figuur 5.18: Het verloop van het gemiddelde van het lichaamsgewicht in kg als functie van de steekproefgrootte n bij vrouwelijke bejaarden.*



*Figuur 5.19: Het verloop van de standaarddeviatie van lichaamsgewicht in kg als functie van de steekproefgrootte n bij vrouwelijke bejaarden.*

**Vraagstuk 12: Is er een systematisch verband tussen liggend en zittend of staand gemeten lichaamsmaten?**

Het kunnen voorspellen van lichaamsmaten vanuit de liggende of zittende houding naar overeenkomstige maten in staande houding kan in een aantal gevallen erg nuttig zijn (Williamson et al., 1993):

- Bij bedlegerige mensen die niet staand gemeten kunnen worden. Denk hierbij aan baby's en verpleeghuis-patiënten; hierbij is immers de lengte bepaling essentieel voor

de indicatie van het dieet, waarbij men vooral kijkt naar de verhouding van lengte en gewicht (Berkhout et al., 1989; Chumlea et al., 1985).

- Bij het bedenken van een comfortabele werkhouding van de 'meter' (degene die meet), die immers ook vaak moet bukken of reiken, indien het meten op de conventionele manier gebeurt.
- Bij het meten in ruimten waarbij het meten van proefpersonen in liggende houding beter uitkomt. Dit laatste genoot de voorkeur bij het voorbereiden van een veldonderzoek met behulp van een meetbus. Als de proefpersonen immers liggende gemeten konden worden, zou dit veel problemen voorkomen bij het meten van mensen die langer waren (met name de reikhoogte) dan de bus hoog zou zijn (hoogte intern vanaf busvloer is tussen 160 en 240 cm).

Hierna worden de opzet en de resultaten beschreven van het experiment dat kon leiden tot regressievergelijkingen tussen liggende en zittende enerzijds en staande maten anderzijds. De betrouwbaarheidsintervallen van deze regressievergelijkingen zouden dan tevens zo klein moeten zijn, dat deze niet veel verschillen van de herhaalde meting van de voorspelde maat. Om dit te onderzoeken is een experiment opgezet, waarbij van 10 volwassen personen drie keer enkele maten werden gemeten bij in liggende, zittende en staande houding.

variabele	label		
	staand	liggend	zittend
lichaamslengte	s1	L1	
reikhoogte	s2	L2	z1
ooghoogte	s3	L3	z2
schouderhoogte	s4	L4	z3
ellebooghoogte	s5	L5	
vuisthoogte	s6	L6	z4
reikdiepte	s7	L7	z9
borstdiepte 1 (bij rustige inademing)	s8	L8	
borstdiepte 2 (na diepe inademing)	s9	L9	
heupbreedte	s10	L10	z8
schouderbreedte	s11	L11	z7
kruinzitvlak hoogte			z5
ellebooghoogte			z6

Tabel 5.16: Overzicht van variabelen bij het lig-zit-sta experiment.  
label = sI..sII = staand, LI..LII = liggend, zI..zII = zittend

*Werkwijze.* Van elk der tien proefpersonen werd steeds een serie van 30 maten genomen (11 staand + 9 zittend + 11 liggend). Dit werd drie keer herhaald binnen één middag.

Als meetinstrument werd de klassieke GPM antropometer gebruikt, waarbij de meetwaarden, na hardop te zijn genoemd door de meter, door het tweede meetteamlid via het toetsenbord van een pc werd ingevoerd in het programma SAMAS. SAMAS is een elektronisch meetformulier en wordt in Hoofdstuk 6 beschreven. De proefpersonen waren allen gekleed in een korte gymbroek en een t-shirt. Ter bepaling

van de globale lichaamsvorm werden na afloop éénmalig en alleen staand tailleomtrek, heupomtrek en lichaamsgewicht gemeten. Deze gegevens staan in Tabel 5.17.

persoon		lengte	gewicht	leeftijd	heup	taille	QI	t/h
1	m	192,6	90,7	50	106	90	24,5	0,85
2	m	186,4	90,7	40	109	90	26,1	0,83
3	m	182,9	73,3	28	95,5	78,5	21,9	0,82
4	m	179,6	72,9	39	97	82,5	22,6	0,85
5	m	183,0	88,0	38	103,5	90	26,3	0,87
6	m	185,5	76,6	46	97	87	22,3	0,90
7	m	185,2	71,5	23	98	80	20,8	0,82
8	v	178,3	75,6	27	102	79	23,8	0,77
9	v	162,3	51,5	26	87	66	19,6	0,76
10	v	171,2	73,0	25	98	85	24,9	0,87
gem m		185,0	80,5	37,7	100,9	85,4	23,5	0,85
gem v		170,6	66,7	26,0	95,7	76,7	22,7	0,80
gem m+v		180,7	76,4	34,2	99,3	82,8	23,3	0,83

Tabel 5.17: Algemene gegevens proefpersonen.

QI = Quetelet-index

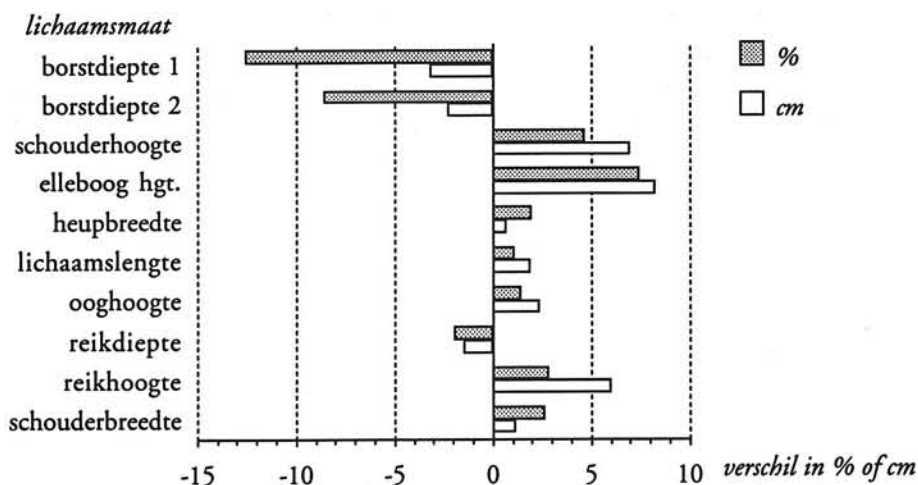
=  $G/L \cdot L$  met  $G$  in  $kg$  en  $L$  in  $m$

t/h = tailleomtrek/heupomtrek

Resultaten. Figuur 5.20 en Tabel 5.18 laten zien dat er een grote variatie is in het verschil tussen liggend en staand.

variabele	in % staand	in cm absoluut
s6	8,8	7,1
s5	7,4	8,2
s4	4,7	6,9
s2	2,8	6
s11	2,6	1,2
s10	2	0,7
s3	1,4	2,4
s1	1,1	1,9
Er is een negatief verschil bij:		
s8	12,5	3,2
s9	8,5	2,3
s7	1,9	1,5

Tabel 5.18: Verschillen tussen liggend en staand gemeten; uitgedrukt in het percentage van de waarde bij staand en in cm absoluut.



Figuur 5.20: Verschil in % en absoluut (cm) tussen liggend en staand.

De meest opvallende waarden zijn de vuisthoogte, die liggend 8,8% hoger uitvalt dan staand en ellebooghoogte, die liggend 7,4% hoger uitvalt dan staand en iets minder de schouderhoogte, die liggend 4,7% hoger uitvalt dan staand. Deze verschillen zijn biologisch interpreteerbaar door aan te nemen dat de wervelkolom zich meer strekt in liggende houding en dat de schoudergordel minder zakt in liggende houding. De negatieve verschillen in de borstdiepten zijn te verklaren door de werking van de zwaartekracht op de organen in de borstkas. Ook de combinatie van meer strekking en dunner worden van de romp, wordt duidelijker, als de romp wordt gezien als een flexibele korf met een plastische inhoud. De verschillen zijn, hoewel verklaarbaar, te groot om te worden verwaarloosd.

De tweede stap in dit experiment was daarom te proberen de staande maten vanuit de liggende en/of de zittende te voorspellen. Hierbij wordt uitgegaan van de correlatietabellen tussen enerzijds liggende (LI-L11) en staande maten (SI-S11) (Tabel 5.19) en anderzijds tussen zittende (ZI-Z9) en staande maten (SI-S11) (Tabel 5.20):

	lengte	reikhg	ooghg	schhg	elbhg	vsthg	reikdp	brstdp	heupbr	schbr
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L10	L11
s1 lichaamslengte	998	991	997	987	965	939	932	534	469	892
s2 reikhoogte	979	994	982	979	947	944	925	597	560	853
s3 ooghoogte	992	993	991	987	956	931	945	527	544	873
s4 schouderhoogte	965	983	974	980	967	970	945	584	513	763
s5 ellebooghoogte	870	904	881	902	926	962	884	682	415	608
s6 vuisthoogte	763	817	786	808	827	913	768	759	476	516
s7 reikdiepte	942	936	938	953	940	904	971	509	679	793
s8 borstdiepte	505	473	499	525	559	547	505	682	804	569
s10 heupbreedte	657	678	664	694	701	715	667	725	902	546
s11 schouderbreedte	769	733	759	738	738	737	624	706	401	913

Tabel 5.19: Correlatie tussen liggende (LI-L11) en staande (SI-S11) maten. Weergegeven is de correlatie coëfficiënt \* 1000.



De p-waarden voor de significantie van de correlatiecoëfficiënten zijn over het algemeen  $< 0,0001$ , behalve voor wat betreft de breedtematen waar deze oplopen tot  $p \leq 0,3$ . In deze tabel ontbreken de correlaties tussen LI..LI onderling en SI..SI onderling, omdat het in dit experiment ging om het voorspellen van de waarden van SI..SI variabelen uit de LI..LI variabelen.

	lengte	reikhg	ooghg	schhg	elbhg	vsthg	reikdp	brstdp	heupbr	schbr
	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s10	s11
z1 reikhoogte	895	936	930	888	800	776	868	442	621	714
z2 ooghoogte	868	879	896	807	695	661	814	412	520	754
z3 schouderhoogte	838	863	863	885	848	854	867	471	636	604
z4 vuisthoogte	300	200	200	200	100	-10	200	-3	0	90
z5 kruinuitvlak hoogte	917	905	930	857	745	693	870	482	566	788
z6 ellebooghoogte	20	120	50	150	320	460	30	30	40	90
z7 schouderbreedte	845	813	821	716	612	529	727	560	493	963
z8 heupbreedte	532	530	541	542	488	465	746	925	854	520
z9 reikdiepte	946	937	965	930	834	733	992	580	713	685

Tabel 5.20: Correlatie tussen zittende (z1-z9) en staande (s1-s11) maten. Weergegeven is de correlatie coëfficiënt \* 1000.

De p-waarden van z4 (vuisthoogte) en z6 (ellebooghoogte) zijn zo groot, dat er van significante correlatie geen sprake is. De reden moet waarschijnlijk gezocht worden in de gevoeligheid van de lichaamsmaat voor de juiste rechtop-houding. Bij het voorspellen van zittende en liggende naar staande maten gaf dat geen problemen, omdat het programma MAXR andere variabelen beter geschikt vond om als voorspeller te gaan gebruiken. Met behulp van de MAXR-methode van SAS (SAS, 1982-1988), is geprobeerd vast te stellen welke onafhankelijke variabelen de grootste verklaarde variantie opleverd. De volgende regressie-vergelijkingen waren het resultaat:

variabele	regressievergelijking	verklaarde variantie
heupS	$0.734961 * \text{heupbL} + 0.573336 * \text{brstdL} - 4.066004$	0.93
brstdS	$-0.107033 * \text{reikhZ} + 0.377071 * \text{brstdL}$ $+0.406752 * \text{heupbL} + 0.311493 * \text{schbZ} + 2.40679$	0.95
schbrS	$0.825833 * \text{schbZ} + 0.444760 * \text{brstdL} - 2.221037$	0.95
reikdS	$0.870855 * \text{reikdZ} + 10.083648$	0.98
elghgS	$1.058096 * \text{vsthgL} - 0.536584 * \text{schbL} + 42.428104$	0.92
ooghgS	$0.697651 * \text{reikhL} + 16.882305$	0.99
reikhS	$0.831354 * \text{reikhL} + 31.266621$	0.98
schhS	$0.577624 * \text{reikhL} + 22.764320$	0.96
vsthgS	$0.812521 * \text{vsthgL} - 0.566113 * \text{schbL} + 34.924597$	0.94
lengtS	$0.919093 * \text{ooghgL} + 23.290612$	0.99

Tabel 5.21: Regressievergelijkingen om vanuit liggende en zittende maten, staande maten te voorspellen.

Als afhankelijke variabelen zijn de 10 staande gemeten variabelen genomen en als onafhankelijke variabelen zijn door MAXR die liggend of zittend gemeten maten

genomen, welke de grootste verklaarde variantie opleverden. Het proces van paarsgewijs verwisselen van variabelen is gestopt indien  $R^2 > 0,90$  gold.

Als de oorspronkelijke 3 keer herhaalde metingen worden vergeleken met de 95% betrouwbaarheidsintervallen van de regressievergelijkingen, dan blijkt dat van de 300 meetwaarden er 97% (=291 meetwaarden) binnen vallen; er buiten lagen de volgende meetwaarden: 1x vuisthoogte, 2x borstdiepte en 6x reikdiepte.

*Conclusie vraagstuk 12.* Het is goed mogelijk staande maten te voorspellen vanuit liggende en/of zittende met een betrouwbaarheid, die in 97% van de gevallen ligt binnen de grenzen van de drie keer herhaalde meting. Via de regressieformules kan dan gecorrigeerd worden voor de soms forse verschillen, die in de lichaamshouding bij dezelfde variabele kan optreden. Wel moet bedacht worden dat de invloed van de sexe factor (3 vrouwen en 7 mannen), bij dit experiment buiten beschouwing is gebleven. Het zou aanbevelenswaardig zijn dit experiment te herhalen met een groep mannen en vrouwen afzonderlijk, om zodoende de invloed op de regressie-vergelijkingen beter te kunnen vaststellen.

### Conclusies Hoofdstuk 5

In dit hoofdstuk zijn 12 vraagstukken behandeld, die bij het gebruik van antropometrische data veelvuldig naar voren komen.

De antwoorden zijn kort samengevat:

- 1 Het al dan niet 'normaal' verdeeld zijn van een lichaamsmaat blijkt het beste door de  $a_3 =$  de scheefheid weergegeven te worden. De invloed op de voorspelling in de extreme percentielwaarden is goed weer te geven met de grootheid VP, die het verschil tussen de geschatte en de werkelijke percentielwaarde relateert aan het gemiddelde.

Deze VP's kunnen oplopen tot meer dan 10% bij het lichaamsgewicht, buikdiepte en tailleomtrek. De invloed van de soort maat (lengte, breedte, diepte en omtrek) is duidelijk aanwezig. Zoals te verwachten, zijn de grote lengte maten het minst scheef.

Een praktische correctiefactor is ontwikkeld, die opgeteld dient te worden bij de geschatte percentielwaarden, om het effect van de scheve verdeling te compenseren.

Bij dit vraagstuk is het computerprogramma DESCRIPT ontwikkeld dat van een dataset met antropometrische gegevens, een uitgebreid overzicht met percentielwaarden geeft met bijbehorende betrouwbaarheidsintervallen en normaliteitsindicatoren.

- 2 De normaliteit van indices, zoals de Quetelet-index ( $G/L^2$ ) blijkt goed te zijn; indices zoals op de DINED-tabel aangegeven, die quotiënten zijn van percentielwaarden, blijken verre van normaal verdeeld te zijn.
- 3 De  $S_g$ -formule, waarbij de standaarddeviatie wordt uitgerekend voor een gemengde populatie,

$$s_g^2 = [n_m / (n_m + n_v)] * s_m^2 + [n_v / (n_m + n_v)] * s_v^2 + [n_m + n_v / (n_m + n_v)] * (\bar{x}_m - \bar{x}_v)^2,$$

blijkt correct te zijn en niet alleen bij gelijke aantallen mannen en vrouwen, maar ook bij elke andere samenstelling.

- 4 Het blijkt mogelijk bij een gegeven puntenwolk, waarvan de coördinaten bekend zijn, een ellips te programmeren, die een vooraf bepaald percentage van de meetpunten omvat.

Het resultaat is het computerprogramma ELLIPS geworden, dat interactief te gebruiken is.

- 5 De  $P_z$ -formule:  $P_z = P_x * P_y + r^2 (P_x - P_x * P_y)$ , met  $P_x \leq P_y$ , blijkt voor ontwerpers goed bruikbaar, hoewel deze niet 'wiskundig' bewezen kon worden. Bij  $r = P_x = P_y = 0,5$  blijkt het verschil met een in de literatuur gevonden benadering (de BIVNOR-formule) het grootst te zijn (in absolute zin was dit 3,8%).
- 6 Door het gebrek aan onderlinge samenhang blijkt dat bij het bepalen van een percentielspreiding bij een serie, de reductie van de gebruikerspopulatie aanzienlijk kan zijn. Indien bijvoorbeeld bij een beeldschermwerkplek 8 verschillende lichaamsmaten relevant zijn voor het ontwerp en men voor elk  $P_5 - P_{95}$  kiest, blijkt dat er in totaal niet 10% maar 47% van de populatie wordt uitgesloten. Empirisch is dit eindresultaat eenvoudig te bepalen, maar een geschikte formule voor het meerdimensionale geval is nog niet gevonden. Wel ligt er een bruikbaar en getest idee.
- 7 De 'gemiddeld geproportioneerde mens' bestaat niet, volgt uit de literatuur, maar hoeveel % van onze studenten is bijna gemiddeld in enkele maten? Hiertoe is nagegaan hoeveel % voldoet aan het  $\bar{x} \pm 12\%$  op meer dimensies. Bij vijf dimensies bleek nog slechts één student te voldoen aan dit criterium. Na de zesde maat was er niemand meer. Het visualiseren van de grote variatie in percentielwaarden per individu, heeft geresulteerd in een computerprogramma PROFIEL, dat per proefpersoon de percentielwaarden grafisch weergeeft in relatie tot een referentiebestand (zie Bijlage 5.5).
- 8 Met behulp van het voor vraagstuk 8 ontwikkelde computerprogramma EXOBS is het mogelijk een voorspelling te doen van het betrouwbaarheidsinterval voor maat  $y$  vanuit maat  $x$ . Door hiermee interactief om te gaan, kan de ontwerper een efficiënt optimum zoeken tussen bijvoorbeeld meer typen van het produkt of een groter verstelbereik binnen hetzelfde type.
- 9 In aansluiting op het vorige vraagstuk is een wijze gevonden om een maatsysteem te optimaliseren. De parameters, die geoptimaliseerd moeten worden, zijn het percentage gebruikers, dat met een bepaald type bereikt wordt, versus het aantal typen en het percentage dat uitgesloten wordt.
- 10 Voor een bestaand produkt (schoolmeubilair) is uitgezocht welke consequentie het toepassen van de vigerende Europese CEN-norm zou hebben op de Nederlandse doelgroep, voor wat betreft het aspect onderbeenlengte versus zittinghoogte. Dit voorstel (Tabel 5.15) is ten dele overgenomen door de CEN-schoolmeubel commissie. Hiermee werd bereikt dat er een extra grote maat (zitting hoogte=50 cm)

ingevoerd is en dat de onderbeenlengte naast de lichaamslengte als indicator voor het juiste meubel gaat gelden. Het ontworpen nieuwe maatsysteem is helaas niet overgenomen. Voor de export zal dit beslist problemen geven.

- 11 Het aantal proefpersonen, dat voor een onderzoek nodig is en de gewenste nauwkeurigheid, blijken volgens de literatuur in hoge mate samen te hangen. Bij reeds uitgevoerd onderzoek is nog eens nagegaan hoe het verloop van  $\bar{x}$  en  $s$  als functie van het aantal ( $n$ ) verloopt. Bij grotere antropometrische onderzoeken zal de grootte echter ook samenhangen met het toegemeten budget in geld en tijd, de inzet van de onderzoeker ( $s$ ) en de organisatie. Bovendien is de nauwkeurigheid in belangrijke mate een gevolg van de kwaliteit van de onderzoeker en de training van het meetteam.
- 12 Het voorspellen van lichaamsmaten van de ene houding naar de andere blijkt accuraat mogelijk. Indien de omstandigheden het eisen, kan men volstaan met het meten van enkele lichaamsmaten in een houding, die gezien die omstandigheden, het meest gunstig is. Bijvoorbeeld bij baby's en verpleeghuispatiënten, kan men de proefpersonen liggend meten. Vervolgens zijn de in dit project ontwikkelde regressievergelijkingen te gebruiken om de 'staande' afmetingen te verkrijgen. Dat deze omzetting nodig is, blijkt uit de resultaten van de vergelijking tussen lichaamsafmetingen, die zowel liggend als staand bij dezelfde proefpersonen werden gemeten. De 'vuisthoogte staand' en de 'ellebooghoogte staand' bleken liggend zelfs 9% respectievelijk 7% groter te zijn bij liggende houding.

### Algemeen

De voorgaande statistische bewerkingen van antropometrische en demografische data lijken onder meer noodzakelijk om bij een antropometrische databank ingangen te creëren, die niet alleen gaan via het niveau van populatie en variabele of een samenvoeging daarvan, maar ook via het niveau van produktsoort. Bijvoorbeeld voor het produktsoort 'bedieningsmiddelen', betekent dit dat vinger- en handmaten door het antropometrisch datasysteem (hoofdstuk 7) geselecteerd worden en dat zo mogelijk kritische percentielwaarden en toeslagfactoren worden aangegeven. De ontwerper/onderzoeker wenst immers vaak bepaalde typen maten te selecteren en daarmee te experimenteren, zonder dat de bijbehorende data vertroebeld worden door andere soorten data. Als illustratie hiervoor mag het experiment van de indices in Paragraaf 5.3.2 (blz. 186) gelden, waar bleek dat er grote verschillen werden gevonden tussen de 'normaliteit' van diverse soorten maten.

Na het behandelen en deels oplossen van enkele veel voorkomende statistische vraagstukken op het gebied van het op maat maken van produkten, kan nu worden overgegaan op een nader bezien van het proces om de lichaamsmaten vast te stellen.

# 6 Het meetproces

## 6.1 Inleiding

De hoeveelheid antropometrische data groeit gestadig, zoals blijkt uit de internationale wetenschappelijke tijdschriften op dit gebied, zoals: *Ergonomics*, *Applied Ergonomics*, *Ergonomic Abstracts*, *American Journal of Physical Anthropology*, *Human Biology*, *Growth and Development*. Toch wordt nog te weinig voldaan aan adequate datasets voor ontwerpers, produktbeoordelaars en epidemiologen. De redenen hiervoor zijn:

- 1 Vaak blijkt in publikaties iets anders te zijn gemeten dan wat bovengenoemde gebruikers op een bepaald moment nodig hebben. Het is ook niet zo eenvoudig of vaak helemaal niet te voorspellen, wat nodig is in ontwerp- of beoordelingssituaties, vanwege het innovatieve of specifieke karakter van die situaties. Bijvoorbeeld: De reikwijdte voorwaarts in een gebukte houding, die nodig is bij het bevestigen van een haak aan het hijssoog van een glasbak. Hierbij biedt enerzijds de standaard rechtophouding geen voldoende antwoord en anderzijds is ook niet te verwachten dat juist over die houding data zijn verzameld. Dan zijn er in principe twee oplossingen: benaderen met behulp van een antropometrisch mensmodel dat in die gewenste houding te plaatsen is, of het verrichten van nieuwe metingen voor de gewenste situatie.
- 2 Verzamelde data zijn vaak niet meer toegankelijk. Dit wil bijvoorbeeld zeggen dat computerbestanden worden vergeten, of worden gewist voor een nieuw project door nieuwe medewerkers en alleen de presentatie in de publikatie(s) van het project resteren. Hierdoor is het soms onmogelijk andere leeftijdsgroepen of nieuwe variabelen te maken met de oorspronkelijke data (zie ook Hoofdstuk 7: Antropometrisch Data Systeem).
- 3 Antropometrie wordt veelal slechts toegepast voor algemene gezondheidsindicatie: totale lichaamslengte en gewicht per leeftijdsgroep en dus geen segmentmaten.
- 4 Vaak wordt de differentiatie in sub-groepen van de populaties in de tijd te weinig bijgehouden en ververst; zodoende kunnen onvoldoende conclusies worden getrokken over verschillen tussen leeftijdscohorten, regio's, beroepen, e.d.

In dit zesde hoofdstuk wordt ingegaan op de problematiek van het uitvoeren van de metingen aan de mens, die adequaat zijn voor het ontwerpen.

## 6.2 Geschiedenis van het meten van de mens

De geschiedenis van het meten aan de mens wordt uitgebreid beschreven en geïllustreerd in 'Der Vermessene Mensch' (Braunfels et al., 1973) en in Drillis (1963). Het toekennen van maten aan het menselijk lichaam schijnt naspeurbaar te beginnen vanuit de kunst en de religie (dodencultuur).

### De Egyptische stroming



*Figuur 6.1: De vroegst bekende meetlat: de el van Amenemope uit 1250 voor Christus (Braunfels et al. (1973).*

In het Egypte van 3000 tot 2000 voor Christus gebruikte men al een proportie-kánon van het menselijk lichaam. Uit twee- en drie-dimensionale kunstwerken uit die tijd heeft men geconcludeerd dat de 'el' de grondmaat was, onderverdeeld in spanwijdte, hand- en vingerbreedte. Deze 'maten' zijn waarschijnlijk voortgekomen uit de 'armen en handen' van de ambachtslieden, die deze maten vaak nodig hadden. Per individu waren deze maten verschillend. Daarom besloot men tot standaardisering over te gaan, zoals blijkt uit hiëroglfen van 3000 voor Christus. Volgens Braunfels et al. (1973) had men toen reeds aanduidingen voor 'eenheden', 'tientallen' en 'honderdtallen'. De 'el' werd omstreeks die tijd ook fiscaal vastgelegd en officieel ingevoerd. Hierdoor zijn de waterstanden in de Nijl al sindsdien nauwkeurig vastgelegd in 'ellen', 'handbreedten' en 'vingerbreedten'. Pas uit 1250 voor Christus is een echt, tastbaar bewijs bekend in de vorm van een 'ellen maatstok' (de el van Amenemope was 524 mm). De zogenaamde 'koningsel' was 7 handbreedten, de afstand van de elleboog tot de top van de middelvinger. De normale 'el' (449 mm) voor de bouw en de kunst was slechts 6 handbreedten. Elke handbreedte (74,8 mm) was 4 vingerbreedten ( $= 4 * 18,7$  mm) en elke duim-pink spanwijdte (224,4 mm) was 3 handbreedten. Ter vergelijking kan worden vermeld dat de elleboog-vingertop van de Delftse studenten in 1985 gelijk is aan 467 mm gemiddeld en dus slechts 4 % meer dan die egyptische normale el; evenzo is de gemiddelde breedte van de wijsvingertop gelijk aan 15 mm bij de studenten; dus 31 vingerbreedten is hier gelijk aan de 'studenten-el' in plaats van 28 in het vroegere Egypte. Het gebruik van dit soort standaarden werd in de kunst en in de bouw veelvuldig gevonden, met deze kánon van vaste onderlinge verhoudingen als tekenhulp. Later werd de 'voet' =  $2/3$  keer de 'normale el' =  $2/3 * 6$  handbreedten ingevoerd; de totale menselijke figuur was dan 6 voet + 1 handbreedte hoog. Omdat 1 vuistbreedte =  $4/3$  handbreedte, is de hoogte van de menselijke figuur gelijk aan  $18 * 4/3 + 1 = 25$  handbreedten = 100 vingerbreedten =  $100 * 18,7 = 1870$  mm hoog. Dit is bijvoorbeeld gelijk aan de P77 van de 20-jarige mannen volgens Roede en Van Wieringen (1985).

In die tijd heeft men de mens waarschijnlijk dus groter getekend dan de werkelijkheid. In de oud-egyptische medische literatuur blijkt geen interesse hiervoor. De mens werd veelal twee-dimensionaal afgebeeld in een typische vorm: met overdreven brede schouders (frontaal), zodat beide armen en handen goed zichtbaar waren, terwijl het hoofd en het onderlijf vanaf de heupen tot de voeten van opzij werden afgebeeld. Tenslotte werd ook een netwerk van vierkanten als tekenhulp gebruikt met de vuistbreedte als zijde van zo'n vierkant. Hierdoor konden alle segmenten min of meer in een vaste verhouding (kánon) worden getekend of uitgehouwen.

### De Griekse stroming

'De mens is de maat van alle dingen' is een vaak aangehaalde uitspraak van de Griekse filosoof Prothagoras uit de 5de eeuw voor Christus. Polykletos van Argos en Doryphoros gaan als beeldhouwers echter uit van een gemiddelde 'ideale' verhouding van het menselijk lichaam, die zeer precies wordt doorgevoerd. Schoonheid en symmetrie hebben de voorkeur boven empirisch cijfermateriaal. De eenheden zijn ook hier vingerbreedten, handbreedten en ellen. De totale lichaamslengte komt op 199,2 cm (!), hetgeen onwaarschijnlijk genoeg overeenkomt met de P99,5 uit de gegevens van Roede en Van Wieringen (1985).

De kánon van de militaire bouwheer Vitruvius in de eerste eeuw voor Christus is zelfs tot in deze eeuw gebruikt. De lichaamshoogte is daarin de grondmaat en  $1/4$ ,  $1/8$ ,  $1/3$  en  $1/10$  worden de proporties. De navel wordt het middelpunt van een cirkel, waaraan tenen en vingertoppen bij spreiden raken (Homo ad circulum). De eenheid 'voet' wordt dus verlaten; er geldt bijvoorbeeld: de gezichtshoogte =  $1/8$  en de onderarm lengte =  $1/4$ . In de Middeleeuwen komt men deze kánon veelvuldig tegen bij plattegronden van zowel romaanse als gotische bouwwerken. Leonardo da Vinci en Albrecht Dürer vinden deze Vitruvische kanon van menselijke lichaamsbouw te eenvoudig en gaan op zoek naar meer complexe wetmatigheden in segmenten en talrijke lichaamshoudingen. De kanon wordt slechts een hulpmiddel in de beeldende kunst zonder veel wetenschappelijke waarde. Als laatste heeft de architect Le Corbusier nog geprobeerd om tot zogenaamde rode en blauwe normmaten te komen, waarbij cijfermatige regelmaat tot esthetische, maar ten onrechte ook tot toepasbare, norm werd verheven.

Bij de produktie van gebruiksgoederen en werkplekken gebruikte men de menselijke maat wel, maar zolang de ontwerper en de producent dezelfde persoon was, of de eerste contact had met de klant, was dat geen probleem. Het ging immers om de vervaardiging volgens individuele maten (maatwerk) van één stuk. De stoel voor een grote klant werd vanzelfsprekend groter dan die voor een kleine. De variatie in de menselijke maat leidde pas tot problemen toen de eerste serie- en massa-produktie op gang kwam. Vanuit de biologie en geneeskunde kwam toen ook de wetenschappelijke antropometrie van de grond.

### Hedendaagse antropometrie

In de literatuur is men het niet eens over hoe men met antropometrie begonnen is. Tanner (1981) vermeldt dat een Duitse arts Elsholtz in 1654 voor het eerst de term 'Anthropometria' introduceerde als titel van zijn dissertatie in Padua. In dit proefschrift over de relatie tussen de verhoudingen van de lichaamssegmenten enerzijds versus de

verhoudingen van de lichaamsvloeistoffen ('humores' in het latijn) in het menselijk lichaam anderzijds, is ook de eerste antropometer beschreven, waarmee de lichaamslengte gemeten kon worden.

Roebuck et al. (1975) noemen Marco Polo (13de eeuw) de eerste fysisch antropoloog, die van talrijke verschillende populaties de lichaamsbouw en afmeting beschreef (misschien wel vanuit zijn herinnering tijdens zijn verblijf in de Venetiaanse kerker!). Blumenbach (1752-1840) maakt het eerste overzicht van beschikbare antropometrische data in het boek 'On the Natural Differences in Mankind'. De Belg Quetelet (1796-1874) zou de eer toekomen voor het leggen van het wetenschappelijke fundament van de antropometrie en voor het doen aanvaarden van de term: 'Anthropometrie'.

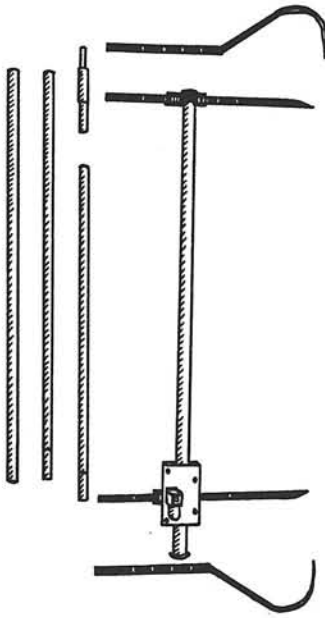
Vervolgens zijn er enkele stromingen te onderscheiden in de antropometrie:

### **De Engelse stroming**

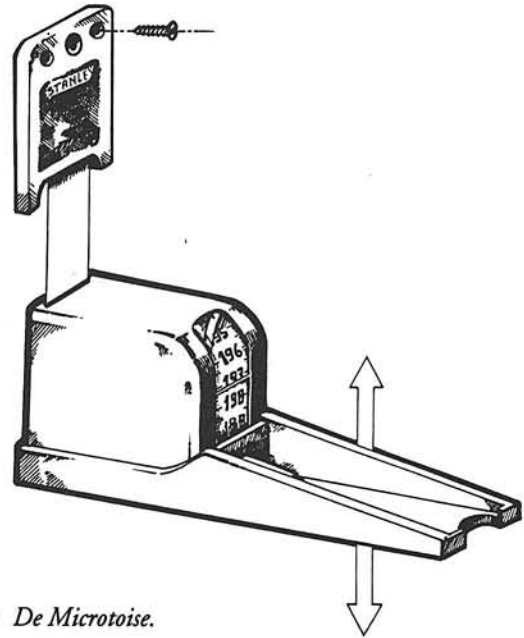
Deze stroming bestond uit de wetenschappers, die zich meer op de studie van groei van het menselijke lichaam gingen toeleggen. Dit uitte zich in de keuze van een beperkt aantal variabelen, waarvan vooral lengte en gewicht meestal werden gemeten en die soms longitudinaal gevolgd werden.

Graaf Philibert Guéneau de Montbeillard wordt genoemd als degene die de eerste groeistudie verrichtte, met zijn zoon als proefpersoon (Scammon, 1927). Tanner (1981) beschrijft de geschiedenis van de studie naar de menselijke groei, onoverzichtelijk, maar erg uitgebreid. Sinds 1976 wordt er elke 3 jaar een wereld-congres 'Auxologie' gehouden, waarin de stand van zaken wordt weergegeven; bijvoorbeeld in Borms et al. (1984) of Hernandez en Argenta (1992). De apparatuur en de meetmethode verschillen enigermate van de Duitse stroming. In de Engelse stroming worden de segmentmaten van de proefpersonen vooral aan de linkerzijde gemeten. Bij het meten van de lichaamslengten wordt vooral tegen de wand gemeten (volgens de Duitse stroming wordt de lengte vrijstaand gemeten met een antropometer) en soms gestrekt. De 'strek'-procedure is dan dat de ossa mastoideus (het been achter de oren) door de vingertoppen van de proefleider omhoog worden gehouden in de stand die de proefpersoon na inademen aannam; daarna wordt de meetwaarde afgelezen. Hierdoor is 76% gecorrigeerd van de inzakking van de wervelkolom door het dagritme, hetgeen wel een 20 mm kan zijn (Cameron, 1984). Als meetinstrument voor de lengtemeting geldt met name de Harpenden-antropometer (Figuur 6.2) met een ronde buis van 2000 mm of de Microtoise (Figuur 6.3), een rolmaat met liniaal dat op 2000 mm boven de vloer aan de muur kan worden bevestigd en waarbij het meetlint parallel aan de muur naar beneden tot het hoofd van de proefpersoon, bewogen kan worden. Een overzicht van 340 groei-studies in 42 landen uit de periode van 1964-1974 staat in Eveleth and Tanner (1976). Sommige studies duurden indrukwekkend lang: meer dan 2 generaties onderzoekers, zoals de Fels-studie. In de tweede editie van dat boek (Eveleth and Tanner, 1990) staat een overzicht van alle groei-studies van 1974-1988.





*Figuur 6.2: De Harpenden Antropometer.*



*Figuur 6.3: De Microtoise.*

### De Duitse stroming

Degenen, die zich meer op de vergelijkende studie van vooral de lichaamssegmenten gingen toeleggen, baseren zich gewoonlijk op het standaard werk van Rudolf Martin uit 1914 en 1925, dat onder meer herzien is door Martin en Saller (1957). Hierin worden zowel het instrumentarium als de meetwijze vastgelegd voor talrijke fysieke eigenschappen: lichaamsmaten, hoeken, positionering; maar ook voor kwalitatieve eigenschappen, zoals haarkleur en vormen van oren, ogen en neus. Martin definieerde goed voelbare botpunten op het skelet en gaf sommige van de anatomie afwijkende namen: vertex voor kruin; gnathion voor kin; acromion voor schouder; radiale voor elleboog; daktylion voor vingertop; trochanterion, tibiale en akropodion voor belangrijke punten op het been e.d. (zie Bijlage 4.1). Ook de houding werd nauwkeurig voorgeschreven, zoals het hoofd in het Frankfurter vlak (dit betekent dat de onderrand van de oogkassen en de bovenrand van de gehoorgang in hetzelfde horizontale vlak dienen te liggen).

Dat de Duitse antropometrie enige tijd werd misbruikt voor de Nazi-leer van rassen en voor het bepalen van 'Arische raszuiverheid', dient als een zwarte bladzijde in de geschiedenis van dat vakgebied te worden gekenmerkt, zoals reeds op blz. 20 werd aangestipt. Later ging de fysieke antropologie in Duitsland over in de 'Industrie Anthropologie' en leidde tot onder meer de nu nog geldende industrie norm (zie Paragraaf 3.2.2) DIN33402 (1981) en de ergonomische handboeken: Grandjean (1973, 1980, 1984); Schmidtke en Jürgens (1975); Burandt (1978) en Flügel et al. (1986). Dit laatste werk wordt eveneens als databron beschreven in Paragraf 3.2.2.

Meer recentelijk is het werk van Martin herzien in een nieuw fysisch antropologisch handboek (Knussmann, 1988).

### De Amerikaanse stroming

Vanaf 1950 vonden er in de USA veel grote antropometrische studies plaats, gebruikmakend van elementen uit beide voorgaande stromingen (en vooral met militairen als proefpersonen). Dit werd gestimuleerd door de ontwikkeling in de ruimtevaart (NASA en werd gebundeld in (zie 3.2.2) het 'Anthropometric Source Book' (ARP, 1978) en qua ontwerprichtlijnen in enkele handboeken:

Damon, Stoudt and McFarland (1966), Van Cott and Kinkade (1972), Diffrient, Tilley and Bardagjy (1974-1978), Roebuck et al. (1975) en Woodson (1981, 1992). De Amerikaanse fysische antropologie is beschreven in Damon (1977).

Ook ontstonden er voor de preventie van ongevallen bij kinderen antropometrische studies (Snyder et al., 1975 en Snyder et al., 1977). Deze werden verricht in opdracht van de CPSC (Consumer Product Safety Commission).

### Situatie in Nederland

De geschiedenis van het meten van de mens in Nederland is uitgebreid beschreven in Van Wieringen (1972). De recente projecten (de eerste drie nationale groeistudies, het Nijmeegs Groei-onderzoek, het Amsterdams tiener-onderzoek, Dutchmil'85, de keurlingen en KIMA) staan in Hoofdstuk 3 beschreven. Als ergonomisch handboek met veel antropometrische toepassingen in relatie tot de Arbo-wet dient Voskamp (1994) genoemd te worden.

## 6.3 Variaties in meetmethoden

### 6.3.1. Enquête

De eenvoudigste methode voor antropometrisch onderzoek is door middel van een enquête. In de engelse literatuur ook wel genoemd 'as reported by the subject' (ARP, 1978). In Nederland gebeurt dit jaarlijks door het Centraal Bureau voor de Statistiek. Er zijn eigenlijk maar twee lichaamsmaten die daarvoor in aanmerking komen: lichaamslengte en lichaamsgewicht.

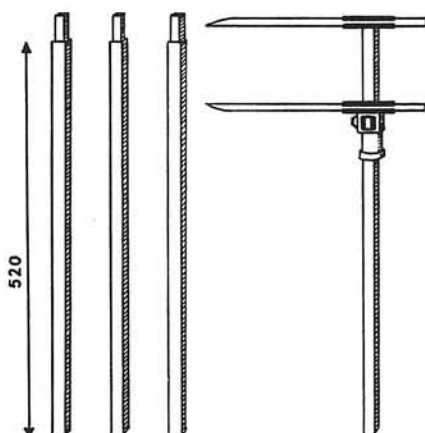
Twee voorbeelden illustreren het, ook in de literatuur gesignaleerde, probleem van vertekening dat de proefpersonen met extreme meetwaarden bij voorkeur de meetwaarden opgeven in de algemeen gewenste richting. Dat wil zeggen bij de lengte iets naar boven en bij het gewicht iets naar beneden (zie Tabel 6.1).

	lengte (cm)				gewicht (kg)			
	P1	$\bar{x}$	s	P99	P1	$\bar{x}$	s	P99
zelf-rapportage	151,6	164,4	6,16	178,7	42,9	56,68	7,18	77,3
meting	149,5	162,1	6,00	176,5	43,7	57,73	7,52	79,5
verschil	+2,1	+2,3	+0,16	+2,2	-1,2	-1,05	-0,34	-2,2

Tabel 6.1: Illustratie van het verschil tussen zelf-rapportage en 'echte' metingen (ARP, 1978). Project: Ariforce Women 1968, n = 1905.

In Hoofdstuk 2 werd reeds beschreven dat de methode van zelfrapportage ook gevalideerd is door Wichelow en Cox (1987) voor de Quetelet Index (blz. 74). De afwijkingen werden groter bij mensen < 18 jaar en > 23 jaar en bij hogere Quetelet Index. Men rapporteert kennelijk liever een wenselijke maat als men zelf een 'ongewenste' meent te hebben.

### 6.3.2. Klassieke antropometrie



*Figuur 6.4: GPM of antropometer volgens Martin.*

De meest gebruikte antropometers zijn de Duitse GPM of Martinse antropometer (Figuur 6.4) en de engelse Harpenden antropometer (Figuur 6.2).

#### De GPM-antropometer

De GPM antropometer (Siber Hegner Co in Zürich) bestaat uit 4 vierkante aluminium buizen van elk 52 cm, voorzien van een schaalverdeling in millimeters. Er is een vast eindstuk en een schuifstuk, die beide een liniaal loodrecht op de eerstgenoemde buizen kunnen inklemmen. Een antropometer lijkt op een grote schuifmaat, maar heeft echter geen nonius op het schuifstuk zitten. Dit is ook niet nodig omdat de menselijke maat als momentopname van een traag maar dynamisch proces, nu eenmaal niet nauwkeuriger dan op 1 mm gemeten hoeft te worden voor het doel van onder meer het industrieel ontwerpen.

Er zitten op de GPM-antropometer twee schaalverdelingen (voor het gemak noemen we deze de H-schaal en de T-schaal). De H-schaal loopt aan de voorzijde van de buis, waar het GPM-merk zit, van 0 bij vloer tot 210 cm en is bedoeld voor gebruik bij hoogtematen of verticale lengte-maten, d.w.z. bij het meten van de afstand van een punt op het lichaam tot de vloer; of bij horizontale lengte-maten, waarbij de antropometer liggend wordt gebruikt (bijvoorbeeld de bil-voetlengte gemeten met de proefpersoon in zithouding). De kleinste hoogtemaat, die afgelezen kan worden door de dikte van het schuifstuk, is 6,8 cm. De T-schaal, aan de achterkant van de buis, waar geen GPM-merk

zit, loopt van 0 tot 95 cm en is bedoeld voor het meten van 'tussen-maten', d.w.z. breedte-maten.

Door de twee schaalverdelingen en doordat de 4 buizen onderling verwisselbaar zijn qua volgorde en qua oriëntatie ten opzichte van de schaalverdelingen, is de GPM-antropometer een voortdurende bron van vergissingen, die enigszins voorkomen kunnen worden door een uitgebreide training van het meetteam en gebruik van stickers.

Een andere vergissing bij de montage van de GPM-antropometer ontstaat indien het schuifstuk van de buizen wordt afgehaald. Immers de voorzijde met het GPM-merk heeft een venster voor de hoogte-maten en de achterzijde heeft een venster op niet dezelfde hoogte (13,3 mm verschil). De volgende 3 vergissingen (verwisselingen) zijn dan mogelijk: voorwaarts met achterwaarts; met ondersteboven-achterwaarts; met ondersteboven-voorwaarts.

Het meetproces met deze antropometer heeft er globaal als volgt uitgezien in het nog niet geautomatiseerde tijdperk:

- 1 Bepalen van steekproef en lijst met variabelen.
- 2 Training van meetteam, door variabelen herhaald te laten meten bij enkele testpersonen, om vervolgens te evalueren op meetvolgorde, intra- en interwaarnemer-variantie.
- 3 Opstellen van definitief meetformulier en voor elke proefpersoon alvast een set van twee meetformulieren gereedmaken en die voorzien van een volgnummer.
- 4 Bij de meetsessies let de 'organisator' op de doorstroom van de proefpersonen en vult eventueel reeds de algemene gegevens in; de 'meter' meet de lichaamsmaten en roept de meetwaarden naar de 'notulist', die ze herhaalt en noteert; de notulist roept ook de volgende variabele en geeft de proefpersoon een afschrift van de eigen gemeten maten.

Voor het meten in eenvoudige omstandigheden is de houten antropometer van Coffelt et al. (1985) wellicht een uitkomst. Deze weegt 25 kg, is snel demontabel en speciaal ontworpen voor onderzoek in derde-wereld landen.

### **De Harpenden antropometer**

Het opvallendste verschil met de GPM-antropometer is dat deze Harpenden uit ronde stalen buizen is vervaardigd (Holtain Ltd, Crosswell Crymych, UK), met een zodanige vormgeving, dat bij de montage geen verwarring kan ontstaan over de volgorde en de positie van de buizen. Verder is opvallend dat slechts een van de vijf buizen voorzien is van een meetunit (maximaal 573 mm), de overige vier (100 mm; 400 mm; 500 mm en 500 mm) functioneren als verlengstukken, indien de te meten afmeting dat vereist. Zodoende is een maximale hoogte van 2063 mm te meten. Het meetgedeelte bestaat uit een tandheugel, die over de lengte van de eerste buis is vastgeschroefd, in combinatie met een tandwielje dat een mechanische teller aandrijft. De teller geeft hele millimeters aan. Voor het meten van breedte-maten is deze waarde meteen gelijk aan de meetwaarde; voor hoogte-maten dient er steeds (handmatig, hetgeen een redelijke kans op vergissingen geeft) de constante waarde van één of meer van de andere stukken buis

bijgeteld te worden. Ten opzichte van de GPM is de kans op verkeerde aflezing wel verminderd, maar nog steeds aanwezig.

#### **Passers**

Voor het meten van kleine lengte- en breedte-maten, inclusief afstanden door een convex lichaamsdeel, werd en wordt veelal de handpasser (vroeger ook wel schedelpasser genoemd) gebruikt. De grote passer uit een antropometrische meetset werd vooral voor bekken-maten (vandaar dat deze ook wel bekkenpasser heet) gebruikt. Bij beide is de kans aanwezig dat fouten gemaakt worden na aflezing bij notatie op het meetformulier of later bij invoer in de computer.

#### **Knijpkrachtmeters**

De meest gebruikte is de Jamar handdynamometer (Lafayette); de handgreep is hiervan instelbaar voor kleine en grote handen. De beperking hiervan is echter dat een statische isometrische kracht wordt gemeten, die reproduceerbare doch niet steeds toepasbare meetwaarden geeft.

De Lafayette Hand Dynamometer voor volwassenen (model 78010) en kinderen (model 78011) of de TKK1201 met wijzerplaat en TKK1857 met digitale aanduiding (Takei & company, Ltd, Tokyo, Japan) verrichten een dynamische meting, waarbij de onderarmspiers concentrisch contraheren, d.w.z. tijdens het knijpen korter worden. Dit laatste komt meer overeen met krachtoefening in de werkelijkheid.

#### **Ontwikkelingen**

Reeds geruime tijd (Garn, 1962) wordt er geschreven over het automatiseren van antropometrische metingen. Het ontwerp van de hierboven beschreven Harpenden is niet alleen veel gebruiksvriendelijker dan de GPM, maar ook is de aflezing gemechaniseerd, waardoor afleesfouten weer meer werden verminderd.

De toevoeging van potentiometers aan het meedraaiende asje van het schuifstuk langs de antropometer, in combinatie met de ontwikkeling van door machine te lezen ponskaarten, gaf voor het eerst in de beginjaren zestig als resultaat: '*Thus a complete series of measurements can find their way onto punch cards without the necessity for visual read-out or transcription, obviating at least four sources of error*' (Garn, 1962, p 387). In 1972 werd door Snyder een geautomatiseerd antropometrisch onderzoek van redelijke omvang opgezet. Hierbij werd zoveel mogelijk alle klassieke meetapparatuur van potentiometers en druksensoren voorzien. Het gehele meetteam reisde met een meetbus, voorzien van een micro-computer, stad en land af en meette in het eerste onderzoek 41 variabelen bij 4000 kinderen van 0-12 jaar (Snyder, 1975). In zijn tweede onderzoek werden er 87 variabelen bij 4100 kinderen van 2 weken tot 18 jaar gemeten (Snyder, 1977). Ook in het Nijmeegs Groeionderzoek, waar 400 kinderen vijf jaar werden gevolgd, werd gebruik gemaakt van op deze wijze geautomatiseerde Harpenden antropometers (Prahl-Andersen et al., 1979).

### **6.3.3. Fotogrammetrie**

Het meten van proefpersonen poggde men in het industriële tijdperk al snel

te vervangen door het meten vanaf foto's. Volgens Roebuck et al. (1975) publiceerde Hrdlička reeds in 1925 over deze methode op kwalitatieve wijze. Op wetenschappelijke en kwantitatieve wijze wordt aan deze methode de laatste 25 jaar steeds meer aandacht besteed. Het voordeel van fotografisch meten is duidelijk; men heeft minder tijd nodig per proefpersoon en voor het trainen van een meetteam. Men kan later in het laboratorium ongehinderd de maten vaststellen. Een probleem bij fotografisch meten vormde aanvankelijk de parallax; de camera ziet niet de werkelijk te meten afstand, maar een projectie daarvan. Indien de afstand van de camera tot de te meten lichaamsmaat groter is dan 20 keer die lichaamsmaat, hoeft men volgens Roebuck et al. (1975) niet te corrigeren. Voor diverse lichaamsmaten geeft dit echter onwerkbare situaties; vandaar dat correcties bedacht zijn voor deze parallax problemen. Enkele daarvan zijn (Roebuck et al., 1975):

- met een correctie-factor per lichaamsmaat en een 'grid' (=een wand met daarop getekend een aantal horizontale en verticale lijnen op onderling gelijke afstand) achter de proefpersoon;
- door in een 'grid' een uitsparing te maken voor de proefpersoon;
- door met een half doorlatende spiegel te werken, waarbij aan de ene kant de proefpersoon staat en aan de andere kant een 'grid' staat op gelijke afstand als de proefpersoon en eveneens onder 45 graden;
- door een aantal spiegels zo te plaatsen dat een camera gelijktijdig vier aanzichten van een proefpersoon vastlegt op één foto.

Dat deze methoden niet verouderd zijn, mag blijken uit het recente onderzoek van Chang-Chung Li et al. (1990). Zij verrichtten met de bovengenoemde eerste correctiemethode (die softwarematig werd uitgevoerd na het digitaliseren van de data) een antropometrisch onderzoek naar 105 lichaamsafmetingen van 1200 volwassenen in Taiwan.

### **Stereofotogrammetrie**

Een geavanceerdere, maar kostbare fotografische methode, is de stereofotogrammetrie, waardoor men op efficiënte wijze lichaamssegmentparameters (afmetingen, oppervlakten, volumes, massamiddelpunten en traagheidsmomenten) kan bepalen. Men blijkt de techniek reeds sinds 1920 te gebruiken, met name in de medische (orthodontische) discipline. Een literatuuroverzicht hierover geeft Herron (1972) en sindsdien wordt er door de SPIE -'The International Society for Optical Engineering' regelmatig een congres gehouden over dit onderwerp. Zie bijvoorbeeld Coblenz and Herron (1986). Vergelijking met de handmatige methode ligt voor de hand en is onder meer gedaan door Hertzberg et al. (1957). Verschillen bij proefpersonen, die met beide methoden gemeten waren, bleken gemiddeld binnen 2 tot 3 mm te liggen volgens deze publicatie en zijn daarom binnen de marge die door ademhaling en kleine houdingsverandering wordt veroorzaakt. In de uitgebreide dissertatie van Mollard (1987) wordt evenzo de één-dimensionale klassieke methode met de drie-dimensionale methode vergeleken; ook worden daarin de schattingen van de jaren '50 voor oppervlakten, volumes, enz. vergeleken met dezelfde 3D-methode. In deze paragraaf

wordt alleen ingegaan op zijn vergelijking bij de lichaamsmaten. Hij konstateerde bij 13 lichaamsmaten en 50 proefpersonen significante verschillen ( $p < 0,01$ ). De correlatie tussen de 1D en 3D methode is echter hoog ( $>0,92 - 0,99$ ) behalve bij enkele breedtematen op het gelaat ( $0,7 - 0,86$ ).

Toepassingen van de stereofotogrammetrie vindt men nog steeds onder meer bij de plastische chirurgie en orthodontie (Roebuck et al, 1975). Bijvoorbeeld bij het corrigeren van de hazelip wordt de gezichtssymmetrie zodoende vastgesteld (Verhoef, 1987). Soms gebeurt dat in combinatie met computer tomografie, zijnde de methode om doorsneden op successieve parallelle vlakken af te beelden (Savara et al., 1986). Maar ook bij het ontwerpen van gelaatsbeschermingsmiddelen (Mollard, 1987) of bij het volgen van de proportionele groei van de lichaamssegmenten bij kinderen (Jensen and Nassas, 1986; Jensen, 1986), wordt stereofotogrammetrie toegepast.

Herron (1986) opende het Biostereometrics '85 congres met onder meer de constatering dat men in de stereofotogrammetrie helaas nog steeds afhankelijk is van goed geplaatste markers op het lichaam en bovendien dat er een samenhangende theoretische ondergrond ontbreekt over lichaamsgeometrie in de medische discipline.

Een speciale vorm van stereofotogrammetrie is ontworpen in Loughborough (Jones, 1989). De LASS (=Loughborough Anthropometric Shadow Scanner) legt 63000 punten vast van een ronddraaiende staande proefpersoon. Bij vergelijking met de handmatig vastgestelde heup- en borstomvang, bleek een respectief verschil van gemiddeld 2mm ( $0,4\%$ ) en van 3 mm ( $0,5\%$ ).

Gezien de stand der techniek is de fotogrammetrische methode dus nog een kostbare, maar veelbelovende techniek.

## 6.4 Meetfouten bij de klassieke antropometrie

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

Onderscheid kan worden gemaakt in:

- a één waarnemer meet de steekproef verscheidene keren, waardoor de intra-waarnemer-meetbetrouwbaarheid (zie ook Paragraaf 3.1.3) kan worden vastgesteld en geanalyseerd;
- b verschillende waarnemers meten dezelfde steekproef, waardoor de inter-waarnemer-meetbetrouwbaarheid bestudeerd kan worden.

Er zijn diverse methodes om een maat voor de betrouwbaarheid (reproduceerbaarheid) van zo'n herhaalde meting vast te stellen. Men kan onder meer de correlatiecoëfficiënt tussen de eerste en de tweede meting nemen (ook wel genoemd coefficient of objectivity). Deze dient dan als vuistregel groter te zijn dan 0,9. Tanner en Weiner (1949) hebben in dit verband 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 dan dat in 95% van de gevallen de echte meetwaarde ligt tussen + of - 1,96 \* 'S-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  $s_1^2 = s^2 - f^2$ .

Bij enkele variabelen uit het bejaardenonderzoek is het resultaat hiervan aangegeven in Tabel 6.2, waarbij (in mm):

- f de standaarddeviatie van de toevallige fout;
- s de standaarddeviatie van de waarnemingen;
- s1 de gecorrigeerde standaarddeviatie;
- s1 - 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 4de kolom komt overeen met de waargenomen s in het bejaarden onderzoek.

variabele	f	s	s1	s1-s
lengte	1,96	89,21	89,18	0,03
reikhoogte staand	15,42	124,66	123,70	0,96
heupbreedte zittend	7,18	39,18	38,52	0,66
rugleuning-C7	6,98	27,98	27,10	0,88
vuisthoogte staand	4,87	49,55	49,31	0,24

Tabel 6.2: Overzicht van waargenomen en gecorrigeerde standaarddeviaties bij enkele variabelen die herhaald gemeten (in mm) zijn in het bejaardenonderzoek (Molenbroek et al., 1983).

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 meet waarden;
- het niet letten op de ademhaling bij het meten van de taille-omvang;
- het verschil doordat een proefpersoon niet constant in afmeting is, zelfs op korte termijn.

In de literatuur wordt methode b onder meer besproken door Cameron (zie Paragraaf 3.1.3), 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 (coëfficiënt of objectivity) varieerde van 0,872 bij de biacromiale diameter tot 0,995 bij het lichaamsgewicht. 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.

## 6.5 Ontwikkeling van een eigen meetsysteem

### 6.5.1 Doelstellingen

Het literatuuronderzoek (Hoofdstuk 2) en de eigen proefstudies (Hoofdstuk 4) worden hier vertaald naar toekomstig onderzoek, van bijvoorbeeld landelijke representativiteit.

Het doel hiervan zou kunnen zijn:

- A een gegevensbestand voor ontwerpers en beoordelaars van producten;
- B een specifieke epidemiologische studie (meestal aandacht voor een beperkt aantal variabelen zoals lengte, gewicht en secundaire geslachtskenmerken).

Een referentie bestand (overeenkomstig de norm DIN33402) van afmetingen voor 12-20 jarigen en volwassen Nederlanders bestaat er nog niet. Dat er behoefte aan zo'n bestand is, blijkt uit het gebruik van de DINED-tabel als schatting voor de afmetingen van volwassen Nederlanders. De tabel is opgenomen in talrijke normen, zoals NEN1812 (1992); NPR1813 (1992) en handboeken zoals in Voskamp (1994) en de edities van het Polytechnisch Zakboek vanaf 1987 (Creemers et al., 1987). Maar ook blijkt die behoefte in de definitie studie van TNO-IZF (Lotens et al., 1993).

De volgende aspecten dienen in ogenschouw genomen te worden bij het ontwikkelen van eigen geautomatiseerde meetinstrumenten en meetprocessen:

- 1 doelstellingen van onderzoek;
- 2 samenstelling van steekproef respectievelijk populatie;
- 3 lichaamsmaten;
- 4 meetmethoden;
- 5 registratie- en analyse-technieken;
- 6 presentatie voor verder gebruik.

De aspecten 1, 5 en 6 worden voor doelstelling A voldoende toegelicht in respectievelijk de hoofdstukken 1, 5 en 7. Samengevat komt het erop neer dat voor enkele typische produktsoorten (bedieningsmiddelen, gereedschappen, beschermingsmiddelen, lasten, ondersteuningsmiddelen en kabines) de meest ontwerp-relevante lichaamsmaten aanwezig zouden moeten zijn. Omdat het onmogelijk is alle denkbare lichaamsmaten te verzamelen, dient steeds voor specifieke of functionele maten een benadering gezocht te worden. Dit kan via regressie of andere wijze, waarvan sommige in Hoofdstuk 5 beschreven zijn. Indien dit benaderen niet mogelijk is, is een kleinschalig additioneel onderzoek nodig. Een nadere omschrijving van de aspecten 2 (steekproef), 3 (maten) en 4 (meetmethode) volgt hierna.

## 2 Steekproef/populatie

Omdat in de meeste gevallen niet volledig a-select een steekproef kan worden samengesteld, dient deze gestratificeerd te worden voor een nationaal representatieve dataverzameling, dat wil zeggen onderverdeeld naar deelpopulaties, die lagen of 'strata' worden genoemd, maar in feite niet hiërarchisch zijn en dus meer neerkomen als kolommen van subpopulaties. In dit verband lijken de volgende kenmerken relevant: leeftijd, geslacht en regio en mogelijke beroepsgroepen, eventueel aanvulbaar met allochtonen en diverse categorieën gehandicapten. Hierdoor is de steekproef representatief ten aanzien van de verschillen tussen de lagen en wordt de spreiding alleen veroorzaakt door de spreiding binnen de lagen (Bolle et al., 1987). Bij leeftijden van 0-20 jaar nemen we aan dat classificatie per jaar voldoende is, bij de leeftijdsgroep van 20 tot 50 lijkt een klasse per 10 jaar of twee klassen tussen 20 tot 65 jaar voldoende; boven de 65 jaar zijn ook klassen van 10 jaar gewenst. Soms is niet de leeftijd produktrelevant en dient een andere variabele als voorspeller, zoals het lichaamsgewicht bij de aanduiding van het type luier dat bij de zuigeling past. Of het schoolmeubilair dat ingedeeld wordt naar lichaamslengte en onderbeenlengte. Dit betekent dat leeftijd nuttig is als basis-classificatie, maar dat andere indelingskenmerken mogelijk moeten zijn. Als voorbeeld wordt de groep van 20 tot 65 jarige Nederlanders ingedeeld per geslacht in twee leeftijdsgroepen en in vier regio's (zie Tabel 6.3):

- Regio I omvat de provincies: Groningen, Friesland en Drenthe;
- Regio II omvat de provincies: Overijssel, Gelderland en Flevoland;
- Regio III omvat de provincies: Noord-Holland, Zuid-Holland en Utrecht;
- Regio IV omvat de provincies: Zeeland, Noord-Brabant en Limburg.

Er wordt hier niet ingedeeld naar beroepsgroep, urbanisatiegraad of socio-economische status, omdat recent onderzoek (Steenbekkers, 1993) aannemelijk maakt dat deze

stratificatie-variabele wel het onderzoek compliceren, maar slechts weinig antropometrische variantie in Nederland verklaren.

regio	20-44 jaar	45-64 jaar	totaal
I	68	35	103
II	133	68	201
III	301	146	447
IV	162	88	250
Nederland	664	337	1001

Tabel 6.3: Steekproefverdeling bij  $n=1000$  over 4 regio's op basis van bevolkingsgegevens van CBS (1993).

### 3 Lichaamsmaten

Lichaamsmaten worden niet meer steeds conform Martin gekozen, omdat deze definities niet aangepast zijn aan toepassing door de industrie (Jürgens, 1978) of niet consistent zijn in hun aanduiding (Hertzberg, 1968). De laatste 15 jaar is er eerst een trage poging tot standaardisatie van lichaamsafmetingen door de International Standards Organization geweest (ISO-DIS7250, 1980 en weer opnieuw ISO/DP7250, 1988). Enige jaren later kwam er toch een NEN2736 (1991), aangevuld met een toelichting voor de praktijk van het antropometrisch onderzoek (NPR2737, 1991). De ontwikkelingen binnen Europa hebben ertoe geleid dat de ISO-norm versneld is omgezet in een Europese ontwerpnorm EN979 en nu in Nederland bekend is als NEN-EN979 (1993). Nederland moest daardoor zijn eigen norm NEN2736 intrekken. De verschillen tussen de hierboven genoemde maatlijsten zijn echter gering en houden vooral verband met de definiëring en de keuze van de maten. De lichaamsmaten, die hierin als basislijst genormeerd zijn, staan in Tabel 6.4 (Bijlage 4.1 geeft aan welke meetvoorschriften hierbij horen).

Enkele opmerkingen horen daaraan vooraf te gaan:

- maat 4.2.16 van de norm (borstdiepte) is niet in de tabel opgenomen omdat er reeds een borstdiepte (maat 4.1.09) gedefinieerd was;
- het zou nuttig zijn aan deze matenlijst de volgende toe te voegen:
  - taillehoogte zittend (= navelhoogte), omdat deze erg relevant is bij het vaststellen van de hoogte van de lumbaalsteun bij meubilair (nr 951 in het Anthropometric Source Book);
  - de afstand cervicaal 7 tot de rugsteun, ook gemeten in het Bejaardenonderzoek;
  - de afstand lumbaal 3/4 tot de rugsteun; deze met de voorgaande vanwege het kunnen vaststellen van het rugprofiel van meubilair;
  - de enkelhoogte (malleolus laterale) voor de vrije ruimte van de voet en voor computermodellen;
  - de minimale opening waar een lichaam doorheen kan (zie Paragraaf 1.3);
  - de grootste diameter van het hoofd (zie Paragraaf 1.3).

	NEN-EN	lichaamsmaat	code
staande maten	4.1.01	lichaamsgewicht	001
	4.1.02	lichaamslengte, staand	002
	4.1.03	ooghoogte, staand	003
	4.1.04	schouderhoogte, staand	005
	4.1.05	ellebooghoogte, staand	006
	4.1.06	bekkenkamhoogte staand	007
	4.1.07	kruishoogte, staand	033
	4.1.08	ribiale hoogte, staand	008
	4.1.09	borstdiepte op tepelhoogte	069
	4.1.10	buikdiepte staand	175
	4.1.11	borstbreedte op tepelhoogte	048
	4.1.12	heupbreedte, staand	034
zittende maten	4.2.01	kruin-zitvlakhoogte	009
	4.2.02	ooghoogte, zittend	010
	4.2.03	cervicale hoogte, zittend	011
	4.2.04	schouderhoogte, zittend	012
	4.2.05	ellebooghoogte, zittend	013
	4.2.06	schouder-elleboog lengte	079
	4.2.07	elleboog-pols lengte	177
	4.2.08	schouderbreedte biacromiale	014
	4.2.09	schouderbreedte bideltroidius	118
	4.2.10	breedte van elleboog tot elleboog	036
	4.2.11	heupbreedte, zittend	035
	4.2.12	onderbeenlengte	015
	4.2.13	dijbeendikte	071
	4.2.14	kniehoopte, zittend	016
	4.2.15	buikdiepte zittend	057
-	taillehoogte, zittend	179	
4.2.17	bil-buik diepte	178	
hand-, voet- en hoofdmaten	4.3.01	handlengte	017
	4.3.02	handpalmengte	064
	4.3.03	handbreedte zonder duim	018
	4.3.04	wijsvingerlengte	019
	4.3.05	wijsvingerbreedte, proximaal	020
	4.3.06	wijsvingerbreedte, distaal	021
	4.3.07	voetlengte	022
	4.3.08	voetbreedte	023
	4.3.09	hoofdengte	024
	4.3.10	hoofdbreedte	025
	4.3.11	lengte van het gezicht	029
	4.3.12	hoofdomtrek	026
	4.3.13	sagittale boog	027
	4.3.14	bitragion boog	028
-	buitenste enkelknobbel hoogte	-	
functionele maten	4.4.01	acromion-muur afstand	124
	4.4.02	reikdiepte gripas	030
	4.4.03	elleboog-gripas lengte	031
	4.4.04	vuisthoogte, staand	032
	4.4.05	elleboog-vingertop lengte	068
	4.4.06	bil-knieholte lengte	038
	4.4.07	bil-knieschijf lengte, zittend	039
	4.4.08	halsomvang	050
	4.4.09	borstomvang op tepelhoogte	051
	4.4.10	tailleomvang	037
	4.4.11	polsomvang	040
	4.4.12	dijbeen omvang	055
	4.4.13	onderbeen omvang	123
-	afstand C7-rugvlak	076	
-	afstand L3/4-rugvlak	180	

Tabel 6.4: 58 Lichaamsmaten volgens ontwerp NEN-EN979 (1993).

NEN-EN = code volgens NEN-norm; CODE = eigen code volgens Bijlage 4.1.

#### 4 Meetmethode voor een landelijk onderzoek naar segmentmaten van de 20-65 jarige populatie.

##### *Opzet*

In deze studie wordt uitgegaan van de gedachte van (semi) automatisering van de klassieke antropometrie; niet van fotogrammetrie, omdat die volgens onze bevindingen in het verleden, meestal veel onzekerheden geeft (Van Zee en Molenbroek, 1984; Van Zee et al., 1985a; Van Zee et al., 1985b en Bratajandra, 1993). Bovendien is fotogrammetrie gebonden aan een laboratorium en minder geschikt voor veldonderzoek. Achtereenvolgens zullen de eisen worden besproken, die aan de betrokken hardware, software en orgware te stellen zijn.

##### *Hardware*

Van belang zijn de karakteristieken:

- snelheid: snelheid waarmee de apparatuur ingesteld en eventueel aangepast kan worden en de snelheid, waarmee gemeten kan worden;
- gemak: gemak bij het vervoer van apparatuur en meetteam naar de lokaties van de proefpersonen; gemak tijdens het meten en het wisselen van proefpersonen;
- nauwkeurigheid: nauwkeurigheid van aflezen, gezien de gewenste precisie van databewerking en toepassing;
- registratie: het overzicht kunnen houden over de meetinstrumenten, over de wijze van aflezen en over de invoer van de data.

##### *Software*

Van belang zijn hierbij:

- dat de meetvolgorde en het aantal variabelen eenvoudig aangepast kunnen worden;
- dat een aantal controles eenvoudig uitgevoerd kunnen worden, zoals op extreme waarden, op voldoende aantal proefpersonen;
- dat de proefpersoon na afloop een uitdraai van de eigen data meekrijgt in de vorm van een percentiel-profiel met een referentie aan een van tevoren gekozen bestand;
- dat een papieren kopie ervan meteen gearchiveerd wordt wegens mogelijk verlies van het elektronisch bestand;
- dat automatisch en voldoende elektronische back-ups worden gemaakt, zodat geen meetgegevens verloren gaan.

##### *Orgware*

*plaats:* Vanwege de regionale spreiding ligt het voor de hand om 'in het veld' te meten; de metingen kunnen zowel in een meetbus als in gehuurde ruimten plaatsvinden.

*tijd:* Het benodigde aantal meetdagen komt op 40, indien men de volgende aannames doet:

- de steekproef bevat 1000 proefpersonen over 4 eerdergenoemde regio's verspreid;

- de meettijd bedraagt ongeveer 25 minuten per meetteam per proefpersoon voor 58 variabelen uit Tabel 6.4.

In regio I, II, III en IV zijn dan respectievelijk 4, 8, 18 en 10 meetdagen van 6 uur nodig.

De steekproef zou geworven kunnen worden door vooraf in de regionale kranten het belang van het onderzoek toe te lichten en aan te kondigen dat de steekproef aselekt, bijvoorbeeld via het telefoonboek, wordt geworven met een vergoeding van bijvoorbeeld f 10,-. Van de 'weigeraars' dienen voor controle achteraf, de geschatte of gevraagde lengte en gewicht vergeleken te worden met de gemeten steekproef. Controle op voldoende aantal per lengte en leeftijdsklasse is vooraf mogelijk door de gegevens van de CBS-gezondheidsenquête te gebruiken.

*meetproces in globale zin:* Het geautomatiseerde meetproces controleert de meetwaarden marginaal, slaat ze veilig op en geeft de proefpersoon meteen het resultaat van de eigen meetwaarden mee (zie meetprocedure na Programma van Eisen ad 6.5.2).

*kosten:* De werkelijke kosten van een landelijk representatief onderzoek kunnen al gauw meer dan een half miljoen gulden bedragen, voornamelijk bestaande uit salariskosten. Enkele voorbeelden:

De projectkosten van het GDVV-bejaardenonderzoek in 1982 bedroegen ongeveer f 300.000,- inclusief de kosten van de personele en de materiële middelen. Hierbij werden van 822 senioren in één stad 30 maten gemeten, dit zijn ongeveer 25.000 metingen. De kosten per meting bedragen dan ongeveer 12 gulden.

De projectkosten van het 1,5 jaar durende KIMA-1 (regionaal) onderzoek bedroegen ongeveer f 250.000,-; hierbij werden van 633 kinderen 30 maten gemeten, totaal dus ongeveer 20.000 metingen. De kosten per meting bedragen hier ongeveer 13 gulden per meting.

De projectkosten van het 5 jaar durende KIMA-2 onderzoek worden geschat op ongeveer f 750.000,-, waarvan 75% voor het antropometrische deel. Hierbij werden bij 2400 kinderen onder meer ongeveer 40 antropometrische metingen gedaan. De kosten per meting bedragen dan ongeveer f 6,- per meting.

Uit dit drietal mag wellicht voorzichtig een raming van de kosten van een antropometrisch onderzoek komen van 5-15 gulden per meting; de schattingsformule van de totale kosten (K in guldens) luidt dan  $K = 10 * P * M$  met P= aantal proefpersonen en M= aantal lichaamsmaten.

Dit betekent bij extrapolatie van het voorgaande dat bij een landelijk representatief onderzoek naar 55 maten bij 1000 proefpersonen, een bedrag van rond de f 550.000,- begroot moet worden. Indien van de ervaring van bestaande projecten gebruik gemaakt wordt, kan wellicht bezuinigd worden op personele middelen en evenzo is bezuiniging wellicht mogelijk op de post materiële middelen bij gebruik van bestaande meetapparatuur en meetprocessen. Op de professionele opzet en meetteams kan echter weinig bezuinigd worden. Door te investeren in geavanceerde fotogrammetrische apparatuur, waardoor minder tijd nodig is voor meten per proefpersoon en voor de

analyse achteraf, zou in de toekomst wellicht efficiënter kunnen worden gemeten (zie Lotens et al., 1993).

Na het beschrijven van de belangrijkste aspecten bij de ontwikkeling van de eigen meetopstelling, wordt overgegaan op het concreet beschrijven van een lijst met eisen en wensen, waaraan het meetsysteem moet voldoen.

'Eisen' zijn voor industrieel ontwerper zodanig geformuleerd, dat de te bedenken oplossing daar toetsbaar aan moet voldoen. 'Wensen' zijn niet altijd haalbaar, maar geven een richting aan. Eén van de indelingen van het Programma van Eisen is die aan de hand van de fasering in de levenscyclus van een produkt (ontstaan, verspreiden, gebruik en verdwijnen).

## 6.5.2 Programma van Eisen en Wensen (PvE) voor een semi-automatisch meetsysteem voor een antropometrisch bevolkingsonderzoek

### Algemeen

De doelgroep 20-65 jaar is bij dit Programma van Eisen en wensen uitgebreid met jeugdigen en ouderen.

Voor de ondergrens bij diverse maten is daarom uitgegaan van een 2-jarig kind.  $P_1 = 79,8$  cm volgens Roede en Van Wieringen (1985).

Dit Programma van Eisen en wensen is ingedeeld naar de gebruikelijke ontwerpprocesboom (Roozenburg en Eekels, 1991) met de fasen: ontstaan, verspreiden, gebruiken en verdwijnen.

In dit Programma van Eisen wordt met 'systeem' bedoeld: de software + hardware + orgware. Met 'opstelling' wordt bedoeld de hardware.

Gedacht wordt dat dit meetsysteem gebruikt moet kunnen worden zowel in het eigen laboratorium, als in een te huren lokaal of een container, die voldoen aan eis 1.3.

### Ontstaan

- 1.1 De meetopstelling dient in korte tijd met in de handel verkrijgbare componenten samengesteld te kunnen worden.
- 1.2 Het geautomatiseerd meetsysteem dient voor een gemakkelijke en adequate invoer, opslag en controle van data, welke handmatig, maar 'online', met een personal computer en volgens nader te bepalen procedures worden gemeten. Het systeem kan aangevuld worden met 'online' gemaakte standaard meetinstrumenten, zoals: een antropometer, een kleine passer, een omtrekmeter, een weegschaal en een knijpkracht meter.
- 1.3 De opstelling dient in een ruimte van minimaal  $5 * 5 * 2,6$  meter samengesteld en neergezet te kunnen worden, via gebruikelijke deuropeningen (zie eis 3.1).

- 1.4 De bijbehorende software dient op een personal computer van minstens 486-niveau en met bijvoorbeeld met MS-DOS besturing te functioneren, mits deze voorzien is van een ingang waar analoge signalen direct in digitale worden omgezet.

### Verspreiden

- 2.1 Het ontwerp van hard- en software dient zodanig gedocumenteerd te worden dat deze opstelling zonder mondelinge toelichting nagebouwd en gebruikt kan worden.

### Gebruik

- 3.1 De meetopstelling dient transporteerbaar te zijn: d.w.z. de delen dienen door een standaard deur van 90 \* 201,5 cm te kunnen en het totale volume van de meetopstelling (in gedemonteerde toestand) dient niet groter te zijn dan 260 \* 160 \* 140 cm. Deze waarden volgen uit een vergelijkende test voor bedrijfswagens (Bestelauto, 1988).
- 3.2 Er moet rekening worden gehouden met het werken ermee in een meetruimte van minimaal 260 cm inwendige werkhoogte en een oppervlakte van minimaal 2,5 \* 2 m, exclusief de kleedruimte. Dit kan zowel in een meetbus als in een ruimte in een gebouw zijn.
- 3.3 De delen dienen elk niet zwaarder te zijn dan 30 kg en, voorzien van goede handgrepen of anderszins, kortdurend vervoerbaar te zijn door één persoon.
- 3.4 Het gebruiksklaar maken dient met twee personen binnen één half uur te kunnen gebeuren.
- 3.5 Het omvallen van de opstelling dient bij normaal en te verwachten oneigenlijk gebruik onmogelijk te zijn.
- 3.6 Uitstekende delen of andere delen, die letsel kunnen veroorzaken, dienen voorkomen of afgeschermd te worden. Hierbij wordt gedacht aan de meetlinialen van de antropometer

### Grootste en kleinste meetwaarden

- 3.7 De maximale hoogte, die gemeten dient te kunnen worden, is 230 cm; dit is ongeveer 5 cm hoger dan de grootste Nederlandse lichaamslengte op dit moment. De reikhoogte staand kan heel goed bepaald worden door de zittende 'reikhoogte' minus de 'kruin-zitvlak hoogte' op te tellen bij de lichaamslengte.
- 3.8 De minimale meetbare hoogte dient 2 cm te zijn; overeenkomstig de minimale hoogte van de buitenste enkelknobbel hoogte (malleolus laterale) bij Snyder (1977). Zie Bijlage 4.1 voor de definitie.
- 3.9 De maximale meetbare breedte dient 225 cm te zijn; overeenkomstig de grootste spanwijdte bij Snyder (1977). Zie Bijlage 4.1 voor de definitie.



- 3.10 De minimale meetbare breedte dient 9 cm te zijn; overeenkomstig de kleinste hoofdbreedte van een 2 jarige (Steenbekkers, 1989) minus 2 cm als extra marge. Kleinere breedten (zoals kniebreedte) kunnen beter met de kleine passer worden gemeten.
- 3.11 De maximale meetbare diepte dient 145 cm te zijn; overeenkomstig de grootste bil-voetdiepte (Bijlage 2.4).
- 3.12 De minimale meetbare diepte voor het meetsysteem dient 8 cm te zijn; overeenkomstig de kleinste borstdiepte van een 2 jarige (Steenbekkers, 1989) minus 2 cm als extra marge. Kleinere dieptes kunnen beter met de kleine passer of schuifmaat worden gemeten.
- 3.13 Wens. De meetopstelling moet ergonomisch verantwoord zijn voor de 'meter' (degene die de meting verricht); dit wil zeggen dat herhaald bukken, om een meting te verrichten, zoveel mogelijk voorkomen moet worden en dat de meting zoveel mogelijk in de visueel-manipulatieve comfortzone plaatsvindt. Deze eis is geformuleerd naar aanleiding van klachten van enkele meetteamleden tijdens het KIMA-1 onderzoek (Steenbekkers, 1989), omdat ze steeds moesten bukken bij het meten van de kinderen. Ook bij zittende volwassenen als proefpersonen kan deze klacht optreden.
- 3.14 Wens. De meetopstelling dient een zodanige samenstelling te hebben dat één persoon ('de meter') alle noodzakelijke handelingen voor een meting alleen kan verrichten.

#### **Maatlijsten en doelgroep**

- 3.15 Met de meetopstelling dient de basislijst van 58 variabelen volgens NEN-EN979, (1993) (zie Tabel 6.4) gemeten te kunnen worden.
- 3.16 De meetopstelling dient geschikt te zijn voor het meten van proefpersonen vanaf 2 jaar tot en met ambulante senioren.
- 3.17 De proefpersoon dient tijdens het meetproces zo weinig mogelijk van houding en van plaats te moeten veranderen.
- 3.18 De meetvoorschriften dienen in principe niet anders te zijn dan (inter) nationaal voorgeschreven (NEN-EN979, ASB, DIN of ISO).

#### **IJken, controleren en arrêteren**

- 3.19 De meetopstelling dient volgens een eenvoudige standaardprocedure binnen 10 minuten te kalibreren te zijn.
- 3.20 Speling tussen onderdelen van de te bouwen meetopstelling dient binnen de nauwkeurigheidseisen te liggen van maximaal 1 mm plus of min. Wens: maximaal 0,5 mm plus of min.
- 3.21 De meetopstelling (inclusief de computer) dient bestand te zijn tegen schokken en stoten tijdens transport.

- 3.22 De te leveren nauwkeurigheid ten gevolge van het meten van mensen (reproduceerbaarheidswaarde), is afhankelijk van de soort maat en gaat uit van een zorgvuldig gevolgd meetprotocol.

botmaten  $\leq 3$  mm

vleesmaten  $\leq 5$  mm

De werkelijke waarde kan dus in een gebied rond de meetwaarde liggen ter grootte van twee keer de genoemde nauwkeurigheid plus of minus de hierboven genoemde speling in de apparatuur; dus bijvoorbeeld geldt dan als toleranties voor buikdiepte (mm) = meetwaarde (mm)  $\pm 2 * (5+1) = 12$  mm.

- 3.23 Wens. Om de meetdruk te standaardiseren, dienen er druksensoren op de meetvlakken aanwezig te zijn, zodat door de meetdruk vervormde maten niet worden vastgesteld.

### Datapresentatie en feedback

- 3.24 De gemeten waarde wordt weergegeven op een beeldscherm en eventueel op een tweede alfanumerieke display.
- 3.25 Na flattering geeft het programma aan welke de volgende te meten maat is.
- 3.26 De meetwaarden worden op uitschieters (bijvoorbeeld buiten  $\bar{x} \pm 4 * s$ ) gecontroleerd en deze worden visueel en auditief gemeld.

### Ondersteuning proefpersoon

- 3.27 Na afloop van een meetsessie dienen de meetwaarden van de proefpersoon geprint te worden, in absolute waarden en uitgedrukt als percentielwaarden van een tevoren gekozen referentiebestand, bijvoorbeeld de huidige DINED. De proefpersoon verkrijgt hiermee zijn of haar eigen percentiel profiel.
- 3.28 De zittinghoogte of de afstand voetzool-kniehoogte dient instelbaar te zijn tussen 15 cm (P<sub>0,1</sub> 2jr) en 65 cm (P<sub>99,9</sub> 20-65 jr).
- 3.29 De zittingdiepte dient instelbaar te zijn tussen 15 cm (P<sub>0,1</sub> 2 jr) en 70 cm (P<sub>99,9</sub> 20-65 jr).
- 3.30 De meetbare heupbreedten dienen te liggen tussen 15 cm (P<sub>0,1</sub> 2jr) en 50 cm (P<sub>99,9</sub> 20-65 jr).
- 3.31 Niet alleen het zitvlak van de proefpersoon dient ondersteund te worden, maar ook (voor kinderen en bejaarden) voeten, rug en zo mogelijk de ellebogen.
- 3.32 De kromming van de rug in het sagittale vlak dient ook met de meetopstelling gemeten te kunnen worden. Bijvoorbeeld twee coördinaten van elk punt tussen C7 en het zitvlak in verticale stappen van 5 cm, of in 10 stappen (11 maal) van 10% vanaf de individuele afstand kruin-zitvlak.
- 3.33 De zitondersteuning dient weggeschoven kunnen worden, zodat 'staande' maten op dezelfde plek gemeten kunnen worden.

## Verdwijnen

- 4.1 Wens. De meetopstelling dient geen materialen te bevatten die bij verbranden of storten een onredelijke mileubelasting teweeg brengen.

### 6.5.3 Meetprocedure

De meetprocedure ziet er als volgt uit:

- 1 Bepalen van steekproef en lijst met variabelen.
- 2 Verspreiden van informatie onder de doelgroep over het hoe en het waarom van de toekomstige metingen (bij het GDVV-onderzoek werd hiervoor de huiskrant gebruikt en werd gesproken met de directies van de bejaarden centra; bij het DELKI-onderzoek werden de ouders en de leerkrachten geïnformeerd; ook het formeel toestemming vragen hoort bij deze stap).
- 3 Training van meetteam door variabelen herhaald te laten meten bij enkele testpersonen, om vervolgens te evalueren op meetvolgorde, intra- en interwaarnemer variantie.
- 4 Opstellen van definitieve meetvolgorde.
- 5 Bij de meetsessies wordt 'online' gemeten, waarbij het computerprogramma het meetproces bewaakt. De proefpersoon wordt vriendelijk ontvangen en uitleg gegeven van het doel en het belang van het onderzoek, van wat van hem/haar verwacht wordt, dat er geen risico's of moeite aan verbonden is, de individuele data vertrouwelijk blijven, maar wel na afloop direct ter hand worden gesteld en hoeveel tijd het ongeveer zal kosten; uitgelegd wordt waarom eventuele gedeeltelijke ontkleding nodig is. De meting begint bij het invoeren van de algemene gegevens, waardoor onder meer controles beter kunnen worden uitgevoerd (zie tekstblok hier onder).

- 
- 4.1 De 'operator' voert een waarde in voor de standaardmeetfout die toelaatbaar is per variabele of in ieder geval voor de meest kritische variabele, bijvoorbeeld voor de lichaamslengte of de reikhoogte.
  - 4.2. De 'operator' koppelt een referentiebestand aan het meetprogramma, om straks controles eenvoudig te kunnen uitvoeren.
  - 4.3. De 'operator' voert een geschatte lengte,leeftijd en eventueel gewicht in, op basis waarvan controles op extreme waarden uitgevoerd kunnen worden.
  - 4.4. Er is een automatische controle op extreme meetwaarden; het aantal keren  $s$  (standaarddeviatie van de referentiegroep), waarbuiten een auditief en visueel signaal verschijnt, is hier in te voeren. Standaard is dit  $4 * s$ .
  - 4.5 Als het programma de meetwaarde niet meteen accepteert, dient de operator de standaardprocedures te kennen om dit te kunnen verhelpen.
- 

*Enkele details van de meetprocedure.*

De 'meter' (onderzoeker, proefleider) meet de lichaamsmaten door, bij het bereiken van de juiste houding van proefpersoon en meet instrument, op een knop te drukken die het gemeten signaal doorzendt naar de computer, waar het eerst de genoemde controles ondergaat.

De 'notulist' van de klassieke meetsessie is nu 'operator' van het meetproces. Het derde meetteamlid, de 'organisator' bij de klassieke antropometrie, is waarschijnlijk overbodig, behalve bij het meten van kinderen en ouderen.

- 6 Er wordt continu getest op voldoende aantal proefpersonen; dit wil zeggen dat na elke meetwaarde de standaardfout wordt uitgerekend en wordt vergeleken met een toelaatbare waarde. Daarna wordt auditief/visueel aangegeven of er voldoende waarnemingen zijn gedaan voor die betreffende variabele (zie Paragraaf 5.3.4).
- 7 Na afloop krijgt de proefpersoon een uitdraai van haar/zijn gemeten lichaamsmaten, tevens uitgedrukt als percentielwaarde van het referentiebestand (=percentielprofiel; zie Bijlage 5.4).

#### 6.5.4 Ontwerp meetopstelling

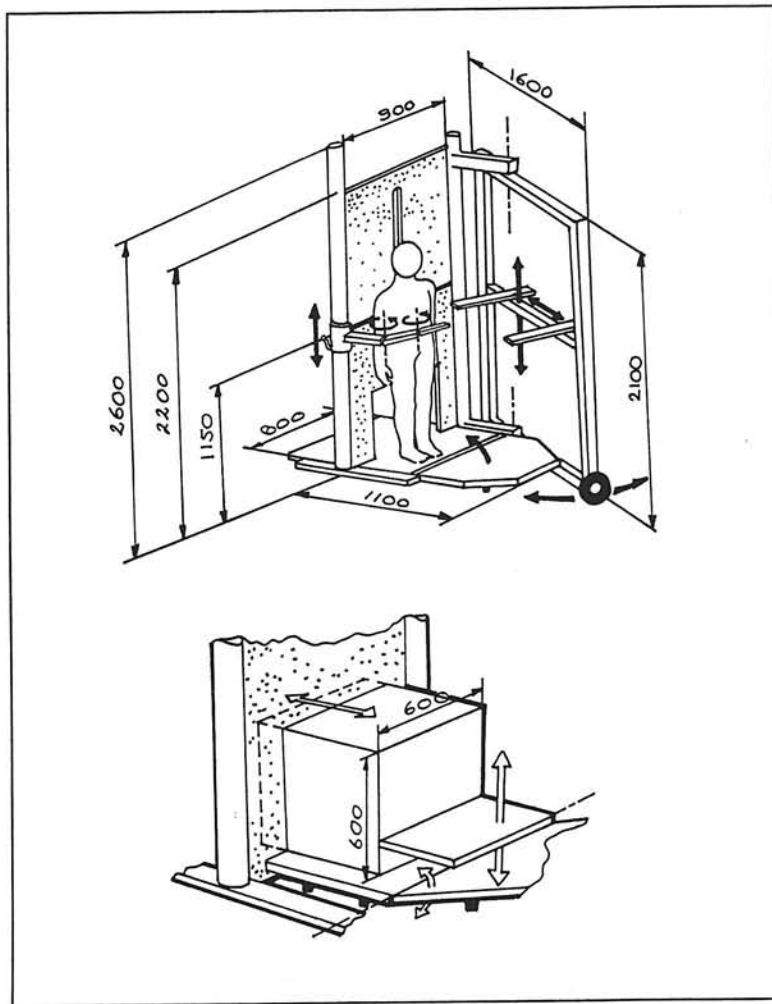
De theoretisch ideale oplossing van een meetsluis, waar iemand alleen maar doorheen hoeft te lopen om al zijn/haar maten vast te leggen, is nog niet realiseerbaar. De 3D-scan methode van de HUMAG Research Group in Loughborough komt hier echter al dichtbij (Jones, 1989).

In navolging van Snyder is een semi-geautomatiseerd meetstelsel ontwikkeld in het antropometrisch laboratorium van de vakgroep Produkt- en systeemergonomie van de Faculteit van het Industrieel Ontwerpen (TU Delft). Op basis van de proefonderzoeken (Hoofdstuk 4) en de literatuur (Garn, 1962 en 1968; Jürgens, 1978; Snyder et al., 1975; Snyder et al., 1977; Prah-Andersen et al., 1979; Cameron, 1984; Davies, 1986) is de volgende doelstelling vastgesteld:

Het doel van het ontwerp is het kunnen uitvoeren van een antropometrisch onderzoek bij ambulante Nederlanders vanaf 2 jaar, rekening houdende met voorgaande punten van hard-, soft- en orgware.

Naar aanleiding van het 'Programma van Eisen' zijn enkele concepten ontworpen (Van Wijnen, 1986); is het gekozen ontwerp verder uitgewerkt (Smit, 1988) en is een proefopstelling gebouwd (figuren 6.4; 6.5 en 6.6). De meetopstelling is SAMAS (Semi Automatisch Meten Antropometrische Steekproeven) genoemd. Er is gebruik gemaakt van standaard aluminiumprofielen, zoals voor tentoonstellingsbouw in de handel zijn (merk Structural).

Tevens is voor de 'breedte-maten' een losse antropometer (van het type Harpenden (zie Figuur 6.2) on-line verbonden met een personal computer.

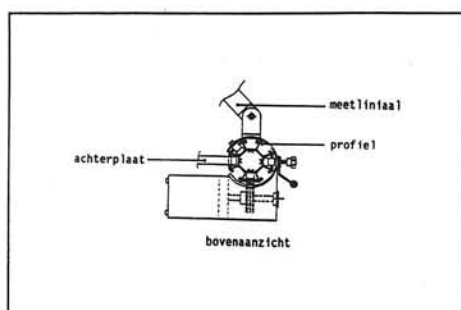


*Figuur 6.5: Proef-meetopstelling in het laboratorium van de vakgroep Produkt- en Systeemergonomie (maten in mm).*

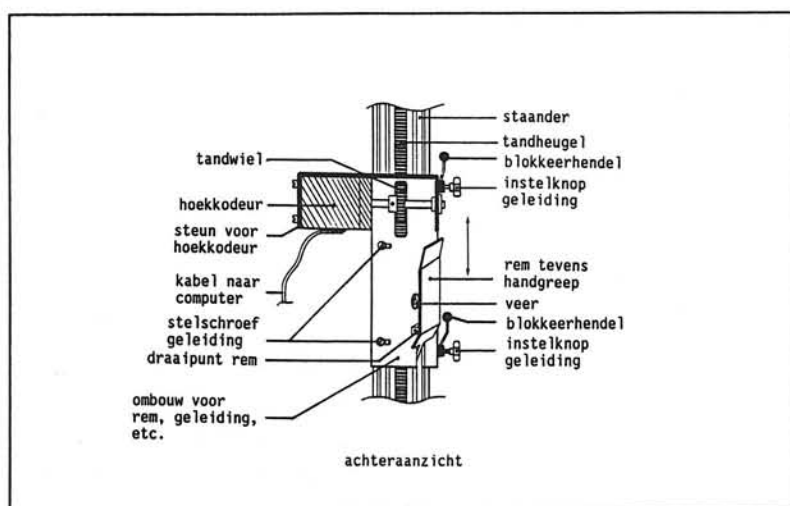
Als transducer is hiervoor een gebruikelijke potentiometer gebruikt, omdat dit voor die meetafstand de goedkoopste adequate oplossing was. De maximale meetwaarde hiervan is 570 mm. Voor de meettrajekten in de meetopstelling is echter gebruik gemaakt van een relatief nieuwe techniek, de optische incrementele hoekkodeur, ook wel impulsgever genoemd (Figuur 6.7). De werking is in principe als volgt: de lineaire beweging van de meetliniaal wordt omgezet in een draaiende, door middel van tandheugel en rondsel; op de as van dit rondsel zit de hoekkodeur en deze telt het aantal streepjes dat een lichtgevoelige cel passeert. Hiermee is heel precies de afstand tussen de linialen vastgelegd. Het is een vervanging voor de potentiometer en heeft als voordelen:

- dat er geen mechanisch contact is;
- dat het toepasbaar is over een onbeperkt aantal omwentelingen;
- dat het ongevoelig is voor stroompulsen;
- dat het geen hinder heeft van spanningsuitval.

Hierdoor zijn op eenvoudige wijze een staander en een ligger voorzien van een kunststof tandheugel, waarin een tandwiel van het meetliniaal loopt dat de hoekkodeur aandrijft. De staander is met totaal 260 cm ruim voldoende om de lichaamslengte van langste man te meten (Eis 3.7). Op de staander is een zelfremmende geleidingswagen gebouwd, voorzien van een meetliniaal. Dit meetliniaal bestaat uit twee segmenten (Figuur 6.6 en 6.7) en heeft twee scharnierpunten, waardoor van elk punt op het lichaam van de proefpersoon de hoogte gemeten kan worden. De in hoogte verstelbare ligger (met een lengte van 145 cm, volgens Eis 3.11, in de proefopstelling) is voorzien van twee meetlinialen, zodat ook de breedtematen hiermee gemeten kunnen worden als het zij-frame parallel is gedraaid met het rugvlak.



*Figuur 6.6: Boven aanzicht handgreep aan staander uit Figuur 6.5.*



*Figuur 6.7: Zelfremmende handgreep; detail van meetopstelling inclusief hoekkodeur. Achteraanzicht.*

Bij de meetstoel zijn bij vaste zittinghoogte de voetensteun en de rugsteun elektrisch of met een zwengel te verplaatsen tot de romp en de bovenbenen in de goede houding zijn

gepositioneerd. Hiermee zijn dan meteen de bil-knieholte lengte en de knieholte hoogte gemeten.

In TurboPascal is bijbehorende software geschreven (Egmond, 1987; Bokma, 1989; Boekema, 1991), die het meetproces begeleidt volgens de doelstellingen en het Programma van Eisen.

De volgende instrumenten zijn hier nog niet geautomatiseerd, maar dit is technisch wel mogelijk: de kleine passer, de handdynamometer en het meetlint. Dit betekent dat de meetwaarden hiervan ingevoerd moeten worden via het toetsenbord.

Het meetproces is hiermee voor de grote lengte-, breedte- en dieptematen zodanig geautomatiseerd, dat met een druk op de knop bij de handgreep van de geleider de meetwaarde wordt doorgezonden naar de computer. Daar wordt de meetwaarde op het scherm getoond en getoetst aan de in te stellen criteria. De meetopstelling is demontabel en transporteerbaar volgens Eis 3.1.

#### **Evaluatie meetopstelling**

Bij het testen van de proefopstelling blijkt dat het voor veldwerk wellicht soms prettiger kan zijn niet met een frame te werken, maar met slechts één hoogtemeter, die ook horizontaal als lengtemeter kan dienen (bijvoorbeeld bij bil-voet lengte) tegen een vaste wand en met een geautomatiseerde antropometer. De hierboven beschreven meetinstrumenten zijn voor jonge kinderen aangepast en concreet toegepast voor het KIMA-2-project (Steenbekkers, 1993).

## 6.6 Samenvatting

Een referentie bestand (overeenkomstig de norm DIN33402) van afmetingen voor 12-20 jarigen en volwassen Nederlanders bestaat nog niet, maar er blijkt wel degelijk behoefte aan te zijn.

In dit hoofdstuk is het proces beschreven van het meten van lichaamsafmetingen, vooral in relatie tot het produktontwerp, in het verleden, heden en zoals dat proces zou kunnen plaatshebben in de toekomst. Meetmethoden en steekproefoverwegingen werden behandeld, maten geselecteerd en het ontwerp van een semi-automatische antropometrisch meetsysteem werd gepresenteerd.

Het voorgaand beschreven meetproces heeft als resultaat dat accurate waarden worden vastgesteld. Voor het ontwerpen op maat van gebruikers of voor het beoordelen van juiste maat van bestaande goederen, is evenwel ook nodig dat de vele data in een overzichtelijk en goed hanteerbaar systeem worden overgebracht. Daarop wordt in het volgende hoofdstuk de aandacht gericht.





# 7 Een antropometrisch data systeem

## 7.1 Inleiding

Gezien de stand der techniek lag het voor de hand dat er ook op het gebied van de antropometrie elektronische hulpmiddelen ontstonden. In termen van antropometrische modellen, zoals in Hoofdstuk 3 besproken zijn, ontwierp Henry Dreyfuss de eerste 'slimme tabellen' in de jaren zestig (Dreyfuss, 1959; 1960 en 1967). De sjablonen (ook wel manikins of templates genoemd) moesten zelf worden nagemaakt van een tekening. Daarna kwamen de seriematig vervaardigde sjablonen bij IWA in Esslingen, zoals de mallen van Jenik, als voorlopers van iets anders uitgevoerde Boschmallen (Jenner et al., 1978) en de Kieler Puppen (Jürgens et al., 1975). Inmiddels kwamen de kunststof 'Humanscales' van Dreyfuss (Diffrient, 1974-1978) als vervanging van de eerdere papieren versies. De eerste grootschalig opgezette antropometrische database is waarschijnlijk ERGODATA (Megaw, 1988; Ergodata, 1989) in Parijs. Hierin zijn via een on-line verbinding via een netwerk met een computer die elders staat, zowel oorspronkelijke meetwaarden (ruwe data) te vinden, als gegevens die overgenomen zijn uit gepubliceerde artikelen. De ruwe data zijn opgeslagen in de Banque de Données Individuelles (Ergodata, 1990a); deze bevat meer dan 40 miljoen meetwaarden van talrijke populaties uit de gehele wereld van jong tot oud en er zijn ruim 800 variabelen gedefinieerd (Ergodata, 1990b). De Banque de Données Agrégées bevat daarnaast de data uit de literatuur (Ergodata, 1990c). De bruikbaarheid van de Franse ERGODATA voor een Nederlandse gebruiker wordt echter beperkt door zaken als een trage verbinding, een complexe userinterface (Ergodata, 1991), nauwelijks mogelijkheid tot 'downloading' van de opgevraagde gegevens (downloading=de mogelijkheid van datatransport van de gastheer computer naar de computer van de gebruiker) en wegens de noodzaak van vele handleidingen en communicatie met de Parijse beheerders. Een deel van deze nadelen is kenmerkend voor een openbaar datanet, waarover in 1990 nog beweerd werd dat één op de vier pogingen niet tot het gewenste resultaat zou leiden (Computerworld, 5 januari 1990, blz. 1). Verder zijn wellicht de betrekkelijk hoge aansluitkosten en de gebruikskosten ook drempelverhogend. Het voordeel van ERGODATA is echter dat de geselecteerde gegevens wel statistisch kunnen worden bewerkt en dat het beheer in principe bereid is om nieuwe onderzoeksresultaten toe te voegen. Een uitgebreid overzicht van databases met ergonomische gegevens staat in Pelsma (1987) (zie ook Paragraaf 3.2.2). Een compact overzicht is te vinden in Megaw (1988). Beide auteurs beschrijven talrijke instanties, die grote databanken beheren en welke ergonomische betekenis hun databases hebben. Die betekenis is zeer klein, behalve bij ERGODATA (zie boven, met antropometrische gegevens) en bij ERGONOMIC ABSTRACTS (met 100.000 ergonomische referenties).

### Enkele ontwikkelingen:

- ERGONOMIC ABSTRACTS wordt gecomputeriseerd in Birmingham; in 1988 waren 10.000 referenties per computer opvraagbaar. Dit betekent dat voor een deel ook antropometrische onderzoeken snel zijn te vinden. On-line bereikbaarheid en/of bestanden op CD-ROM zijn volgens (Megaw, 1988) in de toekomst te verwachten.
- HUMAN FACTORS INFORMATION SERVICE DATABASE. Deze database wordt in Loughborough (UK) opgezet met ergonomische gegevens in relatie tot geavanceerde technologie (Megaw, 1988).
- In Nottingham wordt gewerkt aan een database met antropometrische gegevens in relatie tot produktveiligheid (Wilson and Norris, 1993).
- In Loughborough wordt ook gewerkt aan DAVE (=Database Application in Vehicle Ergonomics), een antropometrische database voor militaire voertuigen (Beagley et al., 1993). Deze werkt in een 'Apple Hypermedia' omgeving met een vast standaard scherm, waar een afbeelding met desbetreffende lichaamsmaten en twee percentielwaarden (P5 en P95) getoond worden. Er kan, voorzover bekend, niet mee gerekend worden.
- PEOPLE SIZE is een recente antropometrische database (People Size, 1994), die onder het besturingssysteem Windows werkt en enige berekeningen kan uitvoeren. De bronnen komen vooral uit Engeland, USA en Duitsland en staan grotendeels in Paragraaf 3.2.2 genoemd.

Toen vanaf 1985 de personal computers een snelle ontwikkeling doormaakten, kwam ook ERGOBASE, een Amerikaanse antropometrische database, op de markt. De prijs was betrekkelijk gering; het gebruik van het programma kost geen leertijd en is grafisch georiënteerd; verder is het voorzien van anatomische plaatjes en bedienbaar met muis of toetsenbord. Het nadeel is echter dat er geen data aan kunnen worden toegevoegd, dat er niet mee gerekend kan worden en dat er niet meer dan 5 populaties of 5 lichaamsmaten tegelijk geselecteerd kunnen worden. Bovendien zijn de plaatjes niet 'bij de hand' indien men de data bekijkt; de data zijn alleen separaat te bekijken van de afbeeldingen.

Inmiddels zijn de 'tekensjablonen' door de informatie-technologische vooruitgang ontwikkeld tot de 3de-generatie gereedschappen bij het tekenen met behulp van de computer. Hiertoe behoren zowel MANNEQUIN, ANTHROPOS, CADPEOPLE en ADAPS. In Hoofdstuk 3 zijn deze antropometrische modellen reeds besproken. In Kroemer et al. (1988) en in Peacock and Karwowski (1993) worden talrijke ergonomische modellen van menselijke maten en krachten, overzichtelijk weergegeven. Hier wordt volstaan met de vermelding dat in de analyse fase van het ontwerpproces de 'elektronische tabellen' nuttig zullen zijn; de tekenhulpen zijn vooral bruikbaar bij de daaropvolgende fase, waarin men alternatieve oplossingen tracht te genereren.

### Doel en begrippen

Het doel van dit hoofdstuk is om een Antropometrisch Informatie Systeem (AIS) te beschrijven, dat bruikbaar is voor de Nederlandse ontwerper/onderzoeker. Dit AIS dient

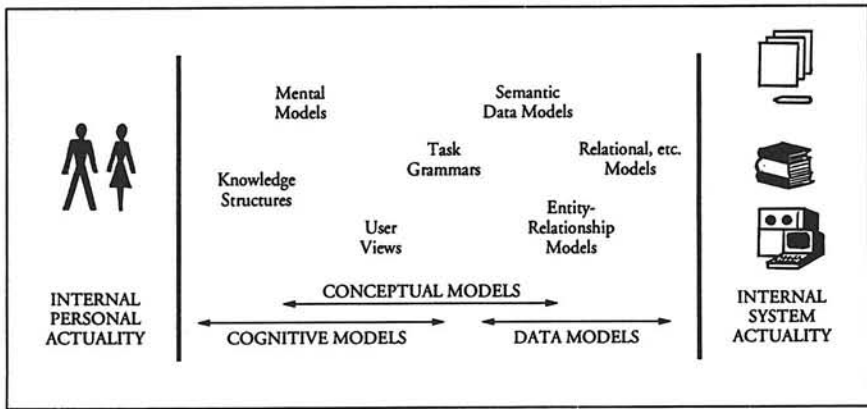
de zwakke plekken van de voornoemde systemen ERGODATA en ERGOBASE te elimineren en dient de grafische- en de rekenmogelijkheden te versterken.

Hierna volgen eerst enkele definities en begrippen (Burt and Kinnucan, 1990) uit de informatie-technologie, die voor de rest van dit hoofdstuk nuttig zijn:

*Informatie Systemen.* Als een informatie systeem wordt beschouwd elke combinatie van een informatiebron tezamen met een toegangs- of opzoekmechanisme (userinterface), bedoeld voor bewerking of gebruik van die informatiebron.

*Informatie Model.* Een informatie model is een representatie van een informatie systeem voor aspecten zoals acquisitie, organisatie en bewerking van informatie.

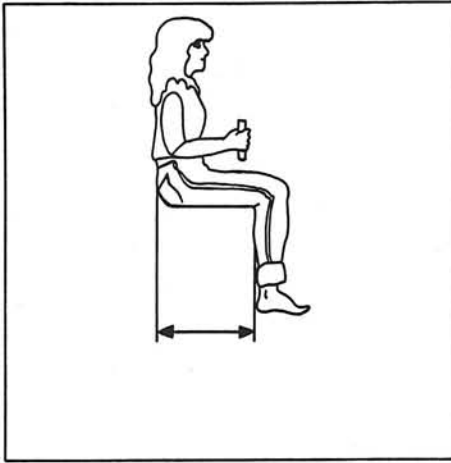
*Typen van Informatie Modellen.* Figuur 7.1 geeft een overzicht van enkele informatie modellen als mogelijkheden binnen een continuüm, tussen enerzijds de gebruiker en anderzijds het informatie systeem.



*Figuur 7.1: Overzicht van informatie modellen in het continuüm tussen mens en informatie systeem (Burt and Kinnucan, 1990).*

Twee informatiemodellen, waar het later besproken eigen model mee te maken heeft, zullen in dit hoofdstuk besproken worden: het *datamodel*, met daarin de beschrijving van de soort data en de onderlinge relaties en het *functiemodel* (= 'taskmodel') met daarin de beschrijving van welke functies het informatie systeem dient te kunnen vervullen voor de gebruiker.

De userinterface is dan de uitwerking van het functiemodel in het werkende informatie systeem (Thijs, 1992). Om straks een Programma van Eisen te kunnen formuleren, zal eerst ter introductie een schets worden gegeven van het te verwachten gebruiksproces van het informatie systeem.



*Figuur 7.2: Voorbeeld 'hypertext' verklaring van bil-knieholte diepte'.*

Het AIS werkt als zelfstandig programma op een computer of als module van bijvoorbeeld een tekenpakket zoals AutoCAD. De gebruiker kiest via een menustructuur het juiste stuk informatie en drukt dit af op papier of stuurt dit naar een bestand, of naar een ander programma voor mogelijk nadere bewerking. Bij het opstarten van het programma kan de gebruiker verschillende ingangen kiezen, die overeenkomen met de betekenis van de vlakken van de kubus in Hoofdstuk 1:

- 1 soort produkt/functie;
- 2 soort maat;
- 3 soort doelgroep.

Elke keuze wordt in het geheugen opgeslagen en in een venster weergegeven. Tevens wordt aangegeven welke data aanwezig zijn die bij die keuze horen, in termen van welke lichaamsafmetingen, aantallen mensen per populatie, leeftijd en geslacht. Het is mogelijk enerzijds de anatomie van desbetreffende lichaamsmaat te raadplegen en anderzijds de overeenkomstige produktmaat afgebeeld te zien, zodat de marges van de mens-product-interacties duidelijk worden. Hierbij is 'hypertext' een uitkomst; 'hypertext' wil zeggen dat er in een apart venster op het beeldscherm een uitleg kan verschijnen, op het moment dat men een bepaald begrip (met de muis) aanklikt. De gebruiker is het duidelijk dat alleen de begrippen, die als zodanig zijn aangeduid op het scherm (bijvoorbeeld woorden die door kleur of kader worden onderscheiden van de rest), een 'hypertext' uitleg kunnen krijgen. Bijvoorbeeld, indien de gebruiker het woord 'bil-knieholte diepte' aanklikt, verschijnt een afbeelding zoals in Figuur 7.2 aangegeven. Elke verzameling van antropometrische data wordt in de ontwerppraktijk aanzienlijk gereduceerd, indien men de benodigde maten en de te verwachten gebruikersgroep heeft bepaald (Bradtmitter, 1985).

Bij het combineren van maten geeft het systeem zo mogelijk de beperkingen aan van de door de gebruiker gedane keuze.

*Database management systeem.* Het deel van een informatiesysteem, dat zorgt voor het kunnen gebruiken van een database, wordt ook wel database management systeem genoemd. Een DBMS is in feite een informatiesysteem zonder database of anders gezegd: 'Een DBMS verschaft de gebruiker een netwerk van aan elkaar geknoopte gegevens' (Ter Bekke, 1985, blz. 1). DBMS'en worden beschouwd als instrumenten van de databasetechnologie (Gerhardt, 1993). In termen van een DBMS wordt onderscheid gemaakt in diverse benaderingen: hiërarchische, netwerk, relationele en semantische.

Voor het ontwerp van het Antropometrisch Informatie Systeem wordt gedacht aan de semantische benadering (Ter Bekke, 1991). Dit betekent dat er een betekenis wordt toegekend aan de samenhang der gegevens, waardoor de gebruiker zijn toepassing op een natuurlijke wijze kan formuleren. Als bijvoorbeeld iemand twee lengtematen wil optellen en de onderlinge correlatiecoëfficiënt ontbreekt, dan zal het AIS twee dingen moeten doen: het aangeven van de grootte van de geschatte correlatiecoëfficiënt en het aangeven dat er met een schatting in plaats van een meetwaarde wordt gewerkt.

Het verschil met de relationele DBMS is dat de onderlinge relateerbaarheid aangevuld is met het begrip 'omkeerbaarheid', waardoor geen vergissingen gemaakt kunnen worden door het vergeten van het al dan niet aanbrengen van relaties. In de type definitie van een semantische DBMS is dit immers al gegeven (Ter Bekke, 1992). De heupbreedte van een bepaalde populatie zal daar voorzien zijn van de eigenschap 'breedtemaat' en van een verwijzing naar alle mogelijke correlatiecoëfficiënten.

Een alternatief voor de semantische database wordt beschreven in McConalogue (1990). Hij beschrijft dat Object Georiënteerde Databases meer geschikt zijn voor het bouwen van complexe vormen, zoals bij Computer Aided Design vaak voorkomt. Zulke databases zijn bedoeld om grote hoeveelheden data, snel en betrouwbaar voor meer gebruikers tegelijk adequaat beschikbaar te kunnen houden. *'The problem is that how to manage sharable, persistent, reliable data in large amounts'* (McConalogue, 1990, blz. 10). Aangezien de gebruikers van antropometrische data momenteel veelal niet met velen tegelijk een database met grote hoeveelheden gegevens nodig hebben, lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat een Object Georiënteerde Database voorlopig nog niet nodig is bij het opzoeken en combineren van antropometrische data. Dit zou kunnen veranderen indien de meetmethoden veranderen, zoals Jones in Loughborough voorstelt (zie Hoofdstuk 6, blz. 229), waar met een laserscan de oppervlaktecoördinaten van een menselijk lichaam vastgelegd worden. Als bovendien de ontwerpers veel meer data gaan vragen van mogelijke mens-product-interacties, dan zouden de Object Georiënteerde Databases een uitkomst zijn.

## 7.2 Eisen aan het functiemodel

### invoeren

- 1 Zowel ruwe gegevens van een meetonderzoek als geaggregeerde gegevens uit de literatuur dienen ingevoerd te kunnen worden.

- 2 Van elk onderzoek, waarover gegevens in het AIS komen, dient eveneens een samenvatting aanwezig te zijn met onder meer: de bibliografische informatie, meetmethode, publicatiejaar, meetjaar, aantal variabelen, aantal gemeten mensen e.d.
- 3 In het AIS is een tabel aanwezig met daarin van alle gebruikte onderzoeken een overzicht van de bijbehorende variabelen, definities van deze variabelen, instrumenten e.d. vergelijkbaar met Bijlage 3.I en 4.I.
- 4 Het AIS dient in eerste instantie engelstalig te zijn; in tweede instantie dient het eenvoudig in het Nederlands om te zetten te zijn.

## bedienen

- 1 Het programma dient zowel met het toetsenbord als met de muis bedienbaar te zijn.

<u>algemene functie</u>	<u>verbijzondering</u>	<u>produktsoort</u>
<b>ondersteunen</b> (ondersteuningsmiddelen)	liggen	bed, massagetafel, brancard
	zitten	busbank, kantoorstoel, kantoorstoel
	staan	huishoud trap, ladder, stasteun
<b>bedienen</b> (bedieningsmiddelen)	hand	deurkruk, draaiknop van radio, joystick
	voet	pedaal, drukknop
	vingers	druktoetsen
<b>verblijven</b> (kleine verblijfsruimten)	woning	keuken, slaapkamer, woonkamer, werkkamer, badkamer
	openbare ruimten	kantine, abri, lift, treincoupé
	kantoren	werkkamer, vergaderruimte
	bedrijven sportcentra	produktiehal, lopende band kantine, sportzaal, kleedruimte
<b>bewerken</b> (handwerktuigen)	stoten	hamer
	schrapen	vijl, schaaf
	boren	handboor, elektrische boor
	houden	tang, pincet
	snijden	mes, schaar
	draaien	schroevendraaier, ratelsleutel
<b>beschermen</b> (kleding en uitrusting)	werkuitrusting	leger-, brandweeruniform
	kleding	jas, handschoenen, sportkleding
	schoeisel	veiligheidslaars, schoen, schaatsen
	hoofdbedekking	helm, hoed
	bril	zonnebril, veiligheidsbril
	prothesen, orhtesen	handprothese, armprothese, gebitsprothese, beenbeugel, corset
<b>tillen</b> (lasten tillen)	hand	koffer en handvat
	rug	rugzak

Tabel 7.1: Voorbeeld lijst met functies en produktsoorten, die een ingang zouden kunnen vormen voor het zoeken naar antropometrische richtlijnen in het AIS.

- 2 In Hoofdstuk 1 is het kubus-model geïntroduceerd met daarin aangegeven het werkveld binnen het antropometrisch ontwerpen. Deze indeling zal ook gebruikt worden bij dit AIS. Men moet daarom kunnen kiezen tussen produktfuncties, produktsoorten, menselijke maten of doelgroepen op basis van afgebeelde lijsten in vensters op het beeldscherm (zie bijvoorbeeld Tabel 7.1).
- 3 Men dient de éénmaal ingestelde parameters: leeftijd, geslacht en populatie, eenvoudig te kunnen aanpassen.
- 4 Men moet de breedte van de doelgroep naar keuze kunnen instellen met behulp van percentielwaarden en/of met de pijltjes-toets.
- 5 Men moet de lichaamsmaten kunnen kiezen uit een lijst, maar ook op basis van afbeeldingen van het menselijk lichaam.
- 6 Men dient zich aan het AIS kenbaar te kunnen maken als beginner of als gevorderde, waardoor meer of minder uitleg verschijnt.
- 7 Vaak gekozen combinaties dienen bewaard te kunnen worden.

### **begrijpen**

- 1 De gebruiker moet alle instellingen (lichaamsmaten, populaties e.d.) op elk moment kunnen overzien en kunnen wijzigen.
- 2 De gebruiker van het programma dient kritische aanwijzingen (hypertext) te ontvangen, zodat te hoog gespannen verwachtingen, over wat ergonomisch verantwoord is, worden weggenomen. Bijvoorbeeld bleek uit de enquête onder ontwerpers (die in de inleiding van Hoofdstuk 1 is besproken), dat een produkt soms al ergonomisch verantwoord werd geacht, indien men enkele maattabellen bij het schetsontwerp had gebruikt.
- 3 De gebruiker dient op de hoogte gehouden te worden van de geldigheid van de gevonden data; dit onder meer in verband met de eventuele seculaire groeiverschuivingen.
- 4 Bij berekeningen dienen de gebruikte formules zichtbaar gemaakt te kunnen worden.
- 5 Bij het bepalen van de grootte van het uit te sluiten deel van de doelgroep, dient dit visueel gemaakt te worden met een interactieve afbeelding van een normale verdeling. De keuze uit diverse ontwerptypen (Dirken, 1993) dient daarbij te worden verduidelijkt.
- 6 De gebruiker moet door een serie ergonomische 'integriteitsregels' zonodig gewaarschuwd worden:
  - een waarschuwing bij het gebruik van onzinnige combinaties;
  - een waarschuwing bij het gebruik van niet-normale verdelingen;
  - een waarschuwing bij het gebruik van kleine aantallen;
  - een waarschuwing bij het gebruik van geschatte gegevens; indien de bron bijvoorbeeld geen correlatiecoëfficiënt geeft, zal het AIS een schatting geven op

basis van de soort maat (lengte-, breedte-, diepte- of omvangsmaat; vergelijk het gebruik hiervan in Hoofdstuk 5).

#### uitvoer

- 1 De gevonden resultaten dienen op minstens twee wijzen te kunnen worden uitgevoerd: afdrukken op papier in tabelvorm en printen naar een file die leesbaar is voor een gangbaar tekenpakket, zoals AutoCAD of van een tekstverwerker zoals WordPerfect of MS-Word.
- 2 Het format van de uitvoer zou in percentielwaarden (cm) of standaarddeviatiescores kunnen zijn naar keuze van de gebruiker.
- 3 Als een tabel als uitvoer wordt gekozen, dient automatisch een anatomische afbeelding erbij te verschijnen, met daarin grafisch aangegeven welke maten in de bijbehorende tabel staan met de gekozen populatie, leeftijd en geslacht, die automatisch vermeld dienen te worden.
- 4 Bij de uitvoer dient automatisch de oorspronkelijke bron vermeld te worden.

#### uitwisselbaarheid

- 1 Het Antropometrisch Informatie Systeem (AIS) dient op gemakkelijke wijze gebruik te kunnen maken van programma's die eerder in dit project (Hoofdstuk 5) ontwikkeld zijn: DESCRIPT, EXOBS, ELLIPS, FMULNOR en PROFIEL.

## 7.3 Eisen aan het datamodel

Volgens Ter Bekke (1992) wordt een datamodel gekarakteriseerd door drie kenmerken: aanwezige gegevensstructuren, beschikbare manipulatie-opdrachten en algemene integriteitsregels. Deze kenmerken zullen we hierna invullen voor onze Antropometrisch Informatie Systeem.

#### 1 Aanwezige gegevensstructuren

##### *cel*

Als kleinste bouwsteen van de database wordt de cel gedefinieerd. Een cel bevat van één of meer lichaamsmaten:

$n$  = het aantal gemeten proefpersonen;

$\bar{x}$  = het gemiddelde;

$s$  = de standaarddeviatie;

$r$  = de correlatiecoëfficiënten (alleen indien er meer dan één variabele aanwezig is in de cel).

Bijvoorbeeld kan de inhoud van een cel bestaan uit bovenstaande gegevens van alle lichaamsmaten van mannelijke studenten, die bij dat onderzoek gemeten zijn. Een tweede cel bevat dan dezelfde gegevens voor vrouwelijke studenten.

##### *classificatie van geslacht*

De gedachte is dat geïnclassificeerd kan worden naar alle variabelen die in een lijst



voorkomen. Hieraan is gekoppeld een lijst met de eenheden, waarin de classificatievariabele opgesplitst kan worden. Bij de classificatie 'geslacht' is dat: mannelijk en vrouwelijk. Door een eenvoudige bewerking dienen deze samengevoegd te kunnen worden en wel standaard door middel van fracties van 50% elk en anders door wijziging van dat percentage.

#### *classificatie van leeftijd*

Bij de classificatie 'leeftijd' treedt het probleem op dat bij kinderen voldoende nauwkeurig rekening moet worden gehouden met de groei in vorm en afmeting (zie Hoofdstuk 2). Sommige publikaties geven hun resultaten weer tot in eenheden van weken. Voor het ontwerpen en beoordelen van produkten lijkt voor het eerste levensjaar een 3-maandelijke periode nauwkeurig genoeg; voor de leeftijd van 2-15 lijkt een 6-maandelijke periode wel adequaat gezien de groeisnelheid van de lichaamslengte (vooral in de benen) van maximaal 8 cm per jaar in de puberteit; voor 15-25 jaar zijn perioden van één jaar adequaat. Vervolgens verandert de antropometrie van de volwassene tot aan 65 jaar niet meer zo snel en lijkt het redelijk te classificeren als: 25-44 jaar en 45-64 jaar (overeenkomstig het CBS). Daarna wordt bij de senioren de krimp van afmetingen duidelijker en worden daarom drie perioden voorgesteld: 65-74 jaar; 75-84 jaar en ouder dan 85.

#### *classificatie van etniciteit*

Dit betekent dat van elk onderzoek aangegeven wordt welke etniciteit (meestal overeenkomend met land of regio van herkomst van de ouders) de gemeten proefpersonen hebben.

#### *classificatie van overige variabelen*

Voorlopig wordt gedacht aan:

'onderzoeksproject', zodat de resultaten van een onderzoek apart kunnen worden bekeken; 'lengte' en 'gewicht', omdat bij steeds meer produkten de leeftijd als maatstaf wordt vervangen door 'lengte' (bijvoorbeeld bij fietsen) of 'gewicht' (bijvoorbeeld bij autokinderzitjes en wegwerpluiers).

De grootte van de spreidingsbreedte bij 'lengte' zou kunnen zijn: 45 cm (als P<sub>1</sub> van een 3-weekse baby minus een marge van 3,5 cm) tot 225 (als de lichaamslengte van de langste man in Nederland plus een marge van 4 cm).

De grootte van de spreidingsbreedte bij 'gewicht' zou kunnen zijn: 2,5 kg (als de P<sub>1</sub> van een 3-weekse baby minus 238 g) tot 230 kg (het gewicht van de zwaarste man van Nederland plus een marge van 12 kg). Elke andere variabele moet ook zonnodig geclassificeerd kunnen worden met een in te stellen klassegrootte. Bijvoorbeeld een fijnere verdeling van de onderbeenlengte in het geval van schoolmeubilair, of van tailleomvang in geval van kleding.

## **2 Beschikbare manipulatie-opdrachten**

Alle classificaties dienen op visuele wijze gecombineerd te kunnen worden, zodat bij een bepaalde gekozen populatie meteen het aantal personen per cel zichtbaar is. Dit is vergelijkbaar met het in Hoofdstuk 5 besproken programma ELLIPS. Dit betekent dat het combineren van leeftijdsgroepen en/of populaties en/of variabelen eenvoudig kan

worden gerealiseerd door het aanklikken van vakjes op het beeldscherm. Hierbij zijn bewerkingen nodig die in Hoofdstuk 5 zijn besproken. De programma's, die bij dat hoofdstuk zijn ontwikkeld, zoals ELLIPS, DESCRIPT, EXOBS, FMULNOR en PROFIEL dienen als gereedschap gekoppeld te kunnen worden aan dit AIS. Andere formules, zoals waarmee een lineaire combinatie van variabelen kan worden gemaakt, worden besproken door De Hoogh (1992) gebruikmakend van Hogg and Craig (1978). Voor elke cel is dan nodig dat voor elke variabele  $x$  het aantal gemeten proefpersonen ( $n$ ), de standaarddeviatie ( $s$ ) en het gemiddelde ( $\bar{x}$ ) bekend is; bijvoorbeeld hebben die dan betrekking op een 3 jarige jongen uit België of op een groep mannelijke senioren van 65-70 jaar uit Engeland. Deze celinhouden kunnen volgens Craig gecombineerd worden tot één cel bijvoorbeeld, die betrekking heeft op 3-5 jarige jongens en meisjes en waarbij zowel leeftijd als geslacht gecombineerd zijn.

Indien in alle cellen een correlatietabel is opgeslagen voor alle variabelen, dan kan ook de correlatietabel voor een gecombineerd aantal cellen worden bepaald. Voor elke variabele in elke cel kan de som en de som van de kwadraten van de waarnemingen afgeleid worden. Uit de correlatietabel kunnen alle kruisproduktensommen ( $\sum x_i y_i$ ) worden berekend. Voor een gecombineerd aantal cellen geldt dat de benodigde sommen door eenvoudige sommatie kunnen worden bepaald uit de oorspronkelijke sommen. Hieruit kunnen ook weer,  $s$  en de correlatietabel worden afgeleid. Hiermee wordt het overbodig informatie van de gecombineerde cellen van te voren te berekenen en op te slaan. Wellicht zullen enkele beperkingen gelden, zodat de gebruiker niet willekeurig cellen kan combineren.

### 3 Algemene integriteitsregels

Een aantal regels moet worden opgesteld en geïmplementeerd, die ervoor zorgen dat de gebruiker geen opdrachten kan geven, die in strijd zijn met de in het model vastgelegde betekenis (Ter Bekke, 1985). Als bijvoorbeeld een populatie is gekozen, zijn alleen die variabelen en die cellen beschikbaar, die voor die gekozen populatie ingevoerd zijn.

## 7.4 Beschrijving van het ontwerp van het Antropometrisch Informatie Systeem

### Software

De eerste versie werd geschreven in de programmeertaal Basic en bestond uit de hierna aangeduide modules A tot en met D (Lankhorst, 1988); het programma werd ANTROTEEK genoemd. Module A en D waren nog onvolledig, module B en C werkten:

- A Keuze produktsoort, relevante maten, plus toeslagen voor comfort, kleding en uitrusting of veiligheid.
- B Keuze populatie, maten per populatie, percentiel bepaling.
- C Keuze populatie, maten per populatie, berekening van combinaties van twee maten met vaste correlatiecoëfficiënten volgens DINED-tabel, percentiel bepaling.

D Handleiding, bibliografische gegevens van de gebruikte bronnen en definities van maten met afbeeldingen.

De lijst met variabelen bestond uit de DINED-lijst, Bijlage 2.6.

De beschikbare populaties waren: DINED en bejaarden, en wel beide geslachten apart of samen. Deze simpele versie voldeed slechts aan de wens dat de DINED-tabel elektronisch was geworden en dat men niet 'met de hand' variabelen of populaties hoefde te combineren.

Al gauw werd een tweede versie ontwikkeld in de programmeertaal TurboPascal en kwam er een uitbreiding van de data en de mogelijke functies (Rieff, 1991). Eén van de uitbreidingen betrof het feit dat de ontwerper/beoordelaar wil uitgaan van een absolute waarde van een afstand en wil weten hoeveel procent van de populatie daarin past. De lijst met produktfuncties (Tabel 7.1) werd nog uitgebreid met een reeks van relevante lichaamsmaten, kritische percentielwaarden en bijbehorende marges. In Tabel 7.3 is dit uitgewerkt voor een bureaustoel. Het is eenvoudig in te zien dat deze wijze van genereren van antropometrische richtlijnen voor talrijke produktsoorten is uit te breiden. Het aantal beschikbare populaties werd vergroot met de eigen studenten data en met de data van 21 internationale populaties (Jürgens et al., 1989). In 1994 is begonnen om de data van het KIMA-onderzoek (Steenbekkers, 1993) toe te voegen. Tabel 7.2.

Nederland	Internationaal
Nederland 20-60 jaar	Noord-Amerika
Nederland bejaarden Den Haag	Latijns-Amerika (indianen)
Nederland studenten Delft	Latijns-Amerika (overigen)
Nederland kinderen	Noord-Europa
	Midden-Europa
	Oost-Europa
	Zuid-Oost-Europa
	Frankrijk
	Spanje & Portugal
	Noord-Afrika
	West-Afrika
	Zuid-Oost-Afrika
	Midden-Oosten
	Noord-India
	Zuid-India
	Noord-Azië
	Zuid-China
	Zuid-Oost-Azië
	Australië (europes)
	Japan

Tabel 7.2: Lijst met 25 huidige populaties in het programma ANTROTEEK.

De populatie 'Internationaal' is door Jürgens et al. (1989) kunstmatig samengesteld uit de 20 overige populaties, die in Tabel 7.2 na 'Internationaal' staan. De gemiddelde

lichaamslengte van de wereldbevolking zou zodoende op 165 cm komen met een standaarddeviatie van 6 cm; dit betekent dat de gemiddelde DINED-waarde van 172,3 cm in dit wereldmodel een P88 ( $z = 1,21$ ) vertegenwoordigt en de P95 = 188,1 cm uit de DINED komt dan overeen met een  $z = 3,85$  ofwel met de grenswaarde, waarboven er slechts 5 per 100.000 aanwezig zijn.

In de tweede versie van de ANTROTEEK is een nieuwe module toegevoegd; deze maakt het mogelijk van een populatie alle beschikbare variabelen af te drukken op een aantal keren de standaarddeviatie, bijvoorbeeld  $4 * s$  (= 4 keer de standaarddeviatie), indien men een lijst met extreme waarden wil hebben.

produktmaat	mensmaat	kritische percentielwaarde	toeslagfactor
zittinghoogte	knieholtehoogte	P5v - P95m	hak = 35 mm
zittingdiepte	bil-knieholte lengte	P5v - P95m of P5v	minus 50 mm
zittingbreedte	heupbreedte	P95m	kleding = 10 mm
rugleuning hoogte	schouderhoogte zittend	P5v - P95m	kleding = 10 mm
armsteunhoogte	ellebooghoogte zittend	P5v - P95m	kleding = 5 mm
ruimte boven dijbeen	dijbeendikte	P95v	+ 50 mm
horizontale ruimte dijbeen	bil-knieholte lengte	P95m	+ 50 mm
hoogte v. midden lumbaalsteun	taillehoogte = navelhoogte	P5v - P95m	.

Tabel 7.3: Voorbeeld richtlijn in ANTROTEEK ten aanzien van de bureau-stoel.

ANTROTEEK

Nr▶13 elleboog-zitvlak hoogte x̄▶ 238 mm  
s▶ 26 mm

Nr▶14 knieholtehoogte x̄▶ 430 mm  
s▶ 37 mm

Populatie: volwassen Nederlanders(20-60 jr)  
De correlatie r tussen beide maten wordt geschat op 0,65  
Geslacht : ♂ + ♀

Wilt u de maten optellen of aftrekken? (type o of a) ▶ o

De nieuwe standaarddeviatie  $s = \sqrt{(s_1^2 * s_1) + (s_2^2 * s_2) + 2 * r * s_1 * s_2}$

Voor de nieuwe gecombineerde maat 13+14 geldt dan: x̄▶ 668 mm  
s▶ 57 mm

---

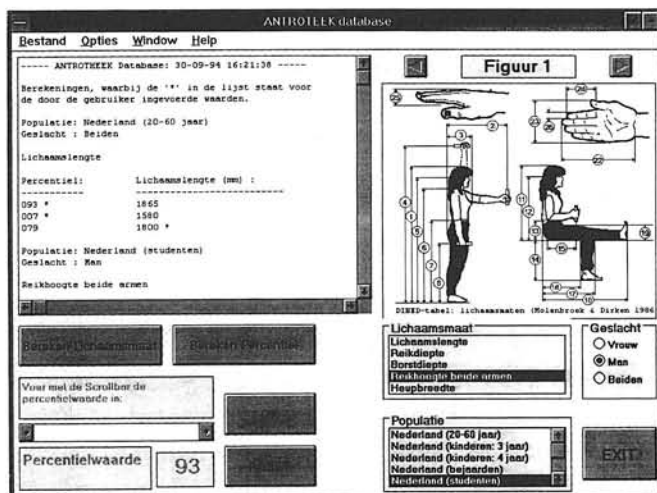
Welke percentielwaarde wilt u gebruiken? (0-100)▶  
of  
Welke afstand wilt u gebruiken? (>0)▶750

De bij deze afstand behorende percentielwaarde = 92  
willekeurige toets--> herhaling van percentiel of afstand

Figuur 7.3: Voorbeeld uitvoer van ANTROTEEK op de vraag naar welke percentielwaarde bij volwassen Nederlanders overeenkomt met 750 mm bij de variabele die bestaat uit de som van de onderbeenlengte en de elleboog-zitvlakhoogte.

Een voorbeeld van het resultaat van een vraag in de ANTROTEEK versie 02 wordt in Figuur 7.3 getoond. Hierbij gaat het om de bepaling van hoeveel procent van de lichaamsmaat 'elleboog-vloer' past bij een tafelhoogte van 75 cm. Het programma

antwoord bij de keuze 'volwassen Nederlandse man + vrouw' en de combinatie van de 'onderbeen lengte + elleboog-zitvlak hoogte' met: 92%. De gebruikte correlatie-coëfficiënt is 0,65 op basis van de keuze van twee lengtematen. Uit de ruwe data bij de proefstudies blijkt dat de elleboog-zitvlak hoogte een maat is, die heel laag correleert ( $r$  is ongeveer 0) met de onder- en bovenbeenlengten. De schatting zal daarom in de volgende versie aangepast worden. Een indruk van de toekomstige user-interface wordt gegeven in Figuur 7.4.



Figuur 7.4: Een eerste gedachte over de user-interface van ANTROTEEK.

## Hardware

Hardware-matig valt er weinig te beschrijven over de ANTROTEEK. Het programma draait op elke personal computer onder MSDOS en beslaat momenteel op schijf minder dan 100 kilobytes. Voor de werking is echter meer vereist indien de correlaties worden toegevoegd. Het gehanteerde besturingssysteem MS-DOS heeft maximaal ruimte voor ongeveer 400 kB dynamisch geheugen; dit is bijvoorbeeld voldoende voor het opslaan van correlatiecoëfficiënten van 250 variabelen bij het gebruik van 6 cellen, met gegevens van verschillende populaties. Bij 10 variabelen zijn er  $\frac{1}{2} n(n-1) = 45$  correlatiecoëfficiënten en is er ongeveer ruimte voor 1000 cellen. De userinterface wordt uitgewerkt als een MS-Windows-applicatie met Visual-Basic.

## 7.5 Evaluatie van de ANTROTEEK

Een aantal ervaren ontwerpers heeft het prototype van het programma gebruikt en van commentaar voorzien. Verder is er in het voorjaar van 1994 met de ANTROTEEK geëxperimenteerd voor de tweedejaars ontwerp oefening van de Faculteit Industrieel Ontwerpen. Hierbij diende een driewiel fiets ontworpen te worden voor kinderen van 3 en 4 jaar.

Dit project wordt afgesloten met een reeks aanbevelingen voor de verder ontwikkeling van de ANTROTEEK.

- 1 Uitbreiding van de variabelen en de bijbehorende meetgegevens, met die van DIN33402 en het Anthropometric Source Book, voorzover deze nog niet aanwezig zijn en bovendien uitbreiding van de gegevens uit bestanden zoals met die van Steenbekkers (1989), Steenbekkers (1993), Snyder (1975) en Snyder (1977).
- 2 Realisatie van de grafische (wellicht MS-Windows) 'userinterface', waarbij bediening met de muis mogelijk is en desgewenst met 'hypertext' of met 'hypermedia' hulp wordt geboden. Dit betekent dus ook dat de anatomische afbeeldingen toegevoegd worden ter verduidelijking van gebruikte begrippen.
- 3 Realisatie van de module die de keuze van de doelgroepen mogelijk maakt. Dit wil zeggen dat er reeds enkele 'cellen' zijn samengevoegd, op basis van een in te stellen gebruikersprofiel. Bijvoorbeeld, zoals op het kubusmodel (Figuur 1.5) uit de inleiding: kinderen, volwassen mannen en vrouwen, ouderen, gehandicapten e.d. Bijvoorbeeld kinderen van 0-5 jaar, 5-10 en 10-15 jaar of volwassenen van 20-60 jaar naast ouderen van 65 jaar en ouder.
- 4 Realisatie van de koppeling tussen de produktrelevante lichaamsmaten, toeslagfactoren en de gegevens van de populaties. Bij het kiezen van 'kantoorstoel' zal dan aangegeven worden welke antropometrisch relevante maten bij dat produkt horen en welke toeslagfactoren (Tabel 7.3).
- 5 Realisatie van een module die de invoer van nieuwe gegevens op uniforme wijze regelt. Hierbij moet gedacht worden aan een scherm, waarbij een serie van standaard vragen over een meetonderzoek worden afgewerkt, zoals bijvoorbeeld de items in de Bijlagen 3.1 en 4.1 en 4.3.
- 6 Realisatie van een module die de uitvoer van de resultaten op diverse wijzen regelt. Dit betekent dat de gebruiker via het afhandelen van een aantal vragen op een scherm, efficiënt zijn eigen uitvoer kan regelen; bijvoorbeeld naar een bestand of naar een printer.
- 7 Realisatie van de werking met 'echte' correlatiecoëfficiënten.
- 8 Toevoegen van de programma's ELLIPS, EXOBS, PROFIEL, PZ en DESCRIPT uit Hoofdstuk 5.

## 7.6 Samenvatting

In dit hoofdstuk wordt de ontwikkeling beschreven van het Antropometrisch Data Systeem. Hiervoor is een computerprogramma ontwikkeld, genaamd ANTROTEEK, dat een hulpmiddel is bij het antropometrisch ontwerpen of bij het beoordelen van consumentengoederen. Bij het afsluiten van dit boek is het nog in het prototype stadium, maar de verwachtingen zijn dat dit programma na circa 12 maanden verdere ontwikkeling gereed kan zijn als een bruikbaar antropometrisch ontwerphulpmiddel bij het Computer Aided Design, maar ook als hulpmiddel voor produktbeoordelaars.

# 8 Evaluatie en suggesties voor verder onderzoek en ontwikkeling

In de voorafgaande hoofdstukken zijn verschillende onderwerpen aan bod gekomen. In dit hoofdstuk zal worden teruggekeken naar het oorspronkelijk doel van het totale project en de daaruit volgende vraagstellingen.

Het doel van deze studie was het maken van een theoretisch overzicht van de variatie in de antropometrische aspecten van de mens-product-interactie en op basis daarvan het ontwikkelen van een antropometrisch informatie systeem, dat bruikbaar is voor de ontwerper en produktbeoordelaar en dat met geringe moeite up-to-date kan worden gehouden.

De wijze waarop we zullen terugkijken naar de voorafgaande hoofdstukken, is door in een kwalitatieve terugblik te beschrijven welke de sterke en de zwakke kanten zijn van de theoretische en van de praktische implicaties van de onderhavige studie. Vervolgens zal een kwalitatieve vooruitblik worden gegeven.

## 8.1 Kwalitatieve terugblik

### 8.1.1 Sterke kanten van de theoretische implicaties

Er is nu een recent overzicht van factoren, waarmee de externe morfologie van het menselijk lichaam samenhangt. Dat de gemiddelde mens niet bestaat, wordt met eigen data opnieuw toegelicht. Wat overheerst is het belang van de intra-individuele variatie en de inter-individuele variatie in de fysieke afmetingen van gebruikers voor het ontwerpen. De belangrijkste vormkenmerken van het menselijk lichaam worden beschreven van de prenatale levensperiode tot en met de ouderdom. Het verheldert hoe belangrijk antropometrie is voor het ontwerpen, beoordelen, aanpassen van en omgaan met alledaagse gebruiksvoorwerpen; dat mensen producten maken om als verlengstuk te dienen voor wat ze niet met hun lichaam zonder meer kunnen, wordt ook ten aanzien van de menselijke maat duidelijk.

Zo wordt geïllustreerd dat antropometrie en veiligheid meer met elkaar gemeen hebben dan alleen de hoofdbreedte versus de ruimte tussen de spijlen van een kinderledikant.

Nieuw is de statistische analyse van de samenhang van lichaamsmaten, waarbij steeds drie verschillende leeftijdsgroepen met elkaar worden vergeleken. Relatief nieuw is eveneens de analyse van de variantie van de proportionering en de nadere bepaling van de mogelijkheden en de beperkingen van de voorspelbaarheid van een lichaamsmaat.

Ook de geldigheid van de normale verdeling bij antropometrische variabelen, inclusief van indices van percentielwaarden, konden verder worden berekend en gewogen.

De beschrijving van het functionele en het data-ontwerp van het antropometrisch informatie systeem is nog betrekkelijk uniek, voor zover bekend, met name omdat de gebruiker van dit ontworpen systeem zowel de gekozen populaties als de gekozen variabelen kan bewerken; verder ook omdat er een wijze van compacte opslag is gevonden, waarbij kerndata per kleinste leeftijdsgroep volstaan ( $\bar{x}$ ,  $s$  en  $r$ ).

Deze studie levert een bijdrage aan de theoretische achtergrond van het industrieel ontwerpen door duidelijk te maken waar in het ontwerpproces en op welke wijze de antropometrie toegepast dient te worden.

### 8.1.2 Zwakke kanten van de theoretische implicaties

Ten aanzien van de morfologie van het lichaam van gebruikers van producten, dient opgemerkt te worden dat, ondanks de veelheid aan bronnen, er toch lacunes mogelijk zijn door onvergelykbaarheid van steekproeven en meetmethoden. Bijvoorbeeld is dit het geval in het vraagstuk van de seculaire groeiverschuiving: hoe veranderen de segmenten over generaties heen? Verder zijn in deze studie geen longitudinale data gebruikt, die de verandering in de tijd per definitie beter zouden weergeven. De invloed van 'nature' en 'nurture' is regelmatig tegen elkaar afgezet, maar veel data over de invloed van de genen op de lichaamsbouw ontbreken; wellicht dat het Humane Genoom Project (Shapiro, 1993) hierop in de toekomst een antwoord geeft. Meer inzicht is nodig over de belangrijke invloed van de 'nurture'.

Er zijn nog weinig data over bijzondere groepen en daardoor kan de vraag ook niet goed beantwoord worden of deze groepen apart staan in de populatie verdelingen.

Door de grote variatie van producten en gebruikers is de menskundige achtergrond voor ontwerptheoriën (voor innovatiever produktconcepten, betere programma's van eisen en nuttiger producten) nog niet zover dat de kritische antropometrische variabelen voor de Mens-Produkt-Interactie gegarandeerd beschikbaar en gekend zijn.

De multivariate geschiktheidsreductie is wiskundig nog weinig inzichtelijk (en voornamelijk nog weinig praktisch hanteerbaar voor meer dan 2 variabelen). Toch is dit een kernprobleem om een produkt voor velen goed te dimensioneren.

In deze studie bleek nogmaals dat factor-analyses voor het theoretisch condenserend sterk afhankelijk zijn van de ingangsdata en er vooral zijn om nieuwe ideeën over een theorie te helpen krijgen.

De data-structuur van de ANTROTEEK is nog niet zodanig uitgewerkt dat verkeerde keuzen van gebruik een goede waarschuwendende terugkoppeling geven.

### 8.1.3 Sterke kanten van de praktische implicaties

#### ontwerpen

Er wordt een bruikbaar overzicht van de antropometrische Mens-Produkt-Interactie



gegeven, waarbij een mens-model (antropometrisch-model) gerelateerd wordt aan een produktmodel, zowel in de fasering van het ontwerpproces, als binnen het produktmodel naar onderdelen. Een recent overzicht van soorten antropometrische modellen met een kwaliteitsbeoordeling kan heel bruikbaar zijn voor ontwerpers.

De DINED-formules zijn experimenteel getest en beter onderbouwd voor verder gebruik, alhoewel nu enkele grenzen van het gebruik wat duidelijker zijn geworden: formules voor het kunnen combineren van populaties en quotiënten van percentielwaarden. De geldigheid van Pz-formules, waarmee de resterende gebruikerspopulatie bepaald kan worden, indien met meer dan één afmeting rekening moet worden gehouden, is experimenteel onderzocht. Evenzo is een methode ontwikkeld waarmee nagegaan kan worden wanneer een scheve verdeling leidt tot onaanvaardbare schattingen op basis van de aanname van normale verdeeldheid.

Ten aanzien van het ontwikkelen van maatsystemen is een computerprogramma ontwikkeld (ELLIPS), waarmee interactief snel en adequaat een twee-dimensionaal maatsysteem ontworpen kan worden. ELLIPS tekent rechthoeken in een bivariate distributieverdeling, die overeenkomen met één maattype, en geeft het percentage gebruikers aan dat binnen en buiten deze rechthoeken (stenen) ligt. Meer dimensionale maatsystemen zijn mogelijk, door aaneenschakeling van verscheidene twee-dimensionale.

Er is een antropometrisch informatiesysteem (ANTROTEEK) ontworpen als een soort elektronische DINED-tabel met onder meer het soort produkt als ingang voor de ontwerper. Vervolgens kan de onderzoeker of innovator van produkten de relevante lichaamsmaten weten en daarna bij een gekozen populatie (of combinatie van populaties) de kritische percentielwaarden laten berekenen. Andere ingangen en combinaties van maten zijn ook mogelijk. In principe is het informatiesysteem zo opgezet dat elke variabele inclusief de leeftijd, als een onafhankelijke kan dienen, bij welke waarden de bijbehorende tweede, nog te kiezen variabele uitgedrukt kan worden in termen van gemiddelde ( $\bar{x}$ ) en standaarddeviatie ( $s$ ). Het programma ANTROTEEK zou als deel van een Computer Aided Design programma kunnen gaan werken, maar ook als zelfstandig programma.

#### **data**

De dataverzameling van nog relatief onbekende populaties heeft zijn nut reeds bewezen, zoals bijvoorbeeld in de Europese normering van schoolmeubilair.

Eén van de toegevoegde waarden van deze datasets bestaat uit de correlatietabellen die voor de ontwerper per soort maat (lengte, breedte, diepte en omvang) zijn opgesteld.

#### **meten**

Bij het on-line gebruik van de antropometer of de meetopstelling wordt een terugkoppeling gegeven over de kans op een onjuiste meting (uitbijter) en een waarschuwing, indien er al voldoende mensen gemeten zijn op basis van de van te voren ingevoerde standaardfout.

Er zijn voorspellingsformules ontwikkeld, om van zittend of liggend gemeten maten de staande te kunnen voorspellen. Dit kan soms handig zijn in kleine ruimten, of bij

onderzoekers met een kleine of een grote lichaamslengte, die gaan meten of bij te meten mensen die moeilijk kunnen blijven staan.

Er zijn meetopstellingen en meetprocedures ontwikkeld voor een grootschalig bevolkingsonderzoek naar antropometrische data voor ontwerprelevante data-banken.

### 8.1.4 Zwakke kanten van de praktische implicaties

Geldig en bruikbaar zijn nog steeds de gegevens van de nationale groeistudie van jongeren van 0-20 jaar, waarbij met name lengte en gewicht is gemeten (Roede en Van Wieringen, 1985) en meer recent het KIMA-onderzoek naar diverse afmetingen van kinderen van 0-12 jaar (Steenbekkers, 1993).

Het ontbreekt echter aan betrouwbare, representatieve data van Nederlandse jongeren en volwassenen boven de 12 jaar, voor wat betreft andere ontwerp relevante maten dan lengte en gewicht.

Functionele data, of formules om deze te schatten vanuit statische antropometrische metingen, behoren ook tot de leemten in het antropometrisch ontwerpgebied. Sommige formules zijn echter nog wel te genereren met behulp van de bestaande gegevensbestanden.

Verder moet geconstateerd worden dat de ANTROTEEK niet af is; het is bij het afsluiten van deze studie een prototype met een goede kans op vervolg. Hierbij dienen de eerder ontwikkelde programma's, zoals ELLIPS, EXOBS, FMULNOR en DESCRIPT gebruiksvriendelijk geïntegreerd te worden, samen met een grafische userinterface.

## 8.2 Kwalitatieve vooruitblik

Allereerst dienen door meer veldstudies de genoemde lacunes in de ontwerprelevante antropometrische Nederlandse gegevensbestanden (kinderen >12 jaar, volwassenen en ouderen, inclusief allochtonen en fysiek gehandicapten) opgeheven te worden. Vervolgens dient de Europese basis versterkt te worden; alle goed gedefinieerde bestanden dienen op uniforme wijze toegankelijk gemaakt te worden. Vooral data van de zuidelijke en oostelijke Europese landen ontbreken en aangezien daar meer dan de helft van de populatie een kleinere lichaamslengte heeft dan het Nederlandse gemiddelde, is er op Europees niveau vooral een lacune in de onderste helft van de verdeling van veel maten. Het groeien naar één markt met intensieve uitwisseling van gebruiksgoederen en componenten ervan, maakt een gemeenschappelijke basis voor het 'op maat maken' ervan extra geboden.

Op korte termijn zou de ANTROTEEK van een gebruiksvriendelijke userinterface moeten worden voorzien.

Alle volgende veldstudies zouden bij voorkeur moeten gaan meten conform NEN-EN979, zodat uitbreiding van de ANTROTEEK adequaat kan gebeuren.

Naast het vervolmaken van een Europees antropometrisch gegevensbestand, dient ook studie gedaan te worden naar de koppeling met andere computerprogramma's, zoals ADAPS en naar de integratie binnen een ontwerp pakket.

In de nabije toekomst zal het meetproces ook vereenvoudigd kunnen worden, indien men gegevensbestanden van laserscanners kan reduceren tot antropometrische modellen. Bijvoorbeeld zal een goed antropometrisch model voor de arm-hand in betekenis toenemen voor produktontwerpers. Een andere bron van inzicht is waarschijnlijk te vinden in de wiskundige beschrijving van de vorm en afmeting: de morfometrie. Zie onder meer Thompson en Moggi-Cecchi, 1994.

Om een indruk te geven hoe het ontwerpproces er over enkele jaren zou kunnen uit zien, wordt aan het volgende beeld gedacht.

### Toekomstgedachte Antropometrisch Ontwerpen

Een ontwerper wil een autostoel ontwikkelen voor een bepaalde auto, waarvan hij/zij de globale ontwerpeisen reeds in zijn computer heeft zitten. Hij gebruikt daarvoor een computerprogramma, dat veel data kan koppelen aan het ontwerpproces en waarmee hij zijn gedachten ook in ruwe vorm kan afbeelden, zoals beoogd wordt in (Vergeest et al., 1990; Vergeest, 1992; Vergeest en Wiegers, 1994; Vroom, 1994a en Vroom, 1994b). Het programma vraagt naar de beoogde doelgroep. Dit worden bijvoorbeeld de actieve senioren in Europa. Vervolgens genereert het programma op basis van de gegevens uit de ANTROTEEK een viertal ADAPS-manikins (Hoekstra, 1994; Ruiten, 1993b), die als kritische gebruikers gezien kunnen worden (bijvoorbeeld een kleine, een grote, een endomorfe en een ectomorfe gebruiker).

Voor elk antropometrisch probleem is de uitgangshouding, waarin de taken zullen worden uitgevoerd van groot belang. Vandaar dat ogen, hielen en heupcentrum van de manikin steeds gepositioneerd worden ten opzichte van punten die in normen ten opzicht van de cabine vastliggen: het design-eye point, het heelpoint en het seat-reference point. De ontwerper kan dan veel sneller werken dan nu via een mondelinge instructie aan een proefpersoon met een Virtual Reality kostuum aan (Smets et al., 1993), zodanig dat houding en beweging van die persoon simultaan meebewegen met de houding en beweging van de manikin in het tekenprogramma. Reikalgoritmes voor handen en voeten worden door het programma getekend in drie dimensies. Bliklijnen en zichtvelden kunnen opgeroepen worden, om te verifiëren of de betreffende manikin wel kan zien wat gezien zou moeten worden (Hoekstra, 1994). Bijvoorbeeld lange bestuurders in een kleine auto dienen de verkeerslichten boven de weg te kunnen zien vanaf de stopstreep. Ook is het mogelijk de manikin een beperking (een handicap) mee te geven, zodat adequate compensatie door een aangepaste bediening kan worden ontworpen.

Van elk van deze manikins worden in een aan de manikin dynamisch gekoppeld 'rekenblad', de relevante antropometrische en biomechanische gegevens getoond ter verificatie aan de literatuur en programma's van eisen. Dit betekent onder meer lichaamssegmentparameters, zoals afmetingen, massamiddelpunten en massa's.

Hierdoor kan het programma de bijbehorende vrij-lichaams-diagrammen genereren, indien de manikin in een bepaalde houding wordt geplaatst. Optimalisatie van krachten en houdingen kan dan geschieden door interactief gebruik van de genoemde faciliteiten. Hierbij moet gedacht worden aan die houdingen die kritisch kunnen zijn voor het uitoefenen van de functie van het autorijden. Het programma vergelijkt de maten, krachten, houdingen en bewegingsmogelijkheden van de manikin met die van het stoelontwerp en houdt rekening met de benodigde bewegingen en krachten voor bedieningsmiddelen en het vereiste zicht volgens de vigerende ISO of CEN-normen. Het ingebouwde expertsysteem signaleert, wanneer het ontwerp van de autostoel onvoldoende is aangepast aan de eigenschappen van de manikin, of geeft aan hoe groot het percentage gebruikers is welke uitgesloten wordt van comfortabel of veilig gebruik.

Hierdoor kan de ontwerper op eenvoudige wijze de versteltrajekten van de zitting, rugleuning en armsteun bepalen, om het percentage gebruikers dat uitgesloten wordt, zo klein mogelijk te maken. Een speciale faciliteit is het optimaliseren van de vorm en de mate van indrukbaarheid van de stoel van de bestuurder. Het concept van zo'n meetsysteem is reeds in ontwikkeling (Moes and Hulten, 1990). Het programma geeft real-time aan, wat de drukverdeling is ten gevolge van de Mens-Produkt-Interactie. Zo zal de druk rondom de uitstekende botpunten van het skelet wat hoger zijn dan gemiddeld, zoals bij de zitknobbels, bovenrand bekken en schouderbladen; maar ook bij de knieholte, met name als er kracht op de pedalen wordt uitgeoefend. Met kleurcodering is zo aan te geven op welke plekken van het menselijk lichaam een ontoelaatbare hoge druk ontstaat tijdens de uitvoering van de test, waarbij een groot aantal mogelijke handelingen door de Virtual Reality-proefpersoon (manikin) wordt uitgevoerd. Op deze wijze kunnen kostbare mockup tests worden voorkomen.

Het definitieve ontwerp kan vervolgens gepresenteerd worden in diverse vormen: data voor een freesmachine om er een dummy van te frezen, data voor tekeningen van diverse aanzichten en doorsneden, die voor de productie van de nulserie nodig kunnen zijn. Het moge duidelijk zijn dat de reële argumenten voor bruikbaarheid en verkoopbaarheid hier tegelijkertijd worden geobjectiveerd en geëxpliciteerd.

#### **elektronisch loket**

Voor produktbeoordelaars, die slechts af en toe een lichaamsmaat nodig hebben, zou een hoogwaardig voice response systeem (zoals van Telecats uit Enschede) een goed alternatief zijn, waarmee de gebruiker via de telefoon langs de menustruktuur van de ANTROTEEK wordt geleid en tot de juiste antropometrische richtlijn komt (Kuitert, 1994). De gebruiker wordt hierbij met behulp kunstmatige spraak langs allerlei keuzes gebracht tot een antropometrische richtlijn.

## Slot

Het op maat maken, blijkt nog steeds een belangrijke opgave bij het produktontwerp. Dit is opmerkelijk in een tijd dat miniaturisatie van produkten en het inbouwen van intelligentie sterk in de belangstelling staan en bijna doen vergeten dat ons lichaam

ruimte en houdingen inneemt, waaraan aanpassing van het produkt niet altijd eenvoudig is. Dit geldt niet alleen voor kleding, ondersteuningsmiddelen, handvatten en kleine verblijfsruimten, maar ook voor orthesen zoals brillen en hoorapparaten en bij beeldschermwerkplekken of geldautomaten.

De grote variatie tussen personen in externe lichaamsvormen, zowel in meer statische, als meer dynamische aspecten, blijft een interessante uitdaging voor ontwerpers die, als goede professionals, inderdaad hun produktontwerp een menselijke maat willen meegeven en daarbij aan de doelmatigheid, comfort en veiligheid in de verschillende gebruiksfases steeds betere kansen geven. Het realiseren van de menselijke maat van duurzaam gebruiksgoed begint een duidelijker basis te krijgen en excuses, voor daarin tekortschieten, zijn in afnemende mate aanvaardbaar. De fysieke ergonomie begint een redelijk inzicht en overzicht te leveren en voor ontwerpers beschikbaar te stellen in de vorm van data, kwalitatieve en kwantitatieve principes, criteria en richtlijnen. Dit geldt vooralsnog meer voor de antropometrie dan voor de biomechanica maar ook, zoals hiervoor behandeld, moet daar nog veel worden doorworsteld en verzameld.

In dit boek is duidelijk gebleken dat de antropometrische ergonomie voor de ontwerper meer kan en moet zijn dan enkele eenvoudige recepten. Het is onvermijdelijk - en loont ook de moeite voor produktkwaliteit - dat de ontwerper ook inzicht heeft in de maten van het lichaam, waarop een goed produkt wordt maatgegeven. Dat inzicht blijkt in de praktijk een belangrijker functie te hebben dan alleen de maatdetailering van produktideeën; het blijkt een bron van ideeën voor verbeterde en nieuwe produkten! Vele lichaamsfuncties kunnen met nieuwe, te bedenken technische produkten alsnog worden geholpen en vele gebruikersgroepen hebben nog niet voldoende in de ontwerpbelangstelling gestaan. De ontwerpergonomie en daarbinnen de antropometrie, zullen naar verwachting een belangrijke taak houden bij het mens-gericht ontwerpen van alledaagse technische hulpmiddelen voor consumenten en beroepsbeoefenaars.



# Samenvatting

## Inleiding

Deze studie gaat over de relatie tussen antropometrie en industrieel ontwerpen. Antropometrie is de studie naar de menselijke maat en industrieel ontwerpen concentreert zich op duurzame producten waar gebruikers veel en intensief mee omgaan. Geconstateerd is dat ontwerpers en beoordelaars van duurzame consumentengoederen en professionele apparatuur slechts op gebrekkige wijze over gegevens van menselijke lichaamsafmetingen (kunnen) beschikken en ze te weinig (kunnen) gebruiken. 'Gebrekkig' dient gezien te worden in relatie tot de kritische functie van lichaamsmaten voor comfort, veiligheid en efficiëntie en tot de toenemende antropometrische kennis. Mogelijke oorzaken van deze problematiek zijn onbruikbare tabellen, onjuistheid van data en onkunde van ontwerpers.

Het doel van deze studie is het geven van een theoretisch overzicht van en inzicht in de variatie van de antropometrische aspecten van de Mens-Produkt-Interactie en op basis daarvan het ontwikkelen van een antropometrisch informatie systeem, dat bruikbaar is voor de ontwerper en produktbeoordelaar en dat met geringe moeite bijgehouden kan worden.

De algemene lijn in deze studie is dat er een antropometrisch informatiesysteem is ontwikkeld, via een uitgebreid literatuuronderzoek, drie proefstudies, een overzicht van een aantal statistische bewerkingsmethoden en een ontwerp van een semi-automatische meetopstelling. Hierna volgt hoofdstuksgewijs een samenvatting.

### Hoofdstuk 1: Inleiding

Welke antropometrische gegevens moeten minimaal gekend en gemeten worden die ontwerpers en beoordelaars willen c.q. behoren te weten? Het algemeen belang van antropometrie voor industrieel te vervaardigen gebruiksgoederen wordt uitgedrukt in termen van comfort, veiligheid en doeltreffendheid en wordt in een historisch perspectief geplaatst.

Gebruiksvoorwerpen werden vroeger gewoonlijk op maat en als enkelstuks gemaakt doordat de maker (=ontwerper) en de gebruiker elkaar kenden. De maat kon ter plekke geconstateerd worden. Als het niet paste of de gebruiker kon het werktuig niet bedienen, dan werd het aangepast. Om lengten te meten, gebruikte men als standaard enkele lichaamsmaten, zoals de breedte van de duim of van de hand of de lengte van de el. De el was de elleboog-vingertop lengte van volwassenen, die volgens de huidige

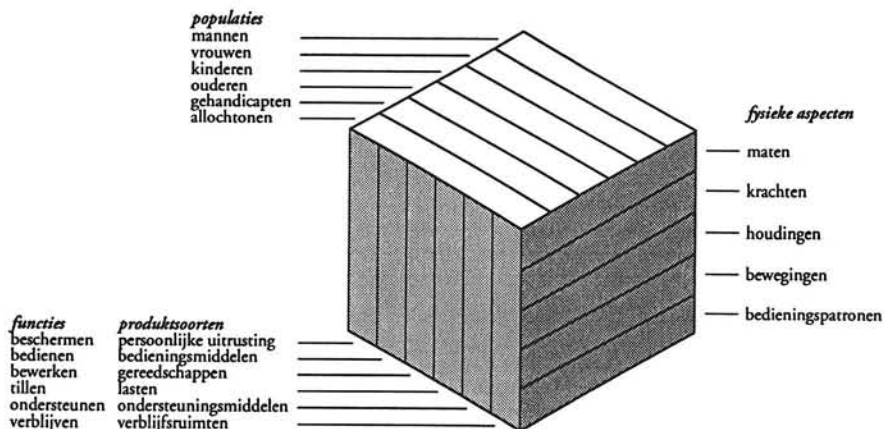
maatstaven een spreidingsbreedte heeft van ongeveer 48 tot 54 cm. Toen men begon kleine series te produceren, gebruikte men bij gebrek aan maatsystemen, 'vuist' regels om een passend produkt te maken en aan te schaffen. Bijvoorbeeld bij het kopen van een sok op de markt gold de vuistomtrek als maat voor de zoollengte. Door het ontstaan van de serieproduktie werd vervolgens een andere benadering nodig. De maker en de ontwerper zijn verschillende personen geworden en beiden kennen ze de toekomstige gebruiker als regel niet meer. De 'vuist'-regels houden onvoldoende rekening met de spreiding van de menselijke maat. Nu dient men steekproefsgewijs de spreiding van relevante maten te bepalen, om daarmee een schatting van de spreiding binnen de populatie te maken. Bovendien dient de maker te bedenken, wie de kritische gebruiker is, op wiens eigenschappen het produkt moet worden afgestemd, maar wel zodanig dat de overige gebruikers er ook gebruik van kunnen maken.

Enkele voorbeelden geven aan dat dit niet steeds gebeurt: het politie-pistool dat voor vrouwen te groot was, schoenen en uitrusting voor militairen die te krap waren en wie kent niet de problemen bij het vinden van de juiste maat, indien een produkt instelbaar is, zoals een fiets of verstelbaar is zoals een kantoorstoel. Een ander aspect van het algemeen belang wordt gevormd door veiligheid in relatie tot de menselijke maat. Per jaar komen er in Nederland, bijvoorbeeld in de categorie 'in en om het huis' 2,5 miljoen ongevallen voor, die medische behandeling vergen en waarbij een produkt vaak aanleiding, dan wel oorzaak is. Bij een deel daarvan speelt de menselijke afmeting een essentiële rol: de afstand tussen de spijltjes van een box of een kinderledikant versus de hoofdbreedte van een kind, de grootte van de aantrede of de breedte van een noodtrap versus de lengte en breedte van een schoen, de pinkbreedte van een kind versus de opening in een ventilatierooster, enz. Er zijn wetten en normen in dit verband, waarbij het adequaat gebruik (kunnen) maken van antropometrische gegevens, nodig is, zoals het Speelgoedbesluit; het Jambesluit, in verband met het openen van deksels; het Bouwbesluit, in verband met doorgangen.

Economisch gezien is antropometrie van belang vanwege het kunnen beperken van materiaalverlies bij produktontwikkeling, zoals bij meubilair, indien de ontwerper de juiste maat heeft gebruikt. De menselijke maat speelt ook een rol bij andere zaken, zoals bijvoorbeeld bij grote evenementen (hoeveel mensen gaan er in een stadion, hoeveel ruimte is er nodig in het openbaar vervoer e.d.). Antropometrie speelt soms secundair een rol bij produkten, indien de doorgang of verblijfsruimte in of op een ander produkt van belang is: kinderzitjes, kinderreiswiegjes, rolstoelen, maar ook rugzakken in de trein, vliegtuig en auto e.d. Een kubus-model illustreert de plaats van de antropometrie binnen het werkgebied van de fysieke ergonomie van het industrieel ontwerpen.

Het algemeen belang van de antropometrie en van een adequaat informatiesysteem voor ontwerpers en beoordelaars van gebruiksgoederen is hiermee voldoende aangetoond. Hierna wordt een overzicht gegeven van de variatie in de antropometrische aspecten van de Mens-Produkt-Interactie.





## Hoofdstuk 2: Variatie in menselijke vorm en afmeting

Kennis over variatie van de Mens-Produkt-Interactie (MPI) is nodig om die MPI te kunnen optimaliseren. Via een literatuuronderzoek is het verloop van de vorm en afmeting van de buitenzijde van de mens in kaart gebracht van eicel tot hoogbejaarde. Hiervoor is kennis vergaard vanuit diverse wetenschappelijke disciplines: fysische antropologie (de studie van de fysische en in het bijzonder de fysieke kenmerken van het menselijk lichaam), embryologie (de biologie van het menselijk wezen voor de geboorte), auxologie (de studie van de groei van organismen) en gerontologie (de studie van de veroudering van organismen). In deze literatuur werden diverse factoren gevonden, die van invloed zijn op of samenhangen met vorm en afmeting van het menselijk lichaam. Veelal vindt er een indeling plaats naar drie categorieën van factoren voor die morfologie:

- intra-individueel (variatie binnen een persoon in de loop van de tijd): leeftijd, ziekte, houding;
- inter-individueel (variatie tussen personen): geslacht, leeftijd, etniciteit, beroep e.d.;
- seculaire factoren (variatie tussen verschillende geboortegroepen, ofwel cohorten, van dezelfde populatie): sociaal economische status, woonplaats, klimaat e.d.

Men neemt meestal de verandering van de gemiddelde lichaamslengte van 20-jarige jongens als maat voor de seculaire groeiverschuiving.

In deze studie zijn deze drie typen van factoren in bovengenoemde disciplines onderzocht en ingedeeld in twee categorieën: voor het ontwerpen belangrijke en overige factoren.

De belangrijkste factoren in relatie tot het industrieel ontwerpen blijken te zijn: leeftijd, geslacht, etniciteit, lichaamsbouw en lichaamshouding. Kleding en schoeisel, ziekte en handicap zijn van enig belang, doch hebben een secundaire betekenis.

### leeftijd

De factor leeftijd heeft, zoals evident is veel invloed op de bestaande variatie in vorm en

afmeting van het menselijk lichaam. Dit blijkt onder meer uit het speciale onderzoeksgebied naar de groei van de mens (auxologie). Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar longitudinaal en transversaal onderzoek. Bij longitudinaal onderzoek wordt een groep kinderen (cohort) gedurende een bepaalde tijd regelmatig gemeten, waardoor men heel precies de individuele groei kan bestuderen. Dit is kostbaar en vergt langdurig onderzoek, dat met name van belang is voor de ontwikkeling van maatstaven voor medische beoordeling van de individuele groei. Bij transversaal onderzoek worden kinderen van verschillende opeenvolgende leeftijdsgroepen binnen een kort tijdsbestek (enkele weken of maanden) gemeten. Indien de meetprocedures dezelfde zijn, kunnen door vergelijking van twee overeenkomstige transversale onderzoeken de seculaire groeiverschuivingen worden bepaald en wordt tevens een recent beleid verkregen van de kenmerken van verschillende leeftijden.

In Nederland is de seculaire groeiverschuiving van de lichaamslengte de afgelopen 150 jaar positief geweest. Gedurende de periode 1965-1980 was deze het hoogst, 4 cm bij 20-jarige mannen, maar in de periode van 1980-1992 is deze weer gedaald tot het niveau van voor de oorlog, ongeveer 1 cm per 10 jaar.

Een en ander leidt tot de conclusie ten aanzien van de factor leeftijd dat antropometrische data als onderzoeksresultaten steeds afhankelijk van de leeftijd gepresenteerd dienen te worden. De volgende zes globale leeftijdsbijpalen van embryo tot oudere (met Nederlandse, huidige gemiddelden) kunnen daarbij gebruikt worden, tevens om een totaalbeeld van de fysieke ontwikkeling te verkrijgen:

meisje	leeftijd	lengte	gewicht
embryo	tot 8 weken*	4 cm	2-10 g
foetus	tot 40 weken*	51 cm	3,3 kg
kind	tot 11 jaar	147 cm	36 kg
adolescent	tot 17,5 jaar	168 cm	59 kg
volwassen	tot 65 jaar	157 cm	68 kg
senior	65+	154 cm	63 kg

jongen	leeftijd	lengte	gewicht
embryo	tot 8 weken*	4 cm	2-10 g
foetus	tot 40 weken*	51 cm	3,3 kg
kind	tot 13 jaar	158 cm	43 kg
adolescent	tot 19,5 jaar	182 cm	71 kg
volwassen	tot 65 jaar	168 cm	68 kg
senior	65+	166 cm	67 kg

\* = *in utero, groei in de baarmoeder*

Omdat de meeste produkten en werkplekken antropometrisch gezien nog voor de jonge gezonde man worden ontworpen, zijn met name vrouwen, kinderen en ouderen benadeeld.

#### geslacht

De factor 'geslacht' heeft een dualistisch karakter: mannen en vrouwen, voor wie apart

gegevens gepresenteerd dienen te worden, zoals in de biologie gebruikelijk is. Een busbank en vele andere consumenten-goederen worden echter niet voor alleen vrouwen of alleen mannen ontworpen, maar voor beiden. De klasse 'mannen en vrouwen' samen in elke mogelijke verhouding is daarom voor ontwerpers van belang en volgt uit berekening. Een probleem doet zich hierbij voor dat er in de literatuur veel minder data over vrouwen beschikbaar zijn.

### **etniciteit**

Hiermee wordt in deze studie het land van herkomst (eventueel van de ouders) bedoeld. Deze factor hangt enigszins samen met vorm en afmeting van het menselijk lichaam, met name via de achterliggende sociaal economische omstandigheden. Een bekend verschijnsel hierbij is de inhaalgroei, die optreedt als mensen emigreren van een arm naar een welvarend land. De factor etniciteit kan tot gevolg hebben dat per (sub-) populatie de data apart gepresenteerd moeten worden, bijvoorbeeld voor een bedrijf waar alleen mensen van die populatie werken, zodat de machines daaraan aangepast kunnen worden, of men denke aan de hanteer- en bereikbaarheid van geldautomaten voor toeristen.

### **lichaamsbouw**

De factor 'lichaamsbouw' is als aanduiding van de totaalvorm van groot belang, zodat correctie-factoren gewenst zijn (per activiteiten groep, beroep of sport) voor enkele figuurtypen. Een veel gebruikte index voor lichaamsbouw is de Quetelet-index (gewicht in kg, gedeeld door het kwadraat van de lengte in m), die sterk samenhangt met de aanwezige hoeveelheid lichaamsvet (mager is  $QI < 20$ , gezond gewicht  $20 < QI < 25$ , overgewicht  $QI > 25$ ). Samen met de taille/heup ratio (normaal  $0,75 < T/H < 0,85$ ), die aangeeft op het vet op de buik of op de heup zit, zou men de combinatie van beide indices goed kunnen gebruiken als moderne voorspellers voor de lichaamsbouw in plaats van de vroegere Sheldon-typologie.

### **voeding**

De factor 'voeding' heeft een moeilijk voorspelbare invloed op antropometrische data en is voor het ontwerpen niet direct relevant, mede omdat de factor lichaamsbouw wel in ogenschouw wordt genomen.

### **seculaire groeiverschuiving**

De factor 'seculaire groeiverschuiving' oefent op het gebruik van een produkt met een korte levensduur geen invloed uit, mits recente antropometrische data zijn gebruikt. Voor produkten met een lange levensduur zou een voorspellingstheorie wenselijk zijn. De ontwerper dient er ook mee rekening te houden in geval van een gebruikersgroep die uit verschillende generaties bestaat.

### **sociaal-economische status**

De 'sociaal-economische status' (SES), te benaderen via inkomen, opleiding en beroep, vertoont invloed, die met een correctiefactor zou kunnen worden aangegeven. Dit betekent dat, indien ontworpen wordt voor een bepaalde SES-groep, men bij een standaard antropometrische richtlijn een extra factor zou kunnen toevoegen. Dit heeft bijvoorbeeld tot gevolg dat in het ideale geval kleedkamers voor basketbalspelers ingericht zouden zijn op grotere maten dan voor tafeltennisspelers en dat men bij

autostoelen voor het 'Viva-publiek' op smallere maten rekent dan bij autostoelen voor heftruckchauffeurs. Voor dit soort specificaties dient er nog nader onderzoek te gebeuren.

#### **kleding**

De factor 'kleding en uitrusting' verdient nader onderzoek, zodat beter vaststaat hoeveel breder, langer of hoger de maten worden, of de bewegingsmogelijkheden van ledematen kleiner worden ten gevolge van kleding. Denk bijvoorbeeld aan invloed van schoenen op het bedienen van pedalen, hakken op kijkhoogte, valhelm op blikveld.

#### **omgeving**

De factor 'omgeving' (hoogte, klimaat en regio van herkomst) hangt via de factor 'etniciteit' samen met antropometrische data en verdient vanuit het belang van het produktontwerpen weinig directe aandacht.

#### **lateraliteit**

De factor 'lateraliteit', verwijzende naar verschillen tussen de linker- en de rechterhelft van het lichaam, heeft blijkbaar weinig invloed op vorm en afmeting van de mens, maar wel op het functioneren en stelt dus wel eisen aan de wijze van bediening van het produkt (bijvoorbeeld links- en rechtshandigheid ten aanzien van het bedienen van een schaar).

#### **etmaalsritme**

De factor 'etmaalsritme' is voor het produktontwerpen niet voldoende relevant, behalve om tot een richtlijn in algemene zin te komen: rekening houden bij jongvolwassenen met inzakking van enkele centimeters van ochtend tot avond. Bijvoorbeeld een achteruitkijkspiegel in een auto dient daarvoor bijgesteld te kunnen worden.

#### **ziekte**

De factor 'ziekte' oefent wel degelijk invloed uit in samenhang met de lichamelijke beperking, die die ziekte veroorzaakt. Dit dient, ondanks enkele gegevens in de literatuur, nog nader onderzocht te worden. Momenteel lenen deze groepen van zieke of gehandicapte gebruikers, zich steeds meer, tot een groepsbenadering ( $\bar{x}$ ,  $s$ ) ondanks grote inter- en ook intra- individuele variantie. De overige zieke of gehandicapte gebruikers zullen toch nog van een geïndividualiseerde ontwerpaanpassing gebruik moeten maken.

#### **hormonen**

De factoren 'genen en hormonen' oefenen hun invloed uit via eerdergenoemde factoren en hoeven daarom niet apart in rekening te worden gebracht.

#### **houding**

De factor 'houding' heeft een zo grote invloed dat, of per gewenste houding gemeten moet worden (functionele metingen), of via statische maten een functioneel antropometrisch model gebruikt dient te kunnen worden. Met behulp van de lichaamsmaat 'reikwijdte voorwaarts', is te illustreren welke invloed de houding op zo'n maat heeft. In de literatuur zijn hiervoor diverse definities bekend: reikwijdte voorwaarts in standaard rechtop houding, maar ook met een aantal variaties met zijwaarts en voorover gebogen romp.

### Hoofdstuk 3: Antropometrische produktmodellen

In dit hoofdstuk worden antropometrische data in modellen geplaatst, om meer inzicht te krijgen in soorten data en in de fasen van het ontwerpproces, waarin men die data het beste kan gebruiken. Het begrip 'Antropometrisch model', soms in de literatuur ook wel 'Mensmodel' genoemd, en de begrippen 'Produktmodel' en 'Antropometrisch Produkt Model' worden gintroducteerd.

Er wordt onderscheid gemaakt in vier typen antropometrische modellen: tabellen, tekensjablonen, computermensmodellen en proefpersonen. Van elk wordt een overzicht gegeven van de beschikbaarheid en de kwaliteit, zoals geconstateerd in eerder verricht onderzoek. Geconcludeerd wordt dat de ontwerper bij het ontwerpen of de beoordeling dient te beschikken over functionele, antropometrische data, die relevant zijn voor Mens-Produkt-Interactie (MPI) van de juiste gebruikersgroepen. De toepassing van die data geschiedde liefst op interactieve wijze en voldoende nauwkeurig. Daarom dienen er meer en betere data te komen, totaal- en segmentmaten, statisch en functioneel, van de volwassen Nederlanders, maar ook van ouderen en kinderen van 12-20 jaar. Er is behoefte aan een vierde nationaal groei-onderzoek; er is ook behoefte aan meer data over gehandicapten en allochtonen.

Produktmodellen (een schets, een computer tekening of een prototype) zijn essentieel bij de ontwikkeling van een produkt. Het efficiënt omgaan met het juiste Produkt-model vergt ervaring en/of voorkennis. Zonder een adequaat antropometrisch model, dat dus de relevante kenmerken van de gebruiker van dat produkt aangeeft, heeft de ontwerper echter weinig baat bij het gebruik van een Produkt-model.

Een ergonomisch ideaal Antropometrisch Produkt-model stelt de kenmerken van mens en produkt bijeen en geeft het inzicht in de wenselijkheden en mogelijkheden van aanpassing voor een betere MPI. Dat vergt een technische combinatie, waarbij zowel een 2D-of een 3D-manikin snel moet kunnen worden getekend en wel binnen het CAD-pakket (CAD=Computer Aided Design), waarmee het Produkt-model getekend is. Het zou moeten aangeven waar in het Produkt-model MPI (Mens-Produkt-Interactie) plaatsvindt en waar verbetering nodig is. Een expertsysteem dient voortdurend toelichting te geven over de ergonomische feiten en misverstanden. Voor presentatiedoeleinden is een schaalmodel gewoonlijk wenselijk en kan een koppeling met een vervaardigingsmachine dienstig zijn. Een andere wijze van presenteren zou een verdergaande computer-animatie kunnen zijn.

Voor de ontwerper en produktbeoordelaar is het van groot belang om binnen de talrijke antropometrische modellen het kaf van het koren te kunnen onderscheiden. Daarom is een maat voor kwaliteit van de gepresenteerde antropometrische modellen zinvol. Deze wordt aangegeven door middel van een beschouwing over validiteit, meetbetrouwbaarheid en operationaliteit.

Inzicht in het antropometrisch ontwerpproces wordt gegeven aan de hand van de fasering in het ontwerpen van een stoel. Via een gedachte in het hoofd van de ontwerper, een maatschets, een computermodel, een werktekening en een prototype, komt het definitieve ontwerp tot stand. Hierbij is steeds interactief getoetst of het

bijbehorende antropometrisch model aanleiding tot verbeteringen gaf. Elke antropometrische richtlijn binnen dit proces komt tot stand via de volgende stappen:

- 1 van de demografische kenmerken van de doelgroep;
- 2 vaststellen van de lichaamshouding en de te verrichten taken;
- 3 vaststellen van de relevante mens- en produktmaten en de eventuele toeslagfactoren;
- 4 vaststellen van de te gebruiken antropometrische modellen, al dan niet na bewerking of na het verrichten van eigen metingen.

## Hoofdstuk 4: Proefstudies

In dit hoofdstuk worden de eigen data beschreven, die in het kader van deze studie bepaald zijn en in Hoofdstuk 5 worden toegepast bij de statistische bewerkingen van antropometrische data.

Bij deze drie, niet voor Nederland representatieve, steekproeven wordt ingegaan op de keuze van de variabelen, de meetmethode en de aard van de variabelen.

De behandeling van deze data heeft nut bij diverse vraagstellingen:

- 1 het onderzoeken van de juistheid van statistische bewerkingen;
- 2 het construeren van antropometrische modellen;
- 3 het ontwerpen en beoordelen van produkten en werkplekken;
- 4 het opstellen van normen en richtlijnen;
- 5 het ontwikkelen van meetmethoden.

Het gaat om de proefstudies bij de 350 Delftse kinderen, 354 Delftse studenten en de 822 bejaarden van de Haagse Gemeentelijke Dienst voor verpleging en verzorging. De lichaamsafmetingen, die gemeten zijn, varieerden in maat en soort.

Deze drie groepen (kinderen, jong volwassenen en ouderen) zijn gemeten, omdat bij de aanvang van deze studie, in de ergonomie daarover weinig bekend was.

Naast het presenteren van de standaard statistische grootheden van elke gemeten variabele is ook veel aandacht besteed aan de onderlinge samenhang, zowel binnen elke steekproef als tussen de steekproeven bij een aantal gelijkgedefinieerde variabelen. Hiermee krijgt de lezer/ontwerper meer inzicht in de soms geringe verschillen tussen de steekproeven, ondanks het aanwezige leeftijdsverschil. Ook is getracht de ontwerpers een richtlijn te geven voor de te gebruiken correlatiecoëfficiënten per soort lichaamsmaat (lengte-, breedte-, diepte- en omvangsmaten). Op de huidige DINED-tabel staat al een schatting hiervoor, maar bij deze proefstudies konden deze schattingen worden geverifieerd en verder gedifferentieerd.

De opgedane ervaring en de verkregen data zijn inmiddels bij diverse projecten in het bedrijfsleven gebruikt. Bijvoorbeeld bij het GMD-project 'kinderrolstoelen', bij het KIMA-project, waar een landelijk representatieve steekproef van kinderen werd gemeten, bij het bouwen en inrichten van drie verzorgingshuizen van de Gemeentelijke

Dienst voor Verpleging en Verzorging te Den Haag en bij talrijke meubelontwerpen voor ouderen, maar ook bij het ontwerpen van een nieuw ADAPS-bejaarden-manikin.

## Hoofdstuk 5: Statistische bewerking van antropometrische data

Statistiek en demografie zijn altijd al nauw verwant geweest via de volkstellingen. In de grijze oudheid diende zo'n volkstelling om vast te stellen hoeveel soldaten en belasting een bepaald gebied kon opleveren.

Voor het industrieel ontwerpen is statistiek van belang bij het beschrijven van de kwaliteit en kwantiteit van de serieproductie waar het zich op richt, maar meer nog bij het beschrijven van de (demografische) kenmerken van de doelpopulatie waarvoor ontworpen wordt. De frequentie van het gebruik van produkten en het vóórkomen van die gebruikerskenmerken is van groot belang voor de industrieel ontwerper.

Antropometrisch gezien is het daarbinnen interessant te weten hoe de verdeling van de kritische maten betreffende het produktgebruik is en welke menselijke kenmerken eventueel maatindifferent zijn. Voor twee bekende serieprodukten, de bril en de schoen, wordt beschreven welke de demografische en de antropometrische aspecten zijn in Nederland. In de volgende tabel wordt weergegeven welk soort maatsysteem (op maat van de individuele gebruiker, meer typen voor een groep gebruikers, één type voor iedereen, verstelbaar of instelbaar) gebruikelijk is bij enkele gangbare produkten.

produkttype	1 op maat	2 meer typen	3 één type	4 verstelbaar	5 instelbaar
ondersteuningsmiddel	race fiets	schoolmeubel	straatmeubel	kantoorstoel	rolstoel
verblijfsruimte	race auto	auto	telefooncel	zitruimte auto	rolstoelkeuken
bedieningscomponent	wedstrijd- biljartkeu	handvat wandelstok	knoppen in telefooncel	fietsversnelling	fietszadelhoogte
last	rugzak astronaut	koffer	boodschappenkrat	rugzak	baby draagzak
gereedschap	strijkstok	oorspuit	aanwijsstok	verrekijker	schaaf
persoonlijke uitrusting	prothese	schoen	zonnebril	binnenhelm	broekriem

*Overzicht van produktvoorbeelden per ontwerptype ingedeeld naar antropometrisch ergonomische functies.*

Het meten, analyseren en voorspellen van diverse demografische grootheden gelijken op het meten, analyseren en voorspellen van de menselijke afmetingen van een populatie. Door onderlinge samenhang van de grootheden is het mogelijk binnen bepaalde marges voorspellingen te doen van moeilijk te meten variabelen, bijvoorbeeld het voorspellen van de 'knijskracht' uit de 'handbreedte' plus de 'onderarmomvang'.

In diverse fasen van het ontwerpproces komen statistische vragen naar voren. In de categorieën A tot en met E, zijn totaal 14 vraagstukken geformuleerd, waarvan 12 beantwoord zijn:

**A Bij het gaan ontwerpen**, waarbij globale antropometrische gegevens nodig zijn, om te kunnen bepalen, welke de afmetingen van het produkt zullen zijn. Hierbij spelen een bijzondere rol de normale verdeeldheid en de mogelijkheid om variabelen en populaties te kunnen bewerken met operaties zoals optellen en aftrekken.

- 1 Het al dan niet 'normaal' verdeeld zijn van een lichaamsmaat blijkt het beste door de  $a_3$ -de scheefheid weergegeven te worden. De invloed op de voorspelling in de extreme percentielwaarden is goed weer te geven met de grootte VP (verschil in Percentielwaarde), die het verschil tussen de geschatte en de werkelijke percentielwaarde relateert aan het gemiddelde. De grootte van deze VP's viel echter mee; ze liepen hoogstens op tot 4% bij het lichaamsgewicht, buikdiepte en tailleomtrek. De invloed van de soort maat (lengte, breedte, diepte en omtrek) is duidelijk aanwezig. Zoals te verwachten, zijn de grote lengte maten het minst scheef.

Een praktische correctiefactor is ontwikkeld, die opgeteld dient te worden bij de geschatte percentielwaarden, om het effect van de scheve verdeling te compenseren. Bij dit vraagstuk is het computerprogramma DESCRIPT ontwikkeld dat van een dataset met antropometrische gegevens, een (uitgebreider dan bij de gebruikelijke statistische computerprogramma's) overzicht met percentielwaarden geeft met bijbehorende betrouwbaarheidsintervallen en normaliteitsindicatoren.

- 2 De normaliteit van indices, zoals de Quetelet-index ( $G/L^2$ ) blijkt goed te zijn; indices zoals op de DINED-tabel aangegeven ( $P_{95_m}/P_{5_v}$ ;  $P_{95_v}/\bar{x}_m$ ;  $\bar{x}_m/\bar{x}_v$ ;  $P_{5_m}/P_{5_v}$  en  $P_{95_m}/P_{95_v}$ ), die quotiënten zijn van percentielwaarden, blijken verre van normaal verdeeld te zijn.
- 3 De  $S_g$ -formule, waarbij de standaarddeviatie wordt uitgerekend voor een gemengde populatie met gelijke aantallen mannen en vrouwen,

$s_g^2 = 1/2 * s_m^2 + 1/2 * s_v^2 + 1/4 * (\bar{x}_m - \bar{x}_v)^2$ , kan beter vervangen worden door de volgende formule:

$$s_g^2 = [n_m / (n_m + n_v)] * s_m^2 + [n_v / (n_m + n_v)] * s_v^2 + [n_m * n_v / (n_m + n_v)] * (\bar{x}_m - \bar{x}_v)^2.$$

Deze is empirisch getest en geldt niet alleen bij gelijke aantallen mannen en vrouwen, maar ook bij elke andere samenstelling. Het verdient aanbeveling dit op de DINED-tabel aan te passen.

**B Bij het vaststellen van het percentage van de gebruikersgroep**, dat vermoedelijk zal worden uitgesloten. Hierbij is het handig over een computerprogramma te kunnen beschikken, waarmee interactief het percentage uitsluitingen kan worden getoond, op basis van meer dan één lichaamsmaat. Tevens speelt hierbij een rol het percentage dat voldoet aan het gemiddelde van een lichaamsmaat.

- 4 Het blijkt mogelijk bij een gegeven puntenwolk, waarvan de coördinaten bekend zijn, een ellips te programmeren, die een vooraf bepaald percentage van de meetpunten omvat. Het resultaat is het computerprogramma ELLIPS geworden, dat interactief te gebruiken is.



- 5 De Pz-formule:  $P_z = P_x * P_y + r^2 (P_x - P_x * P_y)$ , met  $P_x \leq P_y$ , blijkt voor ontwerpers goed bruikbaar, hoewel deze niet 'wiskundig' bewezen kon worden. Bij  $r = P_x = P_y = 0,5$  blijkt het verschil met een in de literatuur gevonden benadering (de BIVNOR-formule) het grootst te zijn (in absolute zin was dit 3,8%).
- 6 Door het gebrek aan onderlinge samenhang blijkt dat bij het bepalen van een percentielspreiding bij een serie, de reductie van de gebruikerspopulatie aanzienlijk kan zijn. Indien bijvoorbeeld bij een beeldschermwerkplek 8 verschillende lichaamsmaten relevant zijn voor het ontwerp en men voor elk  $P_5 - P_{95}$  kiest, blijkt dat er in totaal niet 10% maar 47% van de populatie wordt uitgesloten. Empirisch is dit eindresultaat eenvoudig te bepalen, maar een geschikte formule voor het meerdimensionale geval is nog niet gevonden. Wel ligt er een bruikbaar en getest idee.
- 7 De 'gemiddeld geproportioneerde mens' bestaat niet, volgt uit de literatuur, maar hoeveel % van onze studenten is bijna gemiddeld in enkele maten? Hiertoe is nagegegaan hoeveel % voldoet aan het  $\bar{x} \pm 12\%$  op meer dimensies. Bij vijf dimensies bleek nog slechts één student te voldoen aan dit criterium. Na de zesde maat was er niemand meer. Het visualiseren van de grote variatie in percentielwaarden per individu, heeft geresulteerd in een computerprogramma PROFIEL, dat per proefpersoon de percentielwaarden grafisch weergeeft in relatie tot een referentie-bestand.
- 8 Met behulp van het voor vraagstuk 8 ontwikkelde computerprogramma EXOBS is het mogelijk een voorspelling te doen van het betrouwbaarheidsinterval voor maat y vanuit maat x. Door hiermee interactief om te gaan, kan de ontwerper een efficiënt optimum zoeken tussen bijvoorbeeld meer typen van het produkt of een groter verstelbereik binnen hetzelfde type.
- C Bij het minimaliseren van het aantal gebruikers dat uitgesloten zal worden, wordt in feite een maatsysteem ontworpen. Hierbij is het nodig dat interactief inzicht wordt verschaft in de verdeling van het percentage gebruikers per maat, zoals dat zal zijn met het ontworpen maatsysteem. Indien dit niet naar tevredenheid is, kan de ontwerper het maatsysteem aanpassen.**
- 9 In aansluiting op het vorige vraagstuk is een wijze gevonden om een maatsysteem te optimaliseren. De parameters, die geoptimaliseerd moeten worden, zijn het percentage gebruikers, dat met een bepaald type bereikt wordt, versus het aantal typen en het percentage dat uitgesloten wordt.
- 10 Voor een bestaand produkt (schoolmeubilair) is uitgezocht welke consequentie het toepassen van de vigerende Europese CEN-norm zou hebben op de Nederlandse doelgroep, voor wat betreft het aspect onderbeenlengte versus zittinghoogte. Dit voorstel is ten dele overgenomen door de CENSchoolmeubel commissie. Hiermee werd bereikt dat er een extra grote maat (zitting hoogte=50 cm) ingevoerd is en dat de onderbeenlengte naast de lichaamslengte als indicator voor het juiste meubel gaat gelden. Het ontworpen nieuwe maatsysteem is helaas niet overgenomen. Voor de export zal dit beslist problemen geven.

**D** Als bij het antropometrisch ontwerpen blijkt dat er onvoldoende gegevens beschikbaar zijn, dient de ontwerper/onderzoeker te weten hoeveel proefpersonen in de te meten steekproef moeten zitten. Ook is de samenhang tussen een serie standaardmaten van belang, omdat hiermee kan worden vastgesteld, welke maten bijvoorbeeld zittend of liggend gemeten kunnen worden, om staande maten te kunnen voorspellen. Er zijn immers weleens situaties waarin men staand niet gemeten kan worden: lange mensen en kleine onderzoekers, baby's en bedlegerige mensen en bij het moeten meten in ruimten met een laag plafond.

- 11 Het aantal proefpersonen, dat voor een onderzoek nodig is en de gewenste nauwkeurigheid, blijken volgens de literatuur in hoge mate samen te hangen. Bij reeds uitgevoerd onderzoek is nog eens nagegaan hoe het verloop van  $\bar{x}$  en  $s$  als functie van het aantal ( $n$ ) verloopt. Bij grotere antropometrische onderzoeken zal de grootte echter ook samenhangen met het toegemeten budget in geld en tijd, de inzet van de onderzoeker ( $s$ ) en de organisatie. Bovendien is de nauwkeurigheid in belangrijke mate een gevolg van de kwaliteit van de onderzoeker en de training van het meetteam.
- 12 Het voorspellen van lichaamsmaten van de ene houding naar de andere blijkt accuraat mogelijk. Indien de omstandigheden het eisen, kan men volstaan met het meten van enkele lichaamsmaten in een houding, die gezien die omstandigheden, het meest gunstig is. Bijvoorbeeld bij baby's en verpleeghuispatiënten, kan men de proefpersonen liggend meten. Vervolgens zijn de in dit project ontwikkelde regressievergelijkingen te gebruiken om de 'staande' afmetingen te verkrijgen. Dat deze omzetting nodig is, blijkt uit de resultaten van de vergelijking tussen lichaamsafmetingen, die zowel liggend als staand bij dezelfde proefpersonen werden gemeten. De 'vuisthoogte staand' en de 'ellebooghoogte staand' bleken liggend zelfs 9% respectievelijk 7% groter te zijn bij liggende houding.

**E** Het presenteren van antropometrische gegevens op een zodanige wijze dat verkeerd gebruik wordt voorkomen, vereist kennis en ervaring. Enkele voorbeelden van presentaties worden gedaan:

- correlatiecoëfficiënten van leeftijdsgroepen bij elkaar in één cel van een tabel;
- percentielprofielen van een individu door deze cyclisch uit te beelden;
- Quetelet-indices tabelleren door per lengte de te verwachten en met kleur gewaardeerde lichaamsgewichten weer te geven

De voorgaande statistische bewerkingen van antropometrische en demografische data zijn ingangen voor een antropometrische databank. Hierdoor zou de ontwerper na een keuze van een 'populatie' en 'variabele', maar ook via de keuze van 'produktsoort', richlijnen moeten kunnen vinden. Bijvoorbeeld voor de produktsoort 'bedieningsmiddelen' zou dan kunnen gelden dat vinger- en handmaten door het antropometrisch datasysteem (Hoofdstuk 7) geselecteerd worden en dat zo mogelijk kritische percentielwaarden en toeslagfactoren worden aangegeven.

## Hoofdstuk 6: Het meetproces

De hoeveelheid antropometrische data groeit gestadig, zoals blijkt uit de internationale wetenschappelijke tijdschriften op dit gebied, zoals onder meer: Ergonomics, Applied Ergonomics, Ergonomic Abstracts, American Journal of Physical Anthropology, Human Biology, Growth and Development. Toch wordt nog te weinig voldaan aan adequate datasets voor ontwerpers, produktbeoordelaars en epidemiologen. De redenen hiervoor zijn:

- 1 Vaak blijkt in publikaties iets anders te zijn gemeten dan wat bovengenoemde gebruikers op een bepaald moment nodig hebben. Dan zijn er in principe twee oplossingen: benaderen met behulp van een antropometrisch mensmodel dat in die gewenste houding te plaatsen is, of het verrichten van nieuwe metingen voor de gewenste situatie.
- 2 Verzamelde data zijn vaak niet meer toegankelijk. Dit wil bijvoorbeeld zeggen dat computerbestanden worden vergeten, of worden gewist voor een nieuw project door nieuwe medewerkers en alleen de presentatie in de publikatie(s) van het project resteert.
- 3 Antropometrie wordt veelal slechts toegepast voor algemene gezondheidsindicatie: totale lichaamslengte en gewicht per leeftijdsgroep worden gemeten, maar meestal geen segmentmaten.
- 4 Vaak wordt de differentiatie in sub-groepen van de populaties in de tijd te weinig bijgehouden en ververst; daardoor kunnen onvoldoende conclusies worden getrokken over verschillen tussen cohorten, regio's, beroepen, e.d.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de problematiek van het uitvoeren van, voor het ontwerpen adequate, metingen aan de mens.

Een referentie bestand (vergelijkbaar met de norm DIN33402) van afmetingen voor Nederlanders vanaf 12 jaar bestaat nog niet. Dat er behoefte aan zo'n bestand is, blijkt uit het gebruik van de DINED-tabel als schatting voor de afmetingen van volwassen Nederlanders. De tabel is opgenomen in talrijke normen en handboeken. In dit hoofdstuk is het proces beschreven van het meten van lichaamsafmetingen, vooral in relatie tot het produktontwerp, in het verleden, heden en zoals dat proces zou kunnen plaatsvinden in de toekomst. Meetmethoden en steekproefoverwegingen worden behandeld, maten geselecteerd en het ontwerp van een semi-automatische antropometrisch meetsysteem wordt gepresenteerd.

## Hoofdstuk 7: Een antropometrisch data systeem

Gezien de stand der techniek ligt het voor de hand dat er ook op het gebied van de antropometrie elektronische hulpmiddelen zijn ontwikkeld. In termen van antropometrische modellen ontwierp Henry Dreyfuss de eerste 'slimme tabellen'; later kwamen de draaischijven met vensters, de 'Humanscales', de Bosch-mallen en de Kieler Puppen.

De eerste grootschalig opgezette elektronische antropometrische database is waarschijnlijk ERGODATA in Parijs. Deze bevat meer dan 40 miljoen meetwaarden van talrijke populaties uit de gehele wereld van jong tot oud en er zijn ruim 800 variabelen gedefinieerd. Er zijn talrijke instanties die grote databanken beheren, maar de ergonomische betekenis ervan is gering, behalve bij ERGODATA, ERGONOMIC ABSTRACTS en CARL/UNCOVER. Enkele ontwikkelingen:

- ERGONOMIC ABSTRACTS wordt gecomputeriseerd. Dit betekent dat voor een deel ook antropometrische onderzoeken snel zijn te vinden. On-line bereikbaarheid en/of bestanden op CD-ROM zijn in de toekomst te verwachten.
- In Nottingham wordt gewerkt aan een database met antropometrische gegevens in relatie tot produktveiligheid.
- PEOPLE SIZE is een veel belovende recente antropometrische pc-database, die onder het besturingssysteem MS-Windows werkt en enige berekeningen kan uitvoeren.

Echter Ergonomic Abstracts e.d. werken niet op het niveau van antropometrische variabelen, maar op het niveau van wetenschappelijke publikaties, waaruit de data gedestilleerd moeten worden. Ontwerpers zijn daartoe lang niet altijd bereid. Daarom wordt er in deze studie van uitgegaan dat ontwerpers/beoordelaars een antropometrisch informatie systeem ter beschikking dienen te hebben.

In dit hoofdstuk wordt de ontwikkeling beschreven van zo'n systeem. Hiervoor is een computerprogramma ontwikkeld, genaamd ANTROTEEK, dat een hulpmiddel is bij het antropometrisch ontwerpen of beoordelen van consumentengoederen.

Het is nog in het prototype stadium, dat wel reeds in het ontwerp onderwijs van de Faculteit Industrieel Ontwerpen (TU Delft) experimenteel wordt gebruikt. De verwachtingen zijn dat dit programma na enige tijd gereed kan zijn als een bruikbaar antropometrisch ontwerp hulpmiddel bij het Computer Aided Design, maar ook als hulpmiddel voor produktbeoordelaars.

## **Hoofdstuk 8: Evaluatie en suggesties voor verder onderzoek en ontwikkeling.**

In dit laatste hoofdstuk wordt kritisch teruggekeken naar wat in deze studie, gezien de doelstellingen, is bereikt.

De doelstelling van het maken van een theoretisch overzicht van de variatie in de antropometrische aspecten in de Mens-Produkt-Interactie en het op basis daarvan ontwikkelen van een antropometrisch informatie systeem, is redelijk geslaagd.

Het prototype van het informatie systeem, de ANTROTEEK is er, maar dient nog verder gereed gemaakt te worden met een goede user-interface. Daarna kan deze aangevuld worden met veel data en richtlijnen. Tijdens deze studie is echter meer ontwikkeld dat voor ontwerpers en beoordelaars van gebruiksvoorwerpen nuttig kan zijn:

- een overzicht van de data (antropometrische modellen), dat met geringe moeite bijgehouden kan worden;
- resultaten van drie proefstudies;
- diverse statistische bewerkingstechnieken, die als computerprogramma's ook door anderen kunnen worden gebruikt,
- hard-,soft- en orgware voor het kunnen meten van groepen mensen.

Wat niet bereikt is:

- een nieuw antropometrisch model voor volwassen Nederlanders; men zal het met de DINED-tabel moeten doen, totdat er empirische data zijn;
- een antropometrisch model van volwassen Europeanen, van kinderen en senioren;
- het kwantificeren van de correctiefactoren uit het literatuuroverzicht (Hoofdstuk 2) naar vorm en afmeting. Hiervoor is echter nog eerst meer gericht onderzoek nodig, bijvoorbeeld naar het effect van een bepaalde ziekte of handicap.

Als toekomstgedachte wordt een beeld geschets, waarbij de ontwerper een autostoel wil ontwerpen en dit doet met behulp van talrijke vernuftige computerprogramma's. Deze programma's nemen allerlei huidige vervelende taken van de ontwerper over, zodat hij beter zijn creativiteit kan benutten. Bijvoorbeeld geeft hij mondeling een houdingsinstructie aan een proefpersoon die uitgerust is met een 'Virtual Reality' kostuum en aangesloten is op een EMG controlecentrum. Simultaan beweegt een computermanikin op een beeldscherm, met daarom heen een zich aan die manikin aanpassende werkplek; in dit geval een auto-interieur met een autostoel. Blickvelden en reikenvoloppen worden op verzoek gegenereerd en bestaande normen en voorschriften kunnen zo eenvoudig gecontroleerd worden.

Antropometrische en biomechanische gegevens van de populatie die de manikin voorstelt, worden op verzoek vergeleken met bestaande gegevens van bekende populaties, zodat meteen duidelijk is welk deel van welke populatie uitgesloten wordt van de toekomstige gebruikerspopulatie.

## Slot

Het op maat maken, blijkt nog steeds een belangrijke opgave bij het produktontwerp. Dit is opmerkelijk in een tijd dat miniaturisatie van produkten en het inbouwen van intelligentie sterk in de belangstelling staan en bijna doen vergeten dat ons lichaam ruimte en houdingen inneemt, waaraan aanpassing van het produkt niet altijd eenvoudig is. Dit geldt niet alleen voor kleding, ondersteuningsmiddelen, handvatten en kleine verblijfsruimten, maar ook voor orthesen zoals brillen en hoorapparaten en bij beeldschermwerkplekken of geldautomaten.

Het realiseren van de menselijke maat van duurzaam gebruikgoed begint een duidelijker basis te krijgen en excuses voor daarin tekortschieten, zijn in afnemende

mate aanvaardbaar. De fysieke ergonomie begint een redelijk inzicht en overzicht te leveren en voor ontwerpers beschikbaar te stellen in de vorm van data, kwalitatieve en kwantitatieve principes, criteria en richtlijnen. Dit geldt vooralsnog meer voor de antropometrie dan voor de biomechanica en ook, zoals hiervoor behandeld, moet er nog veel worden doorworsteld en verzameld.

In dit boek is duidelijk gebleken dat de antropometrische ergonomie voor de ontwerper meer kan en moet zijn dan enkele eenvoudige recepten. Het is onvermijdelijk en loont ook de moeite voor produktkwaliteit dat de ontwerper ook inzicht heeft in de maten van het lichaam, waarop een goed produkt wordt maatgegeven. De ontwerpergonomie en daarbinnen de antropometrie, zullen naar verwachting van toenemend belang zijn bij het mens-gericht ontwerpen.

# Summary

## Made to Measure

Human body dimensions for designing  
and evaluating consumer durables

### Introduction

This study looks at the relationship between anthropometry and industrial design engineering. Anthropometry is the study of human body dimensions, while industrial design engineering focuses on consumer durables in general use. In the world around us we can see how difficult it is for designers and people evaluating consumer durables and professional equipment to obtain and use data on human body dimensions.

This difficulty has to be seen in relation to the critical function of body dimensions for comfort, safety and efficiency, and in relation to our increasing anthropometric knowledge. Possible causes of this problem are impracticable tabular data, incorrect information, and designers' ignorance.

The purpose of this study is to provide a theoretical overview of and insight into the variation of anthropometric aspects of the man/product interaction and, on the basis of these, to develop an anthropometric information system that can be used by designers and product evaluators and which is easy to update.

In broad terms, this study has also resulted in an anthropometric information system based on extensive literature searches, three pilot studies, an overview of a number of statistical operations, and the design for a semi-automatic measurement apparatus.

The following text summarizes each chapter.

#### **Chapter 1: Introduction**

What is the minimum of anthropometric data to be known and measured for use by designers and evaluators? The general purpose of anthropometry for industrial series production of consumer durables can be expressed in terms of comfort, safety and efficiency and is placed in a historical perspective.

Consumer goods in early times were usually made to measure and produced as single items because the producer (i.e. the designer) and the user knew one another.

Measurements could be taken on the spot. If the end product didn't fit or couldn't be properly handled by the user, it was adapted. To measure length, people used body dimensions as standards, like the width of a thumb or hand, or the ell, this being the distance from elbow to fingertip in adults, which according to current data varies between 48 and 54 cm. When people started to produce small series, as a result of the lack of standard measurements, they had to resort to rules of thumb when buying or making a product to fit. For example, when buying a sock on the market the circumference of the fist was used as a measure for the length of the sole. Once industries started to set up real series production, another solution was needed. The designer and the producer became different persons, neither of whom knew who the future user would be. The old rules of thumb did not take into account the variation in human body dimensions. It therefore became necessary to obtain sample measurements in order to assess the variation of the relevant body dimensions and so estimate the actual variation within a population. In addition, the designer has to take into account the critical user whose dimension will be most relevant for the product, while at the same time keeping the product suitable for use by others.

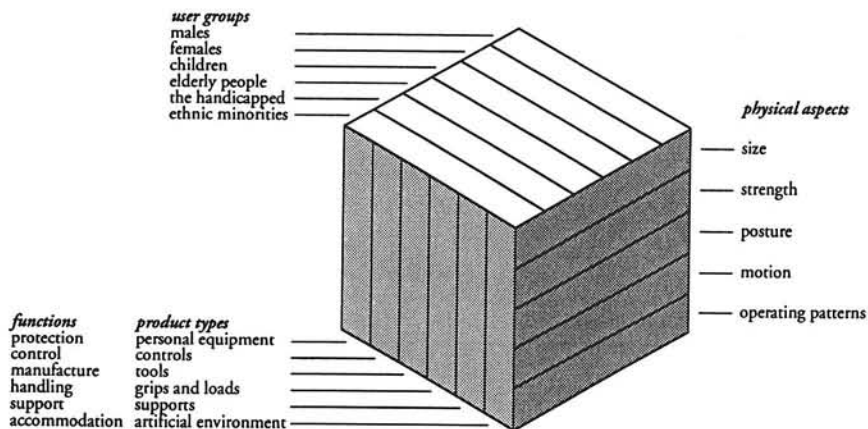
A few examples will illustrate that this is not always the case: the police pistol that was too big for small female hands, footwear and personal equipment for military personnel that was too tight, and who hasn't experienced the problem of finding the right size of an adjustable product, e.g. an office chair. Another aspect of general importance is safety in relation to body dimensions. In the Netherlands for example, the 'domestic' accident cases requiring medical treatment as a result of faulty product design stands at 2.5 million per annum. In a number of these accidents, human body dimensions play an essential role: the distance between the bars of a playpen or cot compared with the size of a child's head, the depth and width of an emergency ladder's steps compared with the length and width of a shoe, the width of a child's little finger compared with the openings in a ventilator grille, etc. Laws and standards exist that require the use of anthropometric data, for example in the production of toys, jam-jars, the construction of passages, etc.

From an economical point of view, anthropometry can be important in limiting material losses during the production process of e.g. furniture, if the designer dimensioned correctly. Body dimensions also play a role in other matters such as the number of people that will fit into a stadium, or the amount of space required in public transport means. Anthropometry sometimes plays an indirect role when space in or on another product is important: children's car seats for example, carrycots, wheelchairs, but also rucksacks in trains, airplanes and cars, etc.

A cube model illustrates the place of anthropometry within the field of physical ergonomics and industrial design engineering.

This demonstrates the general importance of anthropometry and of an adequate information system for designers and evaluators of consumer goods, also in view of the large variation in the anthropometric aspects of man-product interaction.





## Chapter 2: Variation in human body shape and size

Knowledge about variations in a man-product interaction (MPI) is necessary in order to be able to optimize the MPI. A search through several thousands of literature references has resulted in a report charting the external shape and size of the human body from embryo to advanced age. For this report information was gleaned from several scientific disciplines: physical anthropology (the study of the physical characteristics of the human body), embryology (the biology of the development of the unborn human being), auxology (the study of physical growth and development), and gerontology (the study of the ageing process in an organism). In the literature several factors were found that affect or correlate with the shape and size of the human body. We often find a subdivision according to three categories of factors:

- intra-individual (variation within an individual during its lifetime): age, disease, posture;
- inter-individual (variation between individuals): sex, age, ethnicity, profession, etc.;
- secular factors (variation between different birth groups, or cohorts, from the same population):
  - socio-economic status;
  - place of residence;
  - climate, etc.

Mostly, the change in average stature of 20-year old boys is taken as a measure for secular changes. In this study, these three types of factors in the above-mentioned disciplines have been investigated and subdivided into two categories: those relevant for design purposes, and other factors.

The most important factors in relation to industrial design engineering are shown to be age, sex, ethnicity, somatotype and posture. Clothing, disease and handicaps are important to a somewhat smaller degree.

### age

The age factor greatly affects the existing variation in shape and size of the human body,

as is evident from the special research area, auxology. In auxology distinction is made between longitudinal and cross-sectional studies. In longitudinal studies a cohort of children will be regularly investigated over a certain period of time. Individual growth curves can be studied quite precisely with this method, but it is time consuming and expensive. Longitudinal studies are valuable for medical assessments of individual growth. In cross-sectional studies, children from different successive age groups are measured over a short period (a few weeks or months). If the measuring methods are the same, secular changes can be studied by comparing two corresponding cross-sectional investigations of different cohorts. In addition, the comparison provides current data on the characteristics of the various age groups.

In The Netherlands over the past 150 years the secular growth change in stature was positive. During the period of 1965-1980 it was highest, 4 cm in 20-year old males, but over the period 1980-1992 it fell back to the level of before the second World War, about 1 cm in 10 years.

This leads to the conclusion about the age factor that anthropometric data as research results should be presented in an age-dependent form. The following six milestones from embryo to old age (using current Dutch data) can be used to obtain an overall picture of physical development:

girl	age	length, height	weight
embryo	up to 8 weeks*	4 cm	2-10 g
foetus	up to 40 weeks*	51 cm	3.3 kg
child	up to 11 years	147 cm	36 kg
adolescent	up to 17.5 years	168 cm	59 kg
adult	up to 65 years	157 cm	68 kg
elderly	over 65 years	154 cm	63 kg

boy	age	length, height	weight
embryo	up to 8 weeks*	4 cm	2-10 g
foetus	up to 40 weeks*	51 cm	3.3 kg
child	up to 13 years	158 cm	43 kg
adolescent	up to 19.5 years	182 cm	71 kg
adult	up to 65 years	168 cm	68 kg
elderly	over 65 years	166 cm	67 kg

\* *in utero*

From the anthropometric point of view, most products and workplaces are being designed for the young healthy male. Consequently, women, children, handicapped and the elderly are at a special disadvantage.

#### sex

The sex factor is dualistic in nature: data must be presented separately for males and females, as is usual in biology. Bus seats and many other consumer goods however are not designed for exclusive use by either females or males but for both groups. The category 'male & female', in every possible combination, is therefore of importance for

designers and must be calculated. A specific problem in this matter is the lower availability of data in literature on females.

### **ethnicity**

In the context of this study 'ethnicity' means 'country of origin' (sometimes that of the parents). This factor is linked to some extent with body shape and size, in particular via the underlying socio-economic situation. A known phenomenon is the catch-up growth apparent in people emigrating from a poor country to more prosperous surroundings.

For ergonomic purposes the ethnicity factor can lead to the recommendation that anthropometric data be presented separately, for example to enable a company employing only personnel from a certain ethnic group to adapt its workplaces accordingly. Another example is the usability of cash dispensers for tourists.

### **somatotype**

The somatotype factor is important as an indication of the overall body shape. This means that for ergonomic purposes modifications are necessary for some body types (per group of activities, profession or sport). A frequently used index for somatotype is the BMI (Body Mass Index or Quetelet index, equalling weight in kg divided by the square of the stature in m), which strongly correlates with the amount of body fat (for lean people  $BMI < 20$ . A recommended weight means  $BMI = 20-25$ , and overweight means  $BMI > 25$ ). In combination with the waist/hip ratio (normally  $0.75 - 0.85$ ), which indicates the location of body fat, this index could be useful as modern somatotype indicators instead of the earlier typology by Sheldon or Kretschmer.

### **nutrition**

The influence of the nutrition factor on anthropometric data is difficult to predict. Because the factor also affects somatotype, which is already taken into account, it is not directly relevant for industrial design engineering.

### **secular growth changes**

This factor does not affect the use of short life span consumer goods, provided the design process uses recent anthropometric data. For long life span products, e.g. trains, houses, etc., a prediction theory is recommended. The designer also has to consider secular trends if the actual user population spans several generations.

### **socio-economic status**

The socio-economic status (SES), which can be estimated via income, education and profession, has a certain effect on body shape and size which could be calculated via a correction factor. This could mean for example that ideally a changing room for professional basketball players would be designed with more space than one for professional table tennis players. In the same way a car seat intended for use by young females would be smaller than a seat on a fork-lift truck. This kind of detailed specification will require additional research.

### **clothing**

The clothing and equipment factor deserves more investigation in order to better ascertain in what way clothing and personal equipment affects people, and in what way they restrict body movement. Examples include the influence of shoes when operating a

pedal, heels in relation to eye level, and the way a crash helmet affects the wearer's field of view.

#### **environment**

The environment factor (altitude, climate and region of origin) is linked with anthropometric data via the ethnicity factor and merits little direct attention from a design point of view.

#### **laterality**

This factor, which refers to differences between the left and right-hand side of the body, does not have any marked effect on overall body shape and size, but it does affect functional aspects and, consequently, the usability of products. Therefore it will result in certain requirements for the way a product is operated (a pair of scissors for example).

#### **daily rhythm**

This factor is not relevant enough for product design, other than for purposes of indicating general guidelines. For instance, the fact that young adults shrink a few centimetres from morning to evening could be taken into account, e.g. when designing a car rear-view mirror.

#### **disease**

The disease factor has an influence through any physical disability caused by the disease. There is too little information in literature, so more research is needed. Groups of ill or handicapped are increasingly being considered as populations to design for, in spite of considerable inter- and intra-individual variance. Other diseases and handicaps will still require an individual design adaptation.

#### **hormones**

The genes and hormones factors have influence through some of the factors mentioned earlier and need not be considered as separate factors in this context.

#### **posture**

The effect of the posture factor is such that separate measurements are necessary for every recommended posture. Another solution, albeit lower in quality, is to make use of a functional anthropometric model, which can be changed to any posture the designer wants. The 'forward reach' example illustrates the effect of posture on body size; literature provides us with at least five different definitions of 'forward reach' with a slightly different posture for each definition.

### **Chapter 3: Anthropometric modeling**

This chapter places anthropometric data in models to gain better insight into types of data and the phases of the design process in which these data can be used to best advantage. The 'Anthropometric Model' concept is sometimes also referred to as 'Man Model'. Also the 'Product Model' and 'Anthropometric Product Model' concepts are introduced.

Distinction is made between four types of Anthropometric Models: tables, drawing templates, computerized man models, and test subjects. Each of these is looked at in terms of quality and availability. The conclusion is that the designer needs readily available functional anthropometric data relevant for the Man-Product Interaction of the target population. The application of these data should preferably be interactive and sufficiently accurate. Therefore there is a need for more and better data on the Dutch population, both about the body as a whole and about body segments, static as well as dynamic, from adults as well as from elderly people and children aged 12-20. There is also a need for a fourth national growth survey; in addition, there is a need for more data on the handicapped and on ethnic minorities.

Product models (sketches, computerized drawings or prototypes) are essential in the development of a product. To be able to efficiently exploit the right Product Model requires experience and knowledge. However, without an adequate anthropometric model, i.e. one which indicates the relevant characteristics of the future user of the product, a designer will have little benefit from using a product model.

An ergonomically ideal Anthropometric Product Model combines the characteristics of man and product and provides insight into the needs and possibilities for adaptation towards a better MPI. This requires a technical combination capable of making fast 2D or 3D mannikin drawings within the CAD (=Computer Aided Design) program being used to create the Product Model. It should indicate where Man-Product Interaction occurs and where improvements may be necessary. An expert system should provide on-line information about ergonomical facts and misconceptions. For presentation purposes a scale model is usually desirable, so a link with a manufacturing machine would be useful. Another way of presenting the design could be an advanced computer animation.

For the designer and the evaluator it is important to be able to separate the wheat from the chaff. Therefore a yardstick for the quality of the presented Anthropometric Models is needed. In this study this is done by including a discussion on validity, reliability of measurements, and possibilities for operationalization.

Insight into the anthropometric design process is given by describing the stages of the design for a chair. From the first ideas in the head of the designer, the design process will pass the dimensional sketch, computer model, technical drawing and a prototype stages. After evaluation of the prototype with a sample of test subjects the design will be finalized. During the entire process, interactive testing takes place to see whether the corresponding Anthropometric Model requires improving. Each anthropometric guideline within this process is generated through the following steps:

- 1 describing the demographic characteristics of the target population;
- 2 describing the body posture and the tasks that have to be carried out;
- 3 describing the relevant man and product dimensions and any additional factors;
- 4 describing the Anthropometric Models to be used (if necessary after modification or after carrying out new and relevant measurements).

## Chapter 4: Pilot Studies

This chapter discusses the data obtained from measurements in the course of this study and which will be used in Chapter 5 for the statistical analysis. For each of these three samples, which are not completely representative for the Netherlands, the choice of variables, the measuring method, and the nature of the variables are discussed. The treatment of the data is useful in answering a number of questions concerning:

- 1 the correctness of the statistical analyses;
- 2 the construction of anthropometric models;
- 3 the design and evaluation of products and workplaces;
- 4 the development of measuring methods.

The pilot projects comprises 350 children living in Delft, 354 students at Delft University of Technology, and 833 elderly institutionalized people living in The Hague. The body dimensions as measured varied according to dimension and type. The three groups (children, young adults and elderly people) were measured because little ergonomic data existed when this study was started. In addition to the presentation of the standard statistical quantities from every variable, much attention is paid to the correlation within and between the samples for a number of equally defined variables. With this the reader gains insight into the differences minor in some cases in dimensions, in spite of the age differences.

An attempt is also made to provide the designer with a guideline for correlation coefficients per type of body dimension (length, width, depth and circumference). The current DINED table already includes an estimate for this, but these pilot studies enabled verification and further differentiation to take place. The information gleaned from these three pilot studies has already been used by several users in industry and elsewhere. Examples include the GMD project 'Wheelchairs for Children', the KIMA project, for which 2400 children were measured and which can be considered as representative for the nation as a whole, the building and furnishing of several homes for the elderly, and a number of furniture designs for the elderly, using our ADAPS computerized man model.

## Chapter 5: Statistical analysis of anthropometric data

Statistics and demographics have always been closely connected through census. In earlier times census was used to get information about the number of possible soldiers and the amount of taxes that a country or region could provide.

For industrial design engineering, statistics are important in describing the quality and quantity of series production, on which it focuses, but even more in describing of the target population at which the design is aimed. The frequency of use of a product and the frequency of occurrence of user characteristics are of great importance to the industrial designer. From the anthropometric point of view it is interesting to know the distribution of the critical dimensions during the use of a product and the human characteristics that may be dimensionally indifferent. For two everyday series products,

spectacles and shoes, a description is given of the demographic and anthropometric aspects in The Netherlands.

The following table shows which type of dimensional system is generally used for a number of common products.

product type	1	2	3	4	5
(function)	tailor made	several types	one type	adjustable when using	adjustable before use
support	racing bicycle	school furniture	street furniture	office chair	wheelchair
space	racing car	family car	telephone booth	car seat	wheelchair, kitchen
control	competition snooker cue	walking stick handle	buttons in telephone box	bicycle gear	bicycle saddle
load	astronaut's backpack suitcase		shopping box	rucksack	baby carrier sack
tools	violin bow	earring	pointer	field glasses	slicer
personal equipment	prosthesis	shoe	sunglasses	crash helmet	trouser belt

*Overview of product examples per design type categorized according to product type (functions).*

Measuring, analyzing and predicting several demographic quantities correspond with measuring, analyzing and predicting the human body dimensions of a population. Through mutual correlation of the quantities it is possible to predict within certain margins the variables which are difficult to measure. One can for example predict the grip force from the hand width and the lower arm circumference. In various stages of the design process, statistical questions are presented in the following categories A through E, in which a total of 14 questions have been formulated of which 12 have been answered:

**A** In starting the design process, when global anthropometric data are needed to be able to decide the main dimensions the product will have. In this category the normal distribution plays an important role, as does the possibility to add to or subtract from variables and populations.

- 1 From the several statistical quantities, the skewness ( $a_3$ ) seems to be the best predictor for the normal distribution. Most anthropometric distributions are more or less Gaussian. But in order to study what happens when a distribution is non-Gaussian, a new statistical quantity (VP) is created to give an impression of the difference between the real extreme percentiles and the estimated percentiles. The estimation was done with the usual formula,  $\bar{x} \pm z * s$ . VP gives the difference in percentiles (the real minus the estimated) in % of the mean. The magnitude of VP was less than expected; the maximum was 4% for body weight, waist circumference and chest depth. The influence of the type of dimension (length, width, depth and circumference) is obvious, although the larger length dimensions are the most normal, as was to be expected. A practical modification factor was developed to be added to the estimated percentile to compensate the effect of the skewness. For this

task the DESCRIPT computer program was written, which produces an extended overview of percentiles with corresponding limits of reliability and some new indicators of normality.

- 2 The normality of such indices as BMI ( $W/H^2$ ) seems to be sufficient, but indices as found in DINED table ( $P_{95m}/P_{5f}$ ;  $P_{95f}/\bar{x}_m$ ;  $\bar{x}_m/\bar{x}_f$ ;  $P_{5m}/P_{5f}$  and  $P_{95m}/P_{95f}$ ) which are quotients of percentiles are far from normal.
- 3 The  $S_g$ -formula on the DINED table  $s_g^2 = 1/2 * s_m^2 + 1/2 * s_f^2 + 1/4 * (\bar{x}_m - \bar{x}_f)^2$ , could be generalized for use with unequal subsamples by:

$$s_g^2 = [n_m/(n_m + n_f)] * s_m^2 + [n_f/(n_m + n_f)] * s_f^2 + [n_m * n_f / (n_m + n_f)] * (\bar{x}_m - \bar{x}_f)^2.$$

This calculates the standard deviation for a mixed population of male (m) and female (f) subjects. The formula has been empirically tested with data of our pilot studies and shown to be correct.

**B In determining the percentage of the target group, which will probably be excluded.** For this problem an interactive computer program that shows this percentage based on more than one body dimension can be useful. In addition, the percentage meeting the average of a body dimension plays a role in the following questions.

- 4 It appears to be possible to program an ellipse in a scattered plot with known coordinates, which will contain a prescribed percentage of measuring points. The result is the ELLIPSE computer program that can be used interactively.
- 5 The  $P_z$ -formula:  $P_z = P_x * P_y + r^2 (P_x - P_x * P_y)$ 
  - with  $P_x \leq P_y$ ;
  - with  $P_z$  = proportion of 1, corresponding with the percentage of users in the combined situation;
  - with  $P_x$  = proportion of 1, corresponding with the range of percentiles of dimension x;
  - with  $P_y$  = proportion of 1, corresponding with the range of percentiles of dimension y,

appears extremely useful for designers, although no mathematical proof could be obtained. With  $r = P_x = P_y = 0.5$ , the difference with the BIVNOR results from literature was found to be greatest (3.8%).

- 6 When we try to determine the variation in percentiles within a series of more than two body dimensions, the reduction of the user population can be tremendous. The reason is the lack of mutual 100% correlation. For example, take a VDU workplace with 8 body dimensions relevant to the design. If for each of these we choose the critical percentiles  $P_5 - P_{95}$ , experiment will show that 47% rather than 10% of the population is excluded. A practical formula for the multi-dimensional case has not yet been developed, but an evaluated idea exists, which still requires improving.
- 7 That the average proportional man doesn't exist follows from literature, but how many students exist who are on or near the average in some of their dimensions? For this question we tested how many students we could find within 12% around the



mean value. After five dimensions we had just one student out of 350 left and after six dimensions none fulfilled the requirements. The need for visual presentation of large variations in percentiles has resulted in the PROFILE computer program which, for each of the test subjects, prints a graphical overview of the percentiles in relation to a reference file.

- 8 To address the problem of interactive optimizing of reliability limits in two-dimensional anthropometric situations, the EXOBS computer program was created.

EXOBS enables the reliability limits of dimension  $y$  to be predicted from the values for dimension  $x$  in a scattered plot. Because it is an interactive program of which all relevant parameters are easy to modify, the designer has an efficient tool to find the optimum between e.g. the number of product sizes (as for shoes) or greater adjustability (as with seat heights of office chairs).

**C Minimizing the number of users that will be excluded.** This in fact corresponds with building a system of sizes. For this procedure we also need an interactive insight into the distribution of users throughout the size system.

- 9 Following the problem in question 8, a method was found to optimize the size system with the ELLIPSE computer program. The parameters to be optimized are the percentage of users that can be achieved with a certain size and the percentage of users that will be excluded by the whole size system.
- 10 For an existing product (school furniture) it was investigated what the consequences would be if the current European CEN standard were to be applied for Dutch children aged 4-20. This was far from satisfactory; in fact the current Dutch standard dating from 1977 had to be updated, but the CEN regulation was not an improvement in a number of countries, including The Netherlands. Our anthropometric data brought some help when the CEN accepted our proposal of an extra high seat. Secondly, our proposal was accepted to use the lower leg length as an indicator for the right size instead of only a child's stature. Unfortunately, the third proposal for a better distribution of sizes was not accepted in 1993. As a result, many European children will still suffer the discomfort of ill-matched school furniture.

**D If there are insufficient anthropometric data in the design process,** the designer needs to know how to conduct his own survey and how many test subjects will be needed. Also, it is necessary to know the effect of posture during measurements.

- 11 The number of test subjects needed for a survey and the accuracy desired show a high degree of correlation, according to literature. Therefore we used our own data to analyze what the relation was between  $\bar{x}$  and  $s$  as a function of the number  $n$ . In larger anthropometric research projects the size of the sample will also be limited by such factors as time and money, the commitment of the investigators and the organization. Besides, accuracy depends mainly on the quality of the researcher and the training of the measurement team.
- 12 It may be useful to be able to predict body dimensions from measurements obtained with another posture. Possible application for these predictions are in situations

where people cannot be measured in an upright position, e.g. bedridden patients or babies. A sample of 10 test subjects was measured three times in sitting, standing and supine position with 10 variables. From the differences it could be concluded that the postures had a great effect on the measurement values. The 'fist height' and the 'elbow height' in supine position for example were 9% and 7% larger, respectively. Therefore regression equations were made to be able to predict the standing dimensions from the sitting and the supine dimensions.

**E** The presentation of anthropometric data should be done in such a way that any 'misuse to be expected' is prevented. To be able to do so requires knowledge and experience, especially when using tabular data as anthropometric models. Several examples in this study are presented:

- correlation coefficients for different age groups can be presented in one cell of a table so they are easy to compare;
- percentile profiles of an individual can be presented as a pie chart;
- BMI (Quetelet)-indices can be tabulated more efficiently than usual by making a graph with the expected weight and factual height as axes and the indices in the cells. Colours could be used to show the recommended weight.

The preceding statistical operations of anthropometric and demographic data are to be used for an anthropometric information system. In this system the designer should be able to find guidelines after choosing a 'population' and a 'variable', or after choosing a 'product type'. For example for the 'control' product type, the anthropometric information system should select 'finger and hand dimensions', and if possible present 'critical percentiles' and 'additional factors'.

## Chapter 6: The measuring process

The amount of anthropometric data is growing daily, as we can see in international scientific journals in this field like Applied Ergonomics, Ergonomics, Ergonomic Abstracts, American Journal of Physical Anthropology, Human Biology, Growth and Development. Still, too few adequate data systems exist for industrial design engineers, product evaluators and epidemiologists. The reasons for this are:

- 1 Often other dimensions are measured than the ones the above-mentioned users need at a certain moment. In such a situation there are two basic solutions: make an estimate through an anthropometric man model or set up a new investigation.
- 2 Inaccessibility of data. This means that computer files are forgotten or deleted for a new project or by a new staff and only the concentrated presentation on paper remains.
- 3 Anthropometry often is applied only for general health indication: total height and weight per age group is measured, but usually no dimensions of body segments.
- 4 Frequently the design of the sample is not up to date, so comparison with other cohorts, regions and professions is difficult.

This chapter discusses how to measure human dimensions in such a way that the results can be used for industrial design engineering. It also includes an overview of the way in which people were measured in the past and how this could be done in the future.

No reference file (comparable with DIN 33402) is available for Dutch people over 12 years of age. There is a real need for such a file, as is apparent from the use of the DINED table to provide estimates for Dutch adults. This table is included in several national documents and standards, but needs to be updated with a field study.

Measurement methods, sample considerations, choice of dimensions and the design of a semi-automatic measuring apparatus are discussed.

## Chapter 7: An Anthropometric Data System

In view of the present state of technology the development of electronic aids in anthropometry would be expected. In terms of anthropometric models Henry Dreyfuss designed the first smart tables, which were later updated to the Human scales (both easy to use, but of uncertain validity); in Germany the 'Kieler Puppen' (Kieler manikins) and the 'Bosch manikins' were produced (both based on the DIN 33402 standard). The first electronic anthropometric database is probably ERGODATA in Paris. This commercial database (not very easy to use) contains more than 40 million individual measurements from several global populations.

There are also numerous hosts controlling a number of databases, most of which have little ergonomic focus, with the exception of Ergodata, Ergonomic Abstracts (journals) and Carl/Uncover (journals). Some recent developments:

- Ergonomic Abstract is being computerized. This also means that anthropometric survey data will be easier to find. On-line availability and/or a distributed database on CD-ROM are to be expected in the near future.
- In Nottingham an anthropometric database is being realized specializing in children and product safety.
- People Size is a promising recent anthropometric database for PCs, operating under MS-Windows. The user interface is very friendly.

Most designers are dissatisfied with databases that produce a list of titles and abstracts. Therefore this study holds the point of view that designers need visualized guidelines; our anthropometric information system (AIS) should provide the answer.

In this chapter, the development of such an AIS is outlined. It is called 'Antroteek' and is intended as an aid to anthropometric design and evaluation of consumer goods.

At present we have only a working prototype, but it is already being used experimentally at our University for design teaching purposes. This program could in due time become a useful tool for Computer Aided Design as well as for product evaluation.

## Chapter 8: Evaluation and suggestions for research and development

In this last chapter a critical review is presented about this study. The aim of creating a theoretical overview of the variation in the anthropometric aspects of man-product interactions, and based on this, to make an information system, has been largely achieved. The Antroteek prototype is working with data on Dutch children, students and elderly people, the estimated data of DINED have also been inserted, but it needs further improvement and a proper user interface. After this stage the program can be filled with guidelines and data. In addition, this study, has provided the following for designers and product evaluators:

- an overview of the currently available data (anthropometric models), that can be easily updated;
- the results of three pilot studies;
- several statistical operations in the form of computer programs, which can be used by others;
- hardware, software and orgware for measuring human dimensions.

A future perspective is sketched in which the designer of a car seat uses several kinds of advanced computer software to relieve him from a number of tedious tasks, thus leaving him more scope for creativity. He could for example give a verbal instruction to a test subject wearing a virtual reality suit to change his posture. Simultaneously a computer manikin moves on a screen while around this manikin a workplace design is adapted, in this case a car interior with a seat. Fields of view and reach envelopes are generated on request and current standards and regulations can easily be integrated. Anthropometric and biomechanical data from the target population are compared on request with existing data of known populations, providing instant information about the sections of the future user population that will be excluded as a result of the design changes.

## Conclusion

Made to measure is still an important issue for product development. This is remarkable in this day and age in which miniaturization and intelligent products are common enough and tend to make us almost forget that our body takes up space in various postures to which it isn't always easy to adapt a product. This applies not only to clothing, supports, handles and spaces, but also to objects such as spectacles, hearing aids, VDU workstations, and cash dispensers. Made to measure consumer durables are beginning to become accepted practice and there is no excuse for any shortcomings in this field. Physical ergonomics is starting to give us reasonable insight and overviews, and to provide designers with data, qualitative and quantitative principles, criteria and guidelines. As yet, this holds true more for anthropometry than for biomechanics and in addition, as has already been said, much still has to be investigated and compiled.

This book clearly shows that to the designer, anthropometric ergonomics is and should be much more than just a set of simple prescriptions. It is as unavoidable as it is valuable for product quality that the designer needs insight into the dimensions of the human body, in order to make a product fit. Design ergonomics, and within this field, anthropometry, will remain very important to human-directed design.



# Literatuur

- Annis, J.F., H.W. Case, C.E. Clauser and B., Bradtmiller  
Anthropometry of an Aging Work Force. *Experimental Aging Research* 17 (1991) 3, 157-176
- Appelboom, W.J.M.J.  
Lengte- en gewichtswaarnemingen in de continue gezondheidsenquête 1981/1983. *Mndber gezondheid CBS* (1984) 7, 9-13.
- Appelboom, W.J.M.J.  
Lengte- en gewichtswaarnemingen in de continue gezondheidsenquête, regionaal gezien 1981/1984. *Mndber gezondheid CBS* (1986) 9, 5-13.
- Arisz, H.  
*Interne notitie over bivariate verdelingen*. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft, 1991.
- ARP (Anthropology Research Project).  
*Anthropometric Source Book*. Volume 1, 2, 3, NASA Reference Publication 1024, National Technical Information Centre (NTIS), Springfield Virginia, USA, 1978.
- ARP (Anthropology Research Project).  
*Measurer's Handbook, US-Army, Anthropometric Survey 1987 - 1988*, NATICK, TR - 88/043. NATICK, Massachusetts, 1988.
- Ashwell, M., T.J. Cole and A.K. Dixon.  
Obesity: new insight into allometric classification of fat distribution shown by computed tomography. *British Medical Journal*, 290 (1985) 1692-94.
- Baecke, J.A.H.  
*Determinants of bodyfatness in young adults living in a dutch community*. Dissertation, Department of Human Nutrition, Agriculture University, Wageningen, Netherlands, 1982.
- Barkla, D.  
The estimation of body measurements of British population in relation to seat design. *Ergonomics* 4 (1961), 123-132.
- Beagley, N.I., R.A. Haslan and K.C. Parsons.  
A Computer Based Tool for Accessing Anthropometric Databases. *Proceedings Annual Meeting Ergonomics Society* (1993) p.142-147,
- Beckers A.W.J.M. en L.J.M. Brekelmans.  
Voetbescherming. In: Hoftijzer, R., R. Noordhoeken D.J. van der Weijden (redactie) *Handboek Persoonlijke Beschermingsmiddelen*. Samson, Alphen a/d Rijn, 1991.

- Beimers, H. A van Genesen, H. v.d. Grint and J. Maartense. BRAM: an anthropometric computer model of the Volvo customer. *Proceedings Marketing Ergonomics*, Noordwijk, 1989.
- Bekke, J. H. ter  
*OTO-D Handleiding*. Het semantische database management systeem. Vakgroep Informatica, Faculteit Wiskunde en Informatica, TU Delft, 1985.
- Bekke, J. H. ter  
*Semantic Data Modeling in Relation Environments*, Dissertation, Delft University of Technology, 1991.
- Bekke, J. H. ter  
*Database Ontwerp*. Stenfert Kroese, Leiden, 1992.
- Berkhout, A.M.M., H.J.M. Cools en J.D. Mulder.  
Het meten of schatten van de lichaamslengten van oudere verpleeghuispatiënten. *Tijdschrift voor Gerontologie en Geriatrie* (1989) 20, 211-214.
- Bestelauto*,  
(1988) 4, 24-31. Zes keer drieënhalve ton.
- Biggelaar, J.A.M. van den  
De constructie van embryo's. In: Beenakker, A.M.Th. et al. (redactie) *Biologie in Utrecht*, Rijksuniversiteit Utrecht, 1987.
- Bittner, A.  
Maximizing design accommodations for composite user populations: methodology applicable tot mixed male and female populations. In: *Proceedings Human Factor Society*, 22nd annual meeting 1978 p 450-455.
- Bock, R.D. en D. Thissen.  
*Statistical problems of fitting individual growth curves*. In: Johnston et al. (1980)
- Bock, R.D., S.H.C.DuToit and D.Thissen.  
*AUXAL: Auxological analysis of longitudinal data*. Scientific Software International, Chicago, USA, 1993
- Boekema, P.J.J.  
*SAMAS (Semi Automatisch Meten Antropometrische Steekproeven) Het verbeteren van de gebruiksvriendelijkheid*. HTS-stage verslag. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft, 1991.
- Bokma, J.J.J.  
*SAMAS (Semi Automatisch Meten Antropometrische Steekproeven) Omschrijving van functies en procedures van de software*. HTS-stage verslag. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft, 1989.
- Bolle, E.A.W., J.M.H. Lenoir en J.N.M. van Loon.  
*Wiskundige Statistiek*. Deventer, Van Loghum Slaterus, 1987.



- Bonney, M.C. and K. Case.  
The development of SAMMIE for computer aided work place and work task design. *Proceedings of the 6th congress of the International, Ergonomics Association*, 1976, 340-348.
- Borms, J. and M. Hebbelink.  
Children and exercise. *Acta Paediatrica Belgicum*, (1974), suppl 28, 169-182.
- Borms, J., R. Hauspie, A. Sand, C. Susanne and M. Hebbelink.  
*Human Growth and Development*. Based on Third International Congress of Auxology at Brussel, Aug, 1982. Plenum, New York, 1984.
- Bradt Miller, B.  
Data Base Selection in applied anthropometry. In: R.E. Eberts and C.G. Eberts, *Trends in Ergonomics/Human Factors II*, p. 513-518, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1985.
- Brande, J.L. Van den, et al.  
*Syllabus 'Ontwikkeling en Groei'*, Faculteit der Geneeskunde, Rijksuniversiteit Utrecht 1986.
- Brandt, I.  
*Body Measurements and Proportions of Preterm and Full-Term. Infants in the First Six Years- Result of a longitudinal study*. In: Borms et al. (1984).
- Bratajandra, F.H.  
*Antropometrie van gehandicapte atleten*. Verslag van een onderzoekstage. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft, 1993.
- Braunfels, S., G. Glowatski, K. Herzog, Hiller, F. Jürgens, H.W. et al.  
*Der Vermessene Mensch, Anthropometrie in Kunst und Wissenschaft*. Heinz Moos Verlag, München, 1973.
- Brekel, H. van den en H. Moors.  
De VUT op de helling. *DEMOS 8* (1992) 5, 37-39.
- Brekelmans, F., P.I.L. Moonen en D.S.C. Osinga.  
*Anthropometrische Steekproef Dutchmil '85*, IZF/TNO, Soesterberg, 1986.
- Brinkman, H.J., J.W. Drukker and B. Slot.  
Height and Income: A new method for estimation of historical national income series. In: Ark, Buan et al. (eds.) *Economic Growth in Northwestern Europe: the last 400 years*, Research Memorandum M 214, Institute of Economic Research, Faculty of Economics, University of Groningen, 1987.
- Bruggers, J.H.A. en S. Mulder.  
*Beknellingen tussen fietsspaken*. Epidemiologie, toedracht en preventie. Stichting Consument en Veiligheid, Amsterdam, 1992.
- BS 4467  
*Anthropometric and ergonomic recommendation for dimensions in designing for the*

- elderly*. British Standard Institution, London. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 1969.
- Buday, J.  
*Growth and Proportionality in Patients with Down Syndrome*. In: Borms, J. et al. (1984), pp 631-7.
- Burandt, U.  
*Ergonomie für Design und Entwicklung*. Otto Schmidt Verlag, Köln, 1978.
- Burger, A.K.C. en J.F.M. Molenbroek.  
 Ouderen met meerdere maten gemeten. *Ned. T. v. Geneeskunde* 62 (1984) 22, 854-862.
- Burkhardt, D. et al. (redaktie).  
*Dier en signaal*. Kosmos, Amsterdam, 1969.
- Burt, P.V. and M.T. Kinnucan.  
*Information Models and Modelling Techniques for Information Systems*. In: Williams, M.E.  
*Annual Review of Information Science and Technology*, volume 25. Elsevier, Amsterdam, 1990.
- Buul-Offers, S. van.  
*De relatie tussen groeifactoren en groei*. In: Brande, J.L. Van den (1986).
- Cameron, N.  
*The Measurement of Human Growth*. Croom Helm, London, 1984.
- Cann, R.L., W.M. Brown and A.C. Wilson.  
 Polymorphic sites and the mechanism of evolution in human mitochondrial DNA. *Genetics* 106 (1984) 3, 479-99.
- Carter, J.E.  
 Physical Structure of Olympic Athletes. *Medicine and Sport*, vol 16, Karger, Basel, 1982.
- Carter, J.E., D.A. Sleet and J.F. Clinie.  
 Summary and Applications. *Montreal Olympic Games Project*. In: Carter (1982).
- CBS (Centraal Bureau voor de statistiek).  
*Ongevallen van klein tot groot*. Stichting Medische Registratie. Voorburg, 1982.
- CBS (Centraal Bureau voor de statistiek).  
*Statistisch Zakboek 1980-1988*. Voorburg, 1981-1989.
- CBS (Centraal Bureau voor de statistiek).  
 Lengte- en gewichtswaarnemingen in de continue gezondheidsenquête, regionaal gezien, 1981/1984. *Mindber gezondheid CBS* (1986) 9, 5-13.
- CBS (Centraal Bureau voor de statistiek).  
*Lichamelijke beperkingen bij de Nederlandse bevolking 1986/1988*. Voorburg, 1990.

- CBS (Centraal Bureau voor de statistiek).  
*Statistisch Jaarboek* 1990, 1991, 1992, 1993, 1994. SDU, Den Haag, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994.
- CEN/TC 207/WG5/TG1 N35-N69.  
 Working Draft. *Chair and tables for educational institutions, functional dimensions and safety requirements and their test methods*. Nederlands Normalisatie Instituut, 1994.
- Chang-Chung Li, Sheue-Ling Hwang and Ming-Yang Wang.  
 Static Anthropometry of Civilian Chinese in Taiwan. Using Computer-Analyzed Photography. *Human Factors* 32 (1990) 3, 359-370.
- Chow, R., J.E. Harrison and C. Notarius.  
 Effect of two randomized exercise programmes on bone mass of healthy postmenopausal women. *Br. Med. J.* 295 (1987) 1441-4.
- Chrzastek-Spruch, H.M.  
*Share of Genetic Factors in growth and development of children based on longitudinal studies*. In: Borms (1984).
- Chumlea, W.C.  
 Estimating stature from knee height for persons from 60 to 90 years of age. *Geriatrics Digest* (1985) 9, 12-13.
- Chumlea, W.C. et al.  
 Some anthropometric indices of body composition for elderly adults. *J. of Gerontology*, 41 (1986), 1, 36-9.
- Churchill, E., T. Churchill and P. Kikta.  
*Intercorrelations of anthropometric measurements: A Source Book for USA Data*. AMRL-TR-77-2. Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, USA, 1978.
- Churchill et al.  
*Anthropometric Source Book*, zie ARP
- Churchill, E.P. Kikta and T. Churchill.  
*AD/A-063 682 AMRL-Anthropometric Data Bank Library Volume V*, contractnummer CP-0-012-01. NTIS, 1978.
- Coblentz, A. and G. Ignazi.  
 Détermination des caractéristiques anthropométriques par une technique stéréométrique. *Le Travail Humain* (1969) 310.
- Coblentz, A.M. and R.E. Herron (editors).  
*Biostereometrics '85*. Proceedings SPIE 602. The International Society for Optical Engineering. Bellingham, Washington, 1986.
- Coffelt, R. J., J. W. Kuman-Coffelt and M. S. Kaminaka.  
 Anthropometer, a versatile design. *Applied Ergonomics* 16 (1985) 2, 147 - 149. On-line gebruik van databases. Computerworld, 5 januari 1990, blz 1.

- Constandse-Westermann, T.S.  
*Verschillen tussen populaties ten aanzien van de groei en ontwikkeling.* In: Brande, J.L. Van den (1986).
- Costa, D.L.  
*Height, Weight, Wartime Stress, and Older Age Mortality: Evidence from the Union Army Records.* *Explorations in Economic History* 30 (1993) 4, 424-449.
- Cott, H.P. van and R.G.Kinkade (eds).  
*Human Engineering Guide to Equipment Design.* US Government Printing Office, Wasignton DC, 1972.
- Creemers, M.R. et al.  
*Poly-Technisch Zakboekje.* 42ste editie, blz J3/12. Arnhem, PBNA, 1987.
- Daams, B.  
*Human force exertion in user-product interaction.* Delft University of Technology, 1994.
- Damon, A.  
 Physique and success in military flying. *Am. J. of Phys. Anthropology* 13 (1955a) 217-52.
- Damon, A., R.A. McFarland.  
 The physique of bus and truck drivers: with a review of occupational anthropology. *Am. J. of Phys. Anthropology* 13 (1955b) 711-42.
- Damon, A., H.K Bleitren, O. Elliot, and E. Giles. Predicting somatotype from body measurements. *Am. J. of Phys. Anthropology* 20 (1962) 461-74.
- Damon, A. and H.W. Stoudt.  
 The functional anthropology of old men. *Human Factors* 5 (1963) 485-91.
- Damon, A.  
 Some host factors in disease: sex, race, ethnic group and body form. *Am. J. of Phys. Anthropology* 22 (1964a) 375-82.
- Damon, A. and R.F. Goldman.  
 Predicting fat from body measurements: densitometric validation of ten anthropometric equations. *Human Biology* 36 (1964b) 32-44.
- Damon, A.  
 Discrepancies between findings of longitudinal and crosssectional studies in adult life: physique and physiology. *Human Development* 8 (1965) 16-22.
- Damon, A., H.W. Stoudt and R.A. McFarland.  
*The Human Body in Equipment Design.* Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1966.
- Damon, A.C.C., H.W. Seltzer, H.W. Stoudt and B. Bell. Age and Physique in Healthy White Veterans at Boston. *J. of Gerontology* 27 (1972) 2, 202-8.

- Damon, A.  
*Human biology and ecology*. Norton, New York, 1977.
- Davies B.T. and A.W. Moustafa.  
A low cost, accurate electronic anthropometer. *Ergonomics* 29 (1986) 5, 713-717.
- Dean, W.  
*Biological aging measurement, clinical applications*. The Center for Bio-Gerontology, Los Angeles, California, USA, 1988.
- De Greene, K.B.  
Major conceptual problems in the systems management of human factors/ergonomics research. *Ergonomics* 23 (1980) 3-11.
- Dempster, W.F.  
*Space requirements of the related operator*. WADC-TR-55-159. Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, 1955.
- Deurenberg, P. en J.C. Seidell.  
De betekenis van de verdeling voor het verband tussen overgewicht en ziekte. *Ned. T. v. Geneeskunde* 128 (1984) 42, 1995 - 1998.
- Diffrient, N., A.R. Tilley, D. Harman and J.C. Bardaggy.  
*Humanscale* 1-9. The MIT Press, London, 1974 - 1981.
- DIN 33402.  
*Körpermasse der Menschen*. Beuth Verlag, Berlin, 1978-1986. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 1978-1986.
- DIN 33408.  
*Körperumrisschablonen. Seitenansicht für Sitzplätze*. Beuth Verlag, Berlin, 1981. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 1981.
- DIN 58200.  
*Maßsystem für Brillen und Fassungen*. Beuth Verlag, Berlin, 1986. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 1986.
- Dirken, J.M.  
*Functionele leeftijd van oudere werknemers: arbeidspsychologisch gedeelte van het gerontologisch onderzoek*. Nederlands Instituut voor Praeventieve Geneeskunde, 1963.
- Dirken, J.M. et al.  
*Functionele leeftijd van industrie-arbeiders. De ontwikkeling van een meetmethode*. Nederlands Instituut voor Preventieve Geneeskunde, TNO, Leiden. Wolters-Noordhoff, Groningen, 1968.
- Dirken, J.M. (ed.)  
*Functional age of Industrial workers, a transversal survey of ageing capacities and a method for assessing functional age*. Netherlands Institute for Preventive Medicine, TNO, Leiden. Wolters-Noordhoff publishing, Groningen, 1972.

- Dirken, J.M., J.W. Smeets, J.F.M. Molenbroek en F.H. Post.  
*Antropometrische ergonomie 1023*, Kollegediktaat. Tussenafdeling Industriële Vormgeving, Technische Hogeschool Delft, 1980.
- Dirken, J.M.  
 Antropometrische ontwerpstatistiek: onzekerheden, regels en een voorbeeld.  
*Tijdschrift voor Ergonomie* 9 (1984) 2, 2-7.
- Dirken, J.M.  
 Inleiding tot de Produkt- en systeemergonomie. *Dictaat ide 130*. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, Technische Universiteit Delft, 1993.
- Döbeln, W. von  
 In: Haak et al. *De samenstelling van het menselijk lichaam*. Van Gorcum, Assen, 1968.
- Donkers, E., Toussaint, H., Molenbroek, J.F.M. and Steenbekkers, L.P.A.  
 Recommendations for the assesment and Design of young children's bicycles on the basis of Anthropometric Data. *Applied Ergonomics* 24 (1993) 2, 109-118.
- Donnelly, T.G.  
 BIVNOR: Algorithm 462, 'Bivariate Normal Distribution'. *Communications of the ACM* 16 (1973) 10, 638.
- Doorn A. van en J.A. van Links.  
*Praktisch Leerboek der statistiek*. Honig, Utrecht, 1969.
- Drenth, P.J.D.  
*Inleiding in de testtheorie*. Van Loghum Slateren, Deventer, 1980.
- Dreyfuss, H.  
*The Measure of Man, Human Factors in Design*. Whitney Publications, New York, 1959, 1960, 1967.
- Drillis, R.J.  
 Folk norms and biomechanics. *Human Factors* 5 (1963) 427 - 441.
- Dunnett, C.W.  
 Multivariate Normal Probability Integrals with product correlation structure.  
*Applied Statistics* 37 (1988) 564-579.
- Durnin, J.V.G.A. and M.M. Ramahan.  
 The assesment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness. *Br. J. of Nutrition* 21 (1967) 681-9.
- Duursma, S.A.  
 Oud worden met vallen en opstaan. *Moderne geriatrie* (1984) 10, 393-401.
- Easterby, R., K.H.E. Kroemer and D.B. Chaffin.  
*Anthropometric and biomechanics*. Theory and Application. Vol 16 in the Nato Conference Series. Plenum Press, London, 1982.

- Eekels, J.  
*Industriële doelontwikkeling* (2e druk). Van Gorcum, Assen, 1982.
- Eekels, J. en N. Roozenburg.  
*Diktaat: Ontwerpmethodologie*. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU-Delft, 1988.
- Egmond, J. van  
*Automatisering ten behoeve van de antropometrie*. Rapport AE89, sectie Antropometrische Ergonomie. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU-Delft, 1986.
- Ergodata.  
*A complete computerized system of data and research in human biometry and biomechanics*, Doc AA 243/89. Laboratoire Anthropologie Appliquée, Université René Descartes, Paris, 1989.
- Ergodata.  
*Banque de Données Individuelles. Manuel utilisateur*. Laboratoire Anthropologie Appliquée, Université Renee Descartes, Paris, 1990a.
- Ergodata.  
*Dictionnaire des mesures anthropométriques*, Laboratoire Anthropologie Appliquée, Université René Descartes, Paris, 1990b.
- Ergodata.  
*Banque de Données Agrégées. Manuel utilisateur*. Laboratoire Anthropologie Appliquée, Université René Descartes, Paris, 1990c.
- Ergodata.  
*Lexiques pour l'interrogation de la Banque de Données Anthropométriques*. Laboratoire Anthropologie Appliquée, Université René Descartes, Paris, 1991.
- Erichsen, K. Helbig und H.W. Jürgens.  
*Entwicklung einer Körperumrisschablone der Sitzenden Menschen aus der Sicht von Oben*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Dortmund, 1982.
- Erichsen, K., K. Helbig und H.W. Jürgens. Körperumrisschablone der Sitzenden in der Frontalansicht. Bundesamt für Wehrtechnik, Koblenz, 1978.
- Evans, J.A. et al. (eds)  
*Physics in Medical Ultrasound*. Institute of Physical Sciences in Medicine, London, 1986.
- Eveleth, P.B. and J.M. Tanner.  
*World-wide variation in human growth*. Eerste editie 1976. Tweede editie 1990. Cambridge University Press, 1976, 1990.
- Eyk, M. van, C.J. Snijders and J.M. van Egeraat.  
*Selecting the best fitting shoe size for two different feet of a pair*, Concept Report, Department of Biomedical Physics and Technology. Faculty of Medicine and Applied Health Sciences, Erasmus University Rotterdam, 1990.

- Flügel, B., H. Greil und K. Sommer.  
*Anthropologischer Atlas*. Grundlagen und Daten, Deutsche Demokratische Republik.  
 Verlag Tribne, Berlin, 1986.
- Freudenthal, A.  
*Gerontechnologisch ontwerpen*. Verslag 1e jaar AIO. Rapport 106 Sectie Fysieke  
 Ergonomie. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft, 1993.
- Frisch, R.E.  
 Fatness and fertility. *Scientific American* (1988) 11, 70-7.
- Froe, A. de  
*Inleiding tot de studie en de beoefening van de anthropologie*, Noord-Hollandsche,  
 Amsterdam, 1948.
- Garn, S.M.  
 Automation in Anthropometry, brief communication. *Am. J. of Phys. Anthropology*  
 20 (1962) 387-388.
- Garn, S.M. and R.H. Helmrich.  
 Next step in automated anthropometry, technical note. *Am. J. of Phys. Anthropology*  
 26 (1968) 97-100.
- Garn, S.M., Pesich, S.D. and J.J. Pilkington.  
*The interaction between Prenatal and socio economic effects, on Growth and  
 Development in Childhood*. In: Borms, J. (ed.) et al., 1984.
- Garrett, J.W. and J.W. Kennedy.  
 A collation of anthropometry. *National Technical Informational Service* 5285,  
 Springfield, USA, (1971), vol 1 and 2.
- Garrow, J.S. et al.  
 A new method for measuring the body density of obese adults. *B.J. Nutr* 42 (1979)  
 173-83.
- Garrow, J.S. and J. Webster.  
 Quetelet's index (W/H<sup>2</sup>) as a measure of fatness. *Int. J. of obesity* 9 (1986) 147-53.
- Gerhardt, W.  
*Databasetechnologie, quo vadis*. Intreerede, Faculteit Technische Wiskunde en  
 Informatica. TU-Delft, 7 april 1993.
- Gerver, W.J.M. *Measurements of the body proportions in children*. (The Oosterwolde  
 study). Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen, 1988.
- Giurelli, B.L. and P.L. Mitchell.  
*1987 HFS Annual Meeting comes to New York City*, Preliminary Program, Human  
 Factors Society. Bulletin 30 (1987) 8, 1-15.
- Griffioen, F.M.M. and W. de Boer.  
*Groei van kinderen van 0-6 jaar op Marken*. Proefschrift, Universiteit van  
 Amsterdam, 1981.



- Gould, S.J.  
*The Mismeasure of Man*. Northon, New York, 1981.
- Grandjean, E.  
*Ergonomics of the home*. Taylor & Francis, Londen, 1973.
- Grandjean, E.  
*Fitting the task to the man: An ergonomic approach*. Taylor & Francis, Londen, 1980.
- Grandjean, E. (ed).  
*Ergonomics and health in modern offices*. Taylor & Francis, Londen, 1984.
- Groot, A.D. de  
*Methodologie, grondslagen van onderzoek en denken in de gedragswetenschappen*.  
Mouton, Den Haag, 1968.
- Gundlach, B.  
Interview, *Zuivel en Voeding*, 1985.
- Haak, A., R. Steendijk en J.F. de Wijn.  
*De samenstelling van het menselijk lichaam*. Van Gorcum, Assen, 1968.
- Haaster, F.A.C. van.  
*Notitie met de vraag over het bepalen van betrouwbaarheidsgrenzen*, die aanleiding was voor het ontstaan van het programma EXOBS dd 7-7-1988. Ontwerpbureau van Haaster, Amsterdam, 1988.
- Hameeteman, T.M.  
*Foetale echo-cephalometrie*. Proefschrift, Rijksuniversiteit, Utrecht, 1973.
- Harbison, G.  
A chance to be taller. Growth hormone provides hope and a potential for abuse.  
*Time*, January 8, 1990.
- Hark, T. ter en J.F.M. Molenbroek.  
*Antropometrie van kinderen, 4 - 14 jaar. Het DELKI-gegevensbestand*, Rapport 88, sectie Antropometrische Ergonomie. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU-Delft, 1986.
- Haslegrave, C.M.  
An anthropometric survey of British drivers. *Ergonomics* 22 (1979) 2, 145-53.
- Haslegrave, C.M.  
Anthropometric profile of the British car driver. *Ergonomics* 23 (1980) 5, 437-67.
- Haslegrave, C.M.  
Characterizing the anthropometric extremes of the population. *Ergonomics* 29 (1986) 2, 281-301.
- Hawes, M.R. and D. Sovak  
Quantitative morphology of the human foot in a North American population  
*Ergonomics* 37 (1994) 7, 1213-1226

- Heath, B.H. and J.E.L. Carter.  
A modified somatotype method. *Am. J. of Phys. Anthropology* 27 (1969) 57-74.
- Heberer, G., G. Kurth and I. Schwidetzky-Roesing.  
*Anthropologie*. Fischer Bücherei, Frankfurt am Main, FRG, 1959.
- Heddenhauser (Briefwisseling).  
*Körpergröße und -Gewicht bei erstuntersuchten, Wehrpflichtigen im Bundesgebiet*. Der Bundesminister der Verteidigung, Bonn, 1987.
- Hediger, M.L.  
*Models for estimating intrarutrine growth and predicting postnatal growth in a black population*. Dissertation, University of Pennsylvania, USA, 1985.
- Henstra, G. en A.Venemans.  
*Het gebruik van antropometrische gegevens door afstudeerders van de Afdeling Industrieel Ontwerpen*. Verslag van een onderzoekstage begeleid door J.F.M. Molenbroek, Tussenafdeling van het Industrieel Ontwerpen, TH Delft, 1987.
- Henze, L. en H. Staarink.  
Project kinderrolstoelen. *Richtlijnen voor de maatvoering van kinderrolstoelen*. Gemeenschappelijk Medische Dienst, Amsterdam, 1989.
- Hernandez, M. and J.Argenta (eds).  
Human Growth: basic and Clinical Aspects. *Proceedings of the Sixth International Congress of Auxology*, Madrid, Spain, 15-19 sept 1991. Elsevier, Amsterdam, 1992.
- Herron, R.E.  
Biostereometric Measurement of Body Form. *Yearbook of Physical Anthropology* 16 (1972) 80-121.
- Herron, R.E.  
*Biostereometrie: A Brief Overview*. In: Coblentz and Herron (1986)
- Hertzberg, H.T.E., G.S. Daniels and E. Churchill.  
*Anthropometry of flying personnel*. Ohio, Wright Patterson Air Force Base, 1954. WADC-TR-52-321.
- Hertzberg, H.T.E., C.W. Dupertuis and I. Emanuel.  
Stereophotogrammetry as an Anthropometric Tool. *Photogrammetric Engineering* 23 (1957) 942-947.
- Hertzberg, H.T.E.  
Dynamic Anthropometry of Working Positions. *Human Factors* 2 (1960) 3, 147-155.
- Hertzberg, H.T.E.  
The conference on standardization of anthropometric techniques and terminology. *Am. J. of Phys. Anthropology* 28 (1968) 1, 1-16.
- Hickey, D.T., M.R. Pierrynowski and P.L. Rothwell. *Man-modelling CAD programs for Workspace Evaluations*. University of Toronto, 1985.

- Hiernaux, J.  
*La croissance des écoliers Rwandais*. Koninklijke Academie voor overzeese Wetenschappen. Brussel, 1965.
- Hill, I.D.  
 ALNORM, Algorithm AS66, 'The Normal Integral'. *Applied Statistics* 22 (1973) 3, 425-427.
- Hobson, D.A., C.G. Shaw, L.C. Monahan, K.C. Chung and C.A. McLaurin.  
*Antropometric studies for the physically disabled, vol.1 - cerebral palsy*. University of Tennessee, Rehabilitation Engineering Center, Memphis, 1987.
- Hobson, D.A.  
*Contributions of Posture and Deformity to the Body-seat. Interface Conditions of a person with Spinal Cord Injuries*. PhD-Thesis, University of Glasgow, 1988.
- Hobson, D. A. and J.F.M. Molenbroek.  
 Anthropometry and design for the disabled: Experiences with seating design for the cerebral palsy population. *Applied Ergonomics* 21 (1990) 1, 43-54.
- Hoefnagels, W.A.M. en D. van Aken.  
*Safety criteria for trapping hazards*. Report 108, ISBN 90-6788-125-2, Consumer Safety Institute, Amsterdam, 1991.
- Hoefnagels, W.A.M., Molenbroek, J.F.M. and R.Vermeulen.  
 Adapted Kitchens. *Journal of Rehabilitation Sciences* 5 (1992) 1, 26-31.
- Hoekstra, P.N.  
*ADAPS, herkomst van de gegevens*. Rapport sectie Antropometrische Ergonomie no 69, Afdeling van het Industrieel Ontwerpen, TU-Delft, 1985.
- Hoekstra, P.N.  
 Education and Research in Computer-aided, Workplace Assessment. *Proceedings of interface 87*, Human Factors Society, Santa Monica, 1987.
- Hoekstra, P.N.  
 Developments in accessibility of computer aided anthropometric assessment. *Proceedings of Human Factors Society Annual Meeting*, Anaheim, USA, 1988.
- Hoekstra, P.N.  
 Computer aided anthropometric assessment: Facts aiding feelings. *Proceedings Interface 89*. The 6th symposium on human factors and industrial design in consumer products, p 205-206, Santa Monica, USA, 1989.
- Hoekstra, P.N.  
*Manual ADAPS Rapport AE105* Sectie Fysieke Ergonomie, Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft, 1993.
- Hoekstra, P.N.  
 Some aspects of quantifying an anthropometric model's field of view. *Contemporary Ergonomics '94*. Ed. S.A. Robertson, Taylor & Francis, London, 1994

Hogg R.V. and A.T. Craig.

*Introduction to mathematical statistics.* Collier-Macmillan, London, 1978.

Hoogh, M. de

*Interne notities*, waarin de software wordt beschreven die voor dit project is ontwikkeld: EXOBS, ELLIPS, DESCRIPT, FMULNOR, ANTROTEEK, PROFIEL. Faculteit Industrieel Ontwerpen, TU Delft, 1992.

Hoolboom-Van Dijck, S.J.M.

*Geneeskundig handwoordenboek.* Stafleu, Leiden, 1974.

Howells, W.W.

The distribution of man. *Scientific American* (1960) 9, 19-28.

Hussen, J.G.M. van

Resultaten van keuring van dienstplichtigen, 1984-1985. *Mndber Gezondheid CBS* (1986) 11-12, 26-45.

Hussen, J.G.M. van

Lengte van jonge mannen per provincie, lichting 1948-1987. *Mndber Gezondheid CBS* (1988) 11/12, 5-12.

Hussen, J.G.M. van

Dienstplichtkeuringen. Resultaten van de keuring van dienstplichtigen, 1986-1988. *Mndber Gezondheid CBS* (1990) 4, 5-25.

Hutchinson, T.P. and C.M. Haslegrave.

Determinants of patterns of human body measurements by use of partial correlations. *Ergonomics* 23 (1980) 5, 475-83.

ICE (Institute for Consumer Ergonomics).

Seated anthropometry: the problems involved in a large scale survey of disabled and elderly people. *Ergonomics* 24 (1981) 11, 831-845.

ICE (Institute for Consumer Ergonomics).

*Seating for elderly and disabled people Report no.2, Anthropometric survey.* University of Loughbourough, UK, 1983.

ILS-TNO.

*Literatuurstudie inzake het verzamelen van antropometrische gegevens, in het bijzonder ten aanzien van de voet.* TDCK 72423/projectnr 1000 63 475. Instituut voor Leder en Schoenen TNO, Waalwijk, 1979.

ILS-TNO.

*Cursus Schoenen.* Instituut voor Leder en Schoenen TNO, Waalwijk, 1984.

Iscan, M.Y.

Assessment of Race from the Pelvis. *Am. J. of Phys. Anthropology* 62 (1983) 205-8.

ISO/DIS 7250.

*Core list of anthropometric measurements.* Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 1980.

ISO/DP 7250.

*Basic list of anthropometric measurements 1988.* Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 1988.

Jaarboek Ontwerpen 1, 2, 3.

Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU-Delft, 1989.

Jensen, R.K.

Body segment mass and radius of gyration from proportions of children. *J of Biomechanics* 19 (1986) 5, 359-368.

Jensen, K. and G. Nassas.

*A mixed longitudinal description of body shape growth.* In: Coblentz and Herron (1986).

Jenner, R.D, H.Kaufmann, D.Schäfer und W.O. Bauer. Bosch-Arbeitshilfen für die ergonomische Arbeitsplatzgestaltung, zeichenschablonen für die menschliche gestalt. Robert Bosch GmbH, Stuttgart, 1978.

Johnston, F.E., A.F. Roche and C. Susanne. *Human Physical Growth and Maturation. Methodologies and Factors.* NATO Advanced Study Institutes Series, Plenum Press, New York, 1980.

Jones, P.R.M. and G.M. West.

Anthropometric and clothing measurement methods. *Technology Review* 14 (1989) 4.

Jong, J.R. de, J.W. Smeets, R. Vellinga en J.J. Jacobs.

*Zittend werken.* Kluwer, Deventer. Stichting Werkplek Verbetering, Zoetermeer, 1982.

Jürgens, H.W.

Zur Standardisierung anthropometrischer Methoden. *Anthropologische Anzeiger* 36 (1978) 208-218.

Jürgens, H.W., D. Halbricht-Benthim und W. Lengsfeld.

*Körpermasse 20-jähriger Männer als Grundlage für die Gestaltung von Arbeitsgerät, Ausrüstung und Arbeitsplatz.* Der Bundesminister der Verteidigung, Bonn, 1972.

Jürgens, H.W.

Körpermasse 25-40 jähriger Männer zur Prüfung der anthropometrisch-ergonomischen Bedeutung altersbedingter Veränderung der Körperform. *Forschungsbericht aus der Wehrmedizin* BMVg-FBWM 73-1. Der Bundesminister der Verteidigung, Bonn, 1973.

Jürgens, H.W., K.Helbig und Th. Kopka.

Funktionsgerechte Körperrißschablonen. *Ergonomics*, 18 (1975) 2, 185-194.

Jürgens H.W., U. Pieper und U. Drenhaus.

*Anthropometrisch ergonomische Untersuchungen an 14- bis 19-jährigen; Jugendlichen und Frauen.* Der Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung, Bonn, 1977.

- Jürgens, H.W., I.W. Aune und U. Pieper.  
*Internationaler Anthropometrischer Datenatlas*, FB587. Bundes Anstalt für Unfallforschung, Dortmund, 1989.
- Jürgens, H.W. und U. Pieper.  
*Anthropometrische Daten von ausländischen Arbeitsnehmern*. Bundes Anstalt für Unfallforschung, Dortmund, 1984.
- Kanis H.  
*Gebruiksonderzoek*. Een verkennende studie, intern rapport sekte AEO, Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU-Delft, 1987.
- Kanis, H.  
 Reliability in Ergonomics/Human Factors. *Contemporary Ergonomics* 1993, 91-96. Taylor & Francis, London, 1993.
- Kanis, H.  
 Validation in Ergonomics/Human Factors. *Contemporary Ergonomics* 1994, 113-118. Taylor & Francis, London, 1994a
- Kanis, H.  
 On validation. *Proceedings 38th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society*, Santa Monica, USA, 1994b.
- Kemper, H.G. en J.J.L. Pieters.  
 Comparative study of anthropometric measurements of the same subjects in two different institutes. *Am. J. Phys. Antrop.* 40 (1974) 3, 341-344.
- Kemper, H.C.G. (ed)  
 Growth Health and Fitness of Teenagers. Vol 20, *Medicine and Sport Science*. Karger, Basel, 1985.
- Kennedy, K.W.  
*Workspace evaluation and Design: USAF Drawing Board Manikins*. In: Easterby, R., K.H.E. Kroemer and D.B. Chaffin (1982).
- King, H.A. and J.E.L. Carter.  
*Exploratory Factor Analysis of Anthropometric Measurements of Montreal Olympic Athletes*. In: Carter (1982).
- Knook, D.L.  
 Verouderen. Het venijn zit in de cel. *Natuur en Techniek* 50 (1982) 11, 831-849.
- Knook, D.L.  
 Veroudering van cel tot orgaan, *Arts en Wereld* 18 (1985) 4, 45-50.
- Knussman, R.  
*Anthropologie*. Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen (begrundet von Rudolf Martin). Fischer Verlag, Stuttgart, 1988.

- Koopman, P.  
*Maten van baby's en peuters; 0-4 jaar.* Rapport AE 90, sectie Antropometrische Ergonomie. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU-Delft, 1987.
- Kretschmer, E.  
*Körperbau und Charakter.* Untersuchungen zum Konstitutions Problem und zur Lehre von den Temperamenten, 13e und 14e Verbesserte und Vermehrte Auflage. Springer, Berlin, 1940.
- Kroemer, K.H.E., H.J. Kroemer and K.E. Kroemer - Elbert.  
*Engineering Physiology.* Elsevier, Amsterdam, 1986.
- Kroemer, K.H.E., S.H. Snook, S.K. Meadows and S. Deutsch (eds).  
*Ergonomic Models of Anthropometry, Human Biomechanics, and Operator Equipment Interfaces.* Proceedings of a workshop. National Research Council. National Academic Press, Washington, D.C. 1988.
- Kroonenberg, H.H. van den  
*Handleiding ontwerpen in de algemene propaedeuse.* Kollegediktaat, TH Twente, 1973.
- Kroonenberg, H.H. van den  
 Methodisch ontwerpen. *De Ingenieur* 86 (1974) 47, 915-923.
- Kruit, W en G. Schilling.  
*Dimensies in de natuur.* Aramith, Amsterdam, 1987.
- Kuitert, G.  
 Telecats laat computer de telefoon aannemen. *UT-Mediair* (1994) 4, 36-37
- Lamberts, H.  
*Een psychosociaal, anthropometrisch en arbeidsfysiologisch profiel van gewone en van geestelijk niet-stabiele dienstplichtigen.* Proefschrift, Rijksuniversiteit Leiden, 1969.
- Lane, N.E., D.A. Bloch and P.D. Wood  
 Aging, long distance running, and the development of musculoskeletal disability. A controlled study. *Am. J. of med.* 82 (1987) 4, 772-80.
- Lange, W. et al.  
*Kleine Ergonomische Datensammlung,* Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung. Dortmund, 1985.
- Langezaal, C.F.M.  
*Echografie in de Verloskunde.* Proefschrift, Rijksuniversiteit Leiden, 1971.
- Langman, J.  
*Inleiding tot de embryologie,* Oosthoek, 1973. Nederlandse versie van 'Medical Embryology'. Williams & Wilkins, Baltimore, USA, 1963.
- Langman, J.  
*Inleiding tot de embryologie.* (9e editie) Bohn, Scheltema en Holtema, 1982.
- Lankhorst, P.  
*Intern verslag behorend bij de eerste versie van de electronische DINED-tabel:*

- ANTROTEEK*. Sectie Antropometrische Ergonomie, Vakgroep Produktergonomie, Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU-Delft, 1988.
- Lanz, T. von und W. Wachsmuth.  
*Praktische Anatomie: ein Lehr- und Hilfsbuch der Anatomischen Grundlagen*. Springer, Berlin, 1959.
- Laubach, L. and J.T. McConville.  
*Notes on Anthropometric Techniques*. Anthropometric Measurements Right and Left Sides. *Am. J. of Phys. Anthropology* 26 (1976) 3, 376-80.
- Laurig, W. and V. Rombach.  
Experts systems in ergonomics: requirements and an approach. *Ergonomics* 32 (1989) 7, 795-811.
- Lauwers, M.C., Hauspie, R. et al.  
*Analysis of Growth in Height and Weight of Belgian Children in Relation to Lead Levels in the Air*. In: Borms J. et al. (1984) 115-25.
- Lemonick, M.D.  
How Man Began. *Time*, March 1994, 42-49.
- Lee, T.J. et al.  
*Growth in Children with Diabetes*. In: Borms J. et al. (1984) 613-19.
- Leusden, H. van, A. Kuijstra en L. van Leeuwen.  
*Huishoudensdemografie: ontwikkelingen in een nieuwe tak van de demografie*. Ned. Vereniging voor Demografie, Den Haag, 1986.
- Lewin, T., U. Rempe and H.W. Jürgens.  
Beziehungen zwischen Gesichtsmassen und Berufen, bei Schwedinnen aus Göteborg. *Z. für Morphologie und Anthropologie* 61 (1969) 3, 245-57.
- Lewontin, R.  
Menselijke verscheidenheid. Het spel van erfelijkheid, milieu en toeval. *Natuur en Techniek*, Maastricht, 1985.
- Lieberman, L.S. et al.  
*Changes in Growth and Body Composition Related to Control in children with Diabetes*. In: Borms et al. (1984), 619-27.
- Lippmann, R.  
Arbeitsgestaltung mit CAD und ANYBODY. *REFA-Nachrichten* 41 (1988a) 2, 5-13.
- Lippmann, R.  
Arbeitsgestaltung mit CAD und ANYBODY. *REFA-Nachrichten* 2 (1988b) 4, 1-8.
- Lippmann, R.  
*ANTHROPOS: Man inside the computer*. IST GmbH, Gernsheim, Deutschland, (1993).
- 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.
- Lotens, W.A., C.E.S. Brissland and G. Havenith  
*Definitie antropometrisch onderzoek Nederlandse bevolking*. Rapport C-28, TNO-IZF 1993
- Maas, G.D.  
*The Physique of athletes*. An anthropometric study of 285 top sportsmen from 14 sports in a total of 774 athletes. Thesis, University of Leiden, 1974.
- Maat, G.J.R.  
*A search for secular growth changes in the Netherlands preceding 1850*. In: Borms et al. (1984)
- Madge, R.  
Modelmaking is widely respected as a fundamental design technique - it's dangerous to ignore it. *Design* 26 (1974) 309, 54-61.
- Madlener, M.M.  
*Van menarche tot menopauze*. Synopsis van de gynaecologische endocrinologie. Stafleu, Leiden, 1978.
- Malina, R en C.Bouchard.  
*Growth, maturation and physical activity*. Human Kinetics Books, Champaign, Illinois, 1991.
- Martin, R.  
*Anthropometrie*. Anleitung zu selbständigen anthropologische Erhebungen und deren statistischen Verarbeitung. Verlag von Julius Springer, Berlin, 1925.
- Martin, R. und K. Saller  
*Lehrbuch der Anthropologie, in systematischer Darstellung mit besonderer Berücksichtigung der anthropologischen Methoden*. Band 1, 1957, Band 2, 1959, Band 3, 1960. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart.
- Marubini, E., L.F. Resele and G. Barghini.  
A comparative fitting of the Gompertz and logistic functions to longitudinal height data during adolescence in girls. *Human Biology* 43 (1971) 237-52.
- Marubini, E.  
*Mathematical Handling of Long-term Longitudinal Data*. In: Falkner, F., Human Growth, Plenum Press, 1978.
- McConalogue, D.J.  
Object-oriented Databases:how do they differ from the relational, and what are the implications for CAD. In: H.Krabowski. *Proceedings Technodata* 90, Springer Verlag, Berlin, 1990.
- McMahon, T.  
Size and Shape in Biology. Elastic criteria impose limits on biological proportions, and consequently on metabolic rates. *Science* 179 (1973) 1201-1204.

- McMahon, T. and J.T. Tyler Bonner.  
*On size and life*. Scientific American Books, New York, 1983.
- McWhirter, Norm.  
*Het Groot Guinness Record Boek*, Luitingh, Utrecht, 1983.
- Meelen, A.J.  
*Syllabus Statistiek Industrieel Ontwerpen*. Faculteit Wiskunde en Informatica, Technische Universiteit Delft, 1984.
- Megaw, T.  
 The future of European Databases. *Proceedings of the Annual Ergonomics Society*. Ergonomics International (1980) p 624-626.
- Meister, D.  
*Conceptual Aspects of Human Factors*. The John Hopkins University Press, London, 1989.
- Meyboom - de Jong, B.  
 Vetzucht (Adipositas). *Huisarts en Wetenschap* 29 (1986) 178-183.
- Moes, C.C.M. and C.M.J. van Hulst.  
 The dynamic assessment of pressure distribution on bicycle saddles. In: G.P.H. Hermans and W.L. Mosterd (eds). Sports, medicine and health. *Proceedings of the XXIV World congress of sports medicine*, Amsterdam (1990) 797-801
- 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. en J.M. Dirken.  
*DINED-tabel, Nederlandse lichaamsmaten voor ontwerpen*. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft, okt 1986.
- Molenbroek, J.F.M. en C. van der Sluis.  
*Maten van studenten*, Rapport AE91, sectie Antropometrische Ergonomie, Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU-Delft, 1986.
- Molenbroek, J.F.M.  
 Nederlandse lichaamsmaten voor ontwerpen; DINED-tabel. *T. voor Ergonomie* 11 (1986) 4, 16-19.
- Molenbroek, J.F.M.  
 Anthropometry of the elderly people in the Netherlands; Research and applications. *Applied Ergonomics* 18 (1987) 3, 187-99.
- Molenbroek, J.F.M.  
 Anthropometry for wheelchair users. *Abstracts Third European Conference on research in rehabilitation*. Rotterdam, 8-10 June 1988, Pag. 90.
- Mollard, R.  
*Apport de la Biostéréométrie dans la modélisation du corps humain- Aspects statiques et*

- dynamiques*. Laboratoire Anthropologie Appliquée, Université René Descartes, Paris, 1987.
- Moore, K.L.  
*The Developing Human Clinically Oriented Embryology*. Saunders, London, 1977.
- Muller, H.K.  
*Een oriënterend somatometrisch en densitometrisch onderzoek*. Proefschrift, Leiden, 1972.
- Muller, H.K.  
Over het normale gewicht. *Ned. T. v. Geneeskunde* 124 (1980) 44, 1873-1878.
- Muller, W.  
*Vormgeven, ordening en betekenisgeving*. Lemma, Utrecht, 1990.
- Munnik, M.J., J.F.M. Molenbroek and A.H. Marinissen.  
The use of mobility aids by children with cerebral palsy: a pilot investigation. *J of rehabilitation sciences* 6 (1993) 1, 13-20.
- Murrell, K.F.M.  
*Ergonomics*. Chapman and Wall, London 1969.
- NCHS.  
*Vital and Health Statistics 1976-1980*. Series II, no 238. US National Center for Health Statistics, 1985.
- Nederlandse Groeistichting.  
*Jaarverslag 1984*, Afd. Kindergeneeskunde, St. Radboudziekenhuis Nijmegen, 1985.
- NEN-EN547 ontwerp.  
*Veiligheid van machines-Menselijke lichaamsafmetingen*. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 1991.
- NEN1812.  
*Ergonomische criteria voor kantoorwerkstoelen en kantoorwerktafels*. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 1992.
- NEN2736 ontwerp.  
*Ergonomie-Basislijst van Antropometrische metingen*. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 1991.
- NEN-EN979 ontwerp.  
*Basislijst van definities van menselijke lichaamsafmetingen voor het technisch ontwerpen*. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 1993.
- NEN3531.  
*Schoolmeubelen, tafels en stoelen*. Nederlands Normalisatie Instituut, Rijswijk, 1977.
- Neyzi, O, et al.  
*Influence of Feeding Pattern in Early Infancy on Ponderal, Index and Relative Weight*. In: Borms, J. et al. (1984)

- Niermeyer, M.F.  
Vakgroep Klinische Genetica, EUR, Rotterdam. *Persoonlijke mededeling*, mei 1987.
- NPR1813.  
*Ergonomische uitgangspunten voor kantoormeubelen en aanwijzing voor het gebruik*. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 1992.
- NPR2737.  
*Richlijnen voor het opzetten van een antropometrisch onderzoek*. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 1991.
- NPR3831.  
*Goed zitten op school*. Toelichting bij NEN3531. Nederlands Normalisatie Instituut, Rijswijk, 1977.
- NRC, (6 juli 1988).  
Productie van schoenen in Nederland.
- NTVG (Nederland Tijdschrift voor Geneeskunde).  
Syndroom van Down, (redactioneel commentaar). *Ned. T. v. Geneeskunde* 133 (1989) 14, 740.
- Oh, S and R.G. Radwin.  
Pistol Grip Power Tool Handle and Trigger Size Effects on Grip Exertions and Operator Preference. *Human Factors* 35 (1993) 3, 551-569.
- Oppers, U.M.  
The secular trend in growth and maturation in the Netherlands. *T. Soc. Geneesk.* 44 (1966) 539.
- Parizkova, J.  
*De bepaling van de vetvrije massa m.b.v. densitometrie*. In: Haak et al. (1968).
- Peacock, B and W. Karwowski.  
*Automotive Ergonomics*. Taylor & Francis, London, 1993
- Pelsma, K.H.  
*Ergonomics Sourcebook, A guide to human factors information*. The Report Store, Ergosyst, Massachusettes, Kansas, USA, 1987.
- Peltenburg, A.L.  
*Growth and biological development of female athletes*. Proefschrift, Rijksuniversiteit Utrecht, 1984.
- People Size.  
New Product Review. *Ergonomist*, february 1993, p 4.
- Peters, T. von  
Anthropometrische und Physiologische Grundlagen zur Gestaltung von Broarbeitssitzen. *Ergonomics* 12 (1969) 2, 162-70.
- Petersen, G.  
*Beoordeling van somatotypen bij kinderen*. Van Gorcum, Assen, 1959.

- Petersen, G.  
*Atlas for somatotyping children*. Van Gorcum, Assen, 1967.
- Pheasant, S.T.  
A technique for estimating anthropometric data from the parameters of the distribution of stature. *Ergonomics*, 29 (1982) 11, 981-92.
- Pheasant, S.  
*Bodyspace*. Anthropometry, Ergonomics and Design. Taylor & Francis, London, 1986.
- Pieper, U. und H.W. Jürgens.  
*Anthropometrische Untersuchungen zu Bau und Funktion des Kindlichen Körper*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Dortmund, 1977.
- Porter, J.M., K. Case, M.T. Freer and M.C. Bonney.  
Computer-aided ergonomics design of automobiles. In: Peacock, B. and W. Karwowski. *Automotive ergonomics*. Taylor & Francis, London, 1993.
- Post, F.H.  
*Werkplek-ontwerpen met antropometrische en biomechanische computermodellen*. Afstudeerverslag. Afdeling Industriële Vormgeving, TH-Delft, 1979.
- Prader, A.  
*Biomedical and endocrinological aspects of normal growth and development*. In: Borms et al. (1984).
- Prahl-Andersen, B., C.J. Kowalski and P. Heydendahl.  
*A mixed-Longitudinal interdisciplinary study of Growth and Development*. Academic Press, London, 1979.
- Prahl-Andersen, B., A.J. Pollmann, D.J. Raaben and K.A. Peters.  
Automated Anthropometry (Technical Note). *Am. J. Phys. Anthropol* 37 (1979) 151-154.
- Proos, L.A.  
Anthropometry in Adolescence, Secular Trends, Adoption, Ethnic and Environmental Differences. *Horm Res* 39 (1993) suppl 3, 18-24
- Quetelet, A.D.  
*Anthropométrie ou Mesure des Différentes Facultés de l'Homme*. C. Musquardt, Bruxelles et J. Baillière & Fils, Paris, 1871.
- Ramaekers, Y., J.F.M. Molenbroek en J.M. Dirken.  
*Investigation into a system of measures for chairs and tables for educational institutions*. CEN/TC 207/WG 5/TG 1 N 56. Faculty of Industrial Design Engineering, Delft University of Technology, 1993.
- Redgrove, J.  
Fitting the job to the woman: a critical review. *Applied Ergonomics* 10 (1979) 4, 215-23.

- Redgrove, J.  
Women are not from Lilliput or Bedlam. *Ergonomics* 17 (1984) 5, 469-74.
- Reischl, U.  
*Ergobase*. Global anthropometric database. Biomechanics Corporation of America, New York, 1989.
- Renaud, C., R. Steck and J.C. Pineau.  
*3-D Human Body models in CAD: Anthropometric Aspects*. In: Coblentz and Herron (1986).
- Rieff, E.  
*HTS-stageverslag uitbreiding 'ANTROTEEK'*. Sectie Antropometrische Ergonomie, Vakgroep Produktergonomie, Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU-Delft, 1991.
- Riesenberg, D.E.  
Aging process yields secrets to longterm study at unique research center. *J. Am. Med. Assoc.* (1986) 225, 865-73.
- Rijters-Aris, C.A.E. (a)  
*Multifactoriële achtergronden van ontwikkeling en groei*. In: Brande, J.L. Van den (1986).
- Rijters-Aris, C.A.E. (b)  
*Genetische invloeden op de postnatale ontwikkeling en groei*. In: Brande, J.L. Van den (1986).
- Rijke, M. de  
*Kinderen en hun maatjes (literatuuronderzoek)*. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU-Delft, 1985. Stichting Consument en Veiligheid, Amsterdam, 1985.
- Rives, N.W. and W.J. Serow.  
*Introduction to applied demography*. Datasources and estimation techniques. Series: Quantitative Applications in Social Sciences, SAGE Publications, London, 1987.
- Roche, A.F.  
*Growth, Maturation and Body Composition*. The Fels Longitudinal Study 1929-1991. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1992.
- Roebuck, J.A., K.H.E. Kroemer and W.G. Thomson.  
*Engineering anthropometry methods*. Wiley, London, 1975.
- Roede, M.J.  
*Somatic development*. In: Prah-Andersen et al. (1979).
- Roede, M.J. en J.C. van Wieringen.  
*De Nederlandse Groeidiagrammen 1980*. Samson, Alphen a/d Rijn, 1982.
- Roede, M.J. and J.C. van Wieringen. Growth Diagrams 1980.  
Netherlands third nation-wide survey (supplement). *T. voor Soc. Gezondheidszorg* 63 (1985) 12, 1-34.

Rogmans, W.H.J. en H.J. Klasen.

Preventie van ongevallen in de privésfeer bij de bejaarden. *T. Soc. Gezondheidsz.* 61 (1983) 2, 63-7.

Roozenburg, N.F.M. en J. Eekels.

*Produktontwerpen, structuur en methoden.* Utrecht, Lemma, 1991.

Ross, W.D. and N.C. Wilson.

*A stratagem for proportional growth assessment.* In: Borms and Hebbelink (1974).

Ross, W.D., R. Ward, R.M. Leahy and J.A.P. Day.

*Proportionality of Montreal Athletes.* In: Carter (1982).

Ruiter, I.A.

Education in computer aided anthropometric assessment. In: Megan, E.D. *Contemporary ergonomics. Proc. Ergonomics Society*, 1989, p 138-143. Taylor and Francis, London, 1989.

Ruiter, I.A.

Development of man-models for the Dutch senior citizen. In: Lovesey, E.J. *Ergonomics setting standards for the '90's'.* *Contemporary Ergonomics* 1990, 223-228, Taylor & Francis, 1990.

Ruiter, I.A.

*ADAPS-ELDERWMN.* Voorlopig antropometrisch model van de bejaarde Nederlandse vrouw, rapport AE102, sectie Fysieke Ergonomie, Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft, 1993a.

Ruiter, I.A.

*ADAPS-ELDERMAN.* Voorlopig antropometrisch model van de bejaarde Nederlandse man, rapport AE103, sectie Fysieke Ergonomie, Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft, 1993b.

Russel, A. (redactie).

*Het groot Guinness Record Boek 1988.* Kosmos, Utrecht, 1987/88.

Saller, K.

Zie Martin.

Sanders, M. en E.J. Mc Cormick.

*Human factors in engineering and design* 6th edition, Mc Graw-Hill, New York, 1987.

SAS

*Introductory Guide, for Personal Computers,* Release 6.03 1988. SAS Institute, Cary, North Carolina 27511, USA.

SAS

*User's Guide: Statistics,* edition 1982. SAS Institute, Cary, North Carolina 27511, USA.

SAS

*Procedures Guide, for Personal Computers*, Release 6.03 1988. SAS Institute, Cary, North Carolina 27511, USA.

SAS

*Language Guide, for Personal Computers*, Release 6.03 1988. SAS Institute, Cary, North Carolina 27511, USA.

SAS/GRAPH

*User's Guide*, Release 6.03 1988. SAS Institute, Cary, North Carolina 27511, USA.

Savara, Bhim Sen and J.C. Steen.

*Applications of biostereometrics to biomedical and anthropological research*. In: Coblentz and Herron (1986).

Scammon, R.E.

The first seriatim study of human growth. *Am J Phys Anthropol* 10 (1927) 329

Schellekens, H.

De principes van de biotechnologie, 'Out of Africa': Mitochondriaal DNA en overerving via de moeder. *Med J Delft* (1994) 1, 8-11.

Schmidt-Nielsen, K.

*Scaling. Why is animal size so important?* Cambridge University Press, Cambridge, 1984.

Schmidtke, H. und H.W. Jürgens.

*Handbuch der Ergonomie*, Band 1-3. Carl Hansen Verlag, München-Wien, 1975.

Schuffel, H.

Antropometrie voor de krijgsmacht. *Tijdschrift voor Ergonomie* 14 (1989) 6, 10-14.

Seidell, J.C.

*Persoonlijke briefwisseling over data CBS gezondheidsenquête*. LU Wageningen 1985a.

Seidell, J.C.

Vetverdeling bij obese patiënten: een nieuw diagnostisch criterium?. *T. voor Soc. Gezondheidszorg* 63 (1985b) 14, 632-3.

Shapiro, S.S. and M.B. Wilk.

An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52 (1965) 3/4, 591-611.

Shapiro, R.

*De blauwdruk van de mens*, De speurtocht naar de geheimen van onze genen. Spectrum/Aula, Utrecht, 1992.

Shaw, C.G. and D.A. Hobson.

*Seat design factors for wheelchairs*, Task 9A, Anthropometric Studies. Personal communication, sept 1986, University of Tennessee, Memphis, USA.



- Sheldon, W.H, C. Dupertuis and E. McDermott.  
*Atlas of men, A guide for somatotyping the adult male at all age.* New York, Harper and Bros, 1954.
- Siewertsen, A. en J.F.M. Molenbroek.  
 Maatvoering van produkten voor gehandicapte kinderen. *Tijdschrift voor Ergonomie* 19 (1990) 4, 3 - 10, 18.
- Sinclair, D.  
*Human Growth after Birth*, 5th edition. Oxford University Press, 1989.
- Sittig, J. en H. Freudenthal.  
*De Juiste Maat, lichaamsafmetingen van Nederlandse vrouwen als basis van een nieuw maatsysteem voor damesconfectiekleding.* Stafleu, Leiden, 1951.
- Smets, G.J.F., C.J. Overbeeke and P.J. Stappers.  
 Industrial design engineering using a virtual reality system. *Proceedings ICED'93*, The Hague 17-19 August.
- Smit, M.  
*Technische Tekeningen SAMAS.* Sektie Antropometrische Ergonomie, Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft, 1988.
- Snijders, C.J.  
 Gaan en staan, schoenen. In: Frankel, V.H., M.Nordin en C.J. Snijders.  
*Biomechanica van het skeletstelsel, grondslagen en toepassingen.* De Tijdstroom, Lochem, 1984.
- Snijders, C.J., J.G.N. Snijder en H.T.E. Hoedt.  
 Biomechanische modellen in het bestek van rugklachten tijdens de zwangerschap. *T. voor Soc. Gezondheidszorg* 62 (1984) 141-7.
- Snyder, R.G. et al.  
*Anthropometry of U.S. infants and children*, SP-394. Society of Automotive Engineering, Detroit, Michigan, U.S.A., 1975.
- Snyder, R.G. et al.  
 Anthropometry of infants and youth to age 18 for product safety design SP450. *Soc. of Automotive Engineering*, Warrendale, Michigan, USA, 1977.
- Soest, J. van  
*Elementaire Statistiek.* Delftse Uitgevers Maatschappij, 1988.
- Sokal, R.R. and F.J. Rohlf.  
*Biometry. The principles and practice of statistics in biological research.* W.H. Freeman and Co, San Francisco, 1981.
- Sonsbeek, J.L.A.  
 Nederlanders, gemeten en gewogen, lengteverschillen en onder- en overgewicht bij de volwassen bevolking. *Mndber gezondheid CBS* 4 (1985) 6, 5-12.

- Steenbekkers, L.P.A.  
*Ergonomische gegevens voor kinderveiligheid*. Verslag van een proefonderzoek bij kinderen van 0-5, 5 jaar in Zuid-Holland, KIMA. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft, 1989.
- Steenbekkers, L.P.A. and J.F.M. Molenbroek.  
 Anthropometric data of children for non-specialist users. *Ergonomics* 33 (1990) 4, 421-429.
- Steenbekkers, L.P.A.  
*Child development, design implications and accident prevention*, Delft University Press, 1993.
- Stewart, J.R.  
 Ergonomic Analysis with Mannequin. *Human Factors Bulletin* 35 (1992) 2, 9-10
- Stoelinga G.B.A.  
 Groeiremming door oestrogenen. *Ned. T. v. Geneeskunde* 126 (1982) 38, 1737.
- Stoelinga G.B.A.  
 Fysiologische ontwikkelingen bij de adolescent. *The Practitioner* (1988) 8, 523 - 30.
- Stolwijk, A.M. et al.  
 Sociaal-economische status, leefstijl en gezondheid in relatie tot lengte-naar-leeftijd bij 5 en 6 jarige kinderen. *T. voor Soc. Gezondheidszorg* 68 (1990) 9, 366-370.
- Storm, T. et al.  
 The price of postmenopausal osteoporosis. *N. Engl. J. of Med.* (1990) 322, 1265-71.
- Stoutenbeek, P.H.  
*Echo-abdominometrie en foetale groei*. Proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht, 1982.
- Stunckard, A.J., T.I.A. Srensen, C. Hanis et al.  
 An adoption study of human obesity. *New England J. of Med.* 314, 1986 193-8.
- Stunckard, A.J., J.R. Harris, N.L. Pedersen and G.E. McClearn.  
 The body-mass index of twins who have been reared apart. *N. Engl. J. of Med.* (1990) 322, 1438-1487.
- Susanne, C.  
*Ageing, Continous Changes of Adulthood*. In: Johnston (1980).
- Susanne, C.  
 Individual age changes of the morphological characteristics. *Z. Hum. Eval.*, (1977) 6, 181 e.v.
- Swinkels, H.  
 Bril- en contactlensdragers in Nederland in 1985. *Mndber Gezondheid CBS* (1987) 1, 12-18.
- Tanner, J.M. and Weiner, J.S.  
 The Reliability of Photogrammetric Method of Anthropometry with a Description of a Miniature Camera Technique. *Am.J.Phys. Anthropol.* 7 (1949) 145-186.

- Tanner, J.M.  
The effect of weight-training on physique. *Am. J. of Phys. Anthropology* 10 (1952) 427-61.
- Tanner, J.M., Healey, M.J.R. et al.  
Aberdeen Growth Study, *Archives of Disease in Childhood*, 31 (1956) 382-481.
- Tanner, J.M., R.M. Whitehouse and S. Jarman.  
*The physique of the Olympic athlete*. George Allen and Unwin Ltd, London, 1964.
- Tanner, J.M.  
*Antropometrische methoden*. In: Haak et al. (1968).
- Tanner, J.M., R.H. Whitehouse, W.A. Marshall and B.S. Carter  
Prediction of adult height from height, bone age and occurrence of menarche.  
*Archives of Disease in Childhood* 50 (1975) 14.
- Tanner, J.M., R.M. Whitehouse, E. Marubini and L.F. Resele.  
The adolescent growth spurt of boys and girls of the Harpenden Growth Study.  
*Annals of Human Biology* 3 (1976) 2, 109-26.
- Tanner, J.M.  
*Foetus into Man: Physical Growth from Conception to Maturity*. Open Books, London, 1978.
- Tanner, J.M.  
*A history of the study of human growth*. Cambridge University Press, Cambridge, 1981.
- Thijs, K.  
*Projectdefinitie Ergonomie IS (interne Notitie)*. Afdeling Marketing & Ontwikkeling, Rekencentrum TU-Delft, 1992.
- Thompson, J.L. and J. Moggi-Cecchi.  
Advances in morphometrics, Analysis of size and shape of organism using Geometric Morphometrics. Report on the NATO Advance Study Institute held at Il Ciocco, Lucca, Italy, 18-30 July, 1993. *Human Evolution* 9 (1994) 1, 73-77.
- Tilley, A.R.  
*The measure of man and woman*. Henry Dreyfuss Associates, New York. Whitney Library of Design, New York, 1993.
- Tonkelaar, I. den et al.  
De middel-heup omtrekverhouding bij Nederlandse vrouwen en het verband met zelf gerapporteerde Diabetes, Mellitus, hypertensie en cholecystectomie. *Ned. T. v. Geneeskunde* 134 (1990) 139, 1900-1902.
- Troostwijk, A.L.  
*Echoscopie in de jonge zwangerschap*, Proefschrift. Vrije Universiteit Amsterdam, 1972.

- Vandenbroucke, J.P., A.W. Matroos, C. van der Bleide-Wessel en R.M. van der Weide.  
De Quetelet-index als voorspeller van de levensverwachting op middelbare leeftijd; herbeoordeling na 25 jaar bij 3091 personen. *Ned. T. v. Geneeskunde* 126 (1982) 48, 2180-84.
- Vellinga, R.  
*The Human Factor*, Ergonomics with AutoCAD and CADPEOPLE. ecCADENCE, November 1992, 59-62.
- Venrooy-Ijsselmuiden, M.E. van  
*Growth and maturation of Dutch children, a mixed longitudinal study*. Proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht, 1977.
- Verdonck, P.F.  
*Lichaamsbouw en gedrag*. Verkenning en empirisch onderzoek naar de waarde van de Sheldon-typologie voor de klinisch psychologische praktijk. De Toorts, Haarlem, 1972.
- Vergeest, J.S.M., J.J. Broek and J.W.H. Tangelder  
Automatic prototyping of complex geometries for conceptual design. In: Rabani.B. (ed), *Advances in design automation. Proceedings of the 16th Design automation conference*. Chicago. 16-19 september, ASME, New York (1990) 209-216.
- Vergeest, J.S.M.  
*Measuring the impact of computer tools on the design process*. Technical Report, Faculty of Industrial Design Engineering. Delft University of Technology, 1992
- Vergeest, J.S.M. and T. Wiegiers.  
*CAD-Data exchange and model sharing*. In: *Advances in Computer-Aided Engineering, CAD/CAM-Research at Delft University of Technology*. Report of the VF-Project CAD/CAM 1989-1994. Delft University Press, 1994, pp 179-186.
- Verhoef, H.  
*The use of short-range photogrammetry for facial a-symmetry and growth studies: analysis and model*, afstudeerverslag. Faculteit Geodesie TU Delft, 1987.
- Vermeulen, W.J.A.M.  
*Borstvoeding in Amsterdam*, skriptie Opleiding Sociale Geneeskunde, NIPG-TNO, Leiden, 1987.
- Verwey, G.C.G.  
Lengte en gewicht bij kinderen en jongeren tot 21 jaar, 1981-1992. *Mndber Gezondh* (1994) 2, pp 1-25.
- Villermé, L.-R.  
Mémoire sur la taille de l'homme en France. *Ann. Hyg. publ.* (Paris) 1 (1829) 351.
- Visser en Noorman.  
*Catalogus brillen*, Groningen, 1990.

- Vorderegger, J.R.  
*Busstoel '86*. Afstudeerverslag. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft, 1984.
- Voskamp, P. (Redactie).  
*Jaarboek Ergonomie*. Samson, Alphen aan den Rijn, 1994.
- Vries, S. de  
*Interne notitie over gezamenlijke standaarddeviatie*. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU-Delft, 1994
- Vroom, R.W.  
 What is the information that should be generated by the Engineering departments of automotive supplier companies?. *Proceedings ISATA-congres*, okt 1994a, Aachen.
- Vroom, R.W.  
*From Databases to Datamanagement within productdevelopment*. In: Advances in Computer-Aided Engineering, CAD/CAM-Research at Delft University of Technology. Report of the VF-Project CAD/CAM 1989-1994. Delft University Press, 1994b, pp 187-196.
- Vuisting, W., C.A.J. Schenk en H.J.M. van Liempt.  
*Voetmeetproject*, inspectie Geneeskundige Dienst Koninklijke Landmacht. Technische Hogeschool Eindhoven, 1979.
- Warwick, R., P.L. Williams (eds.).  
*Gray's Anatomy*, Longman, Edinburgh, UK, 1973.
- Weiner, J.S.  
 Anthropological considerations in ergonomics. In: *Ergonomics in machine design*. Proceedings of a symposium, Prague, 2-7 oktober 1967, ILO, Czechoslovak Medical Society J.E. Purkyne, Geneva, 1969.
- Wendel, I.E.M.  
*Validiteit*, literatuuronderzoek in het kader van het 2-jarig AIO-schap. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft, 1989.
- Westerink, J., H. Tragter, A. v.d. Star and D.P. Rookmaker.  
 TADAPS, a CAD man-model for anthropometrical and biomechanical workspace and posture evaluations. In: Karowski, W., *Computer Aided Ergonomics*. Taylor and Francis, 1990.
- Wichelow, M.J. and B.D. Cox.  
*What do the British believe about obesity?* Treating, an educational series produced by the Service Laboratories Ltd no 6, 1987.
- Wieringen, J.C. van, F. Wafelbakker, H.P. Verbrugge en J.H. de Haas.  
*Groeidiagrammen 1965 Nederland*, tweede landelijke survey. NIPG, TNO, Leiden, Wolters Noordhoff Groningen 1968.

- Wieringen, J.C. van  
*Seculaire groeiverschuiving. Lengte en gewicht surveys 1964-1966 in Nederland in historisch perspectief.* Proefschrift, Rijksuniversiteit Leiden, 1972.
- Wieringen, J.C. van  
*Het groeipatroon van gezonde zuigelingen en kinderen.* Lezing tijdens de bijscholingscursus voor diëtisten. Veldhoven, 1984.
- Wieringen, J.C. van, J.J. Frijn en R. van der Meer.  
 Sta-hoogte, hak-hoogte, en schoolmeubilair. *Ned. T. v. Geneeskunde* 62 (1984) 18, 711-719.
- Wieringen, J.C. van, M.J. Roede en J.M. Wit.  
 Groeidiagrammen voor patiëntenzorg. *Tijdschr. Kindergeneeskunde* 53 (1985) 4, 147-152.
- Wieringen, J.C. van  
 Secular Growth Changes; In: Falkner, F., and J.M. Tanner, eds. *Human Growth*, 2nd edition, Plenum, New York, 1986.
- Wieringen, J.C. van  
*Lezing voor de ADAPS-gebruikersgroep bij het IZF Soesterberg*, ongepubliceerd, 1987.
- Wieringen, J.C. van  
*Variatie is de norm, de norm is variabel*, lezing tijdens het mini-symposium over Groei en Groeifactoren 24 nov. 1989. Ned. Ver. voor Endocrinologie, Amsterdam, 1989.
- Wijk, J.J. van  
*On new types of solid models and their visualization with ray tracing.* Faculteit van het Industrieel Ontwerpen. Proefschrift, TU-Delft, 1986.
- Wijn, J.F. de en J.H. de Haas.  
*Groeidiagrammen van 1-25 jarigen in Nederland.* Leiden, NIPG, 1960.
- Wijn, J.F. de  
 De lichamelijke ontwikkeling van het schoolkind. *T. Soc. Geneeskunde* 33 (1955) 237.
- Wijnen, G. van  
*Schetsontwerpen SAMAS.* Sektie Antropometrische Ergonomie, Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU-Delft, 1986.
- Wilde, A.G. de  
*Algemene embryologie*, syllabus. Rijksuniversiteit Groningen, 1974.
- Williamson, D.F., H.S.Kahn, C.M. Worthman, J.C. Burnette and C.M. Russell  
 Precision of Recumbent Anthropometry, *Am J of Hum Biol* 15 (1993) 159-167
- Wilson, A.C.  
 The Molecular Basis of Evolution. *Scientific American* 253 (1985) 4, 148-57.
- Wilson, J.R. and B.J. Norris.  
 Knowledge transfer: scattered sources to sceptical clients. *Ergonomics*, 1993.

- Wismans, J.S.H.M.  
*Over mechanica, letsels en preventie*. Inaugurele rede als bijzonder hoogleraar TU Eindhoven, 1990.
- Wit, J.M.  
Wat is groeihormoondeficiëntie en wie heeft groeihormoon nodig? *Ned T v Geneesk* 131 (1987a) 4, 142-3
- Wit, J.M.  
*Persoonlijke mededelingen over hormonale groeifactoren*. Mei, 1987b
- Woodson, W.E.  
*Human Factors Design Handbook*. McGraw Hill, New York, 1981, 1992.
- Yntema, L.  
*Demometrie*. Nederlands Interuniversitair Demografisch Instituut. Van Loghum Slaterus, Deventer, 1977.
- Zaadstra, B.M.  
*Determinanten van vrouwelijke vruchtbaarheid en zwangerschapsresultaat, epidemiologische cohort studies naar effecten van leeftijd, biometrie en leefgewoontes*. Dissertatie, Erasmus Universiteit Rotterdam, 1993.
- Zee, H.H. van, J.F.M. Molenbroek.  
*Plaatsbepaling van gewrichtsrotatiecentra voor ADAPS*. Literatuuronderzoek, deel 1; Rapport AE 60, sectie Antropometrische Ergonomie. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft, 1984.
- Zee, H.H. van, J.F.M. Molenbroek en J.J. Houtkamp.  
*Plaatsbepaling van gewrichtsrotatiecentra voor ADAPS. Richtlijnen voor het optimaal ontwerp van experimenten*, deel 2; Rapport AE 75, sectie Antropometrische Ergonomie. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft, 1985a.
- Zee, H.H., J.F.M. Molenbroek en J.J. Houtkamp.  
*Plaatsbepaling van gewrichtsrotatiecentra voor ADAPS. Verwerking van gedigitaliseerde coördinaten en de Reuleauxmethode*. Rapport 76, sectie Antropometrische Ergonomie, Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft, 1985b.





# Bijlage 1.1

## Enquête onder ontwerpers

### Doel

Het nagaan van het gebruik en behoefte van gegevens van menselijke afmetingen bij geschoolde industrieel ontwerpers.

### Methode

De steekproef is als volgt tot stand gekomen. In overleg met de Stichting Industrieel Ontwerpen Nederland, die een bestand bijhield met adressen van industrieel ontwerpers (IO-ers), zijn adressen verkregen. Deze zijn geselecteerd op de volgende criteria:

- 20 afgestudeerden van de Faculteit Industrieel Ontwerpen van de TU Delft;
- 20 afgestudeerden aan één van de HBO-opleidingen in Nederland;
- drie categorieën (zelfstandig, werkzaam in de industrie en werkzaam bij een instelling) dienen gelijkelijk aanwezig te zijn onder voornoemd 40-tal.

Na selectie van de adressen werd telefonisch gevraagd om medewerking aan het onderzoek. Als die toestemming werd gegeven, werd er een vragenlijst gestuurd, waarna telefonisch de vragen werden doorgenomen en beantwoord.

Het vragenformulier werd zodoende aan 40 industrieel ontwerpers gezonden.

In 1986 maakte de auteur deel uit van de Normalisatie Commissie Antropometrie en Biomechanica, waar deze doelstelling mede een rol speelde. Met medewerking van de andere leden van deze commissie:

- ir. J.H.M. Lombaers      Nederlandse Spoorwegen;
- Ing. F. Brekelmans      IZF-TNO;
- Drs. P. de Vlaming,      Nederlands Normalisatie Instituut

is het onderzoek destijds uitgevoerd.

## Resultaten

*Met welke produktcategorieën houdt u zich bezig?*

	<u>absoluut</u>	<u>%</u>
staan	23	58
zitten	28	70
liggen	11	28
reiken	30	75
hanteren	27	68
overig	9	22

*In welke vorm gebruikt u nu antropometrische gegevens?*

	<u>absoluut</u>	<u>%</u>
tabellen	30	80
draaischijven	10	30
2D-manikins	17	50
3D-manikins	0	0
computermodellen	5	12
proefpersonen	6	15

*Zijn er presentatie-vormen waarover u niet beschikt, maar die u wel zou willen hebben?*

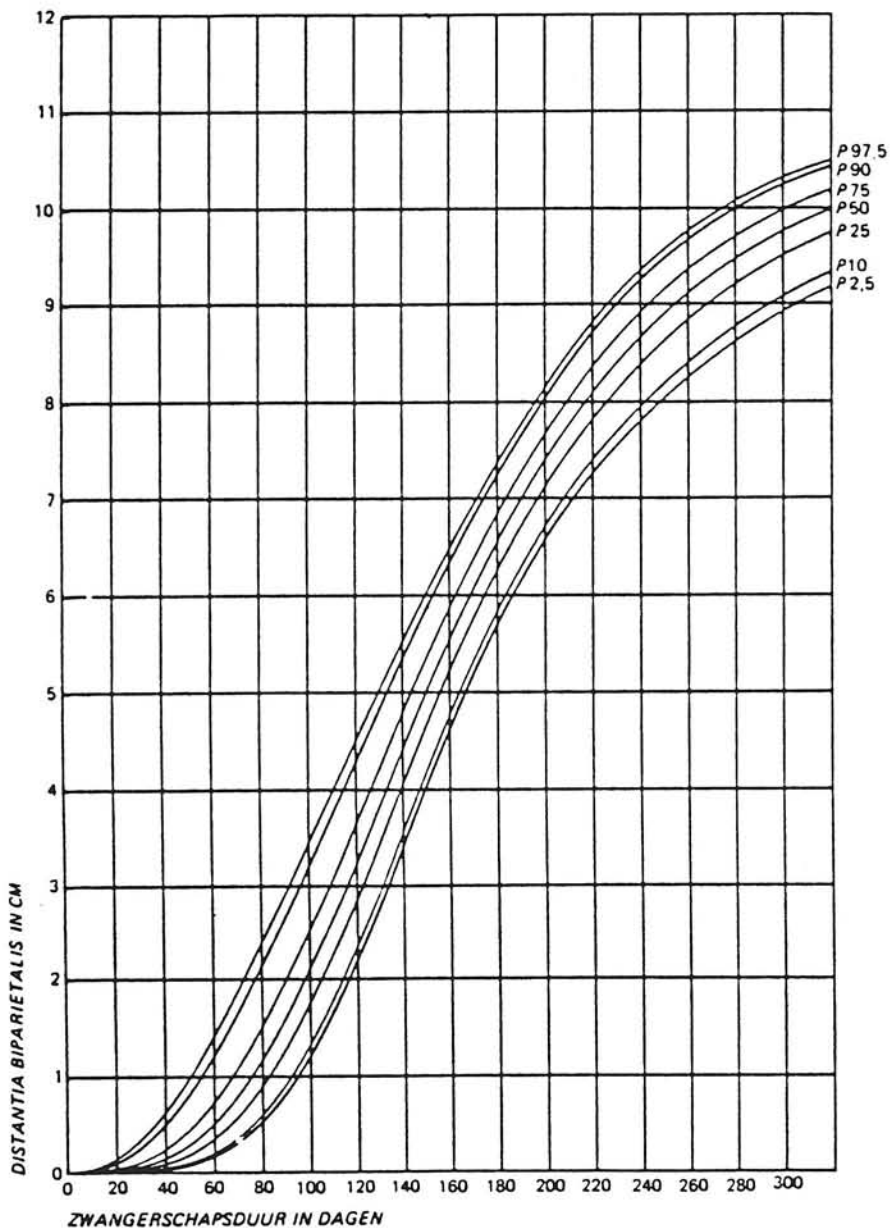
	<u>absoluut</u>	<u>%</u>
1 computermodellen	14	45
2 humanscales voor Nederland	2	5
3 twee-dimensionale tekensjabonen	9	22

*Welke lichaamsmaten heeft u nodig, die niet op de bijgevoegde DINED-tabel staan?*

	<u>absoluut</u>	<u>%</u>
1 andere statische maten (hand, voet, hoofd, etc)	30	75
2 dynamische of funktionele maten	20	50
3 maten van speciale groepen	7	17
4 kijkhoeken	8	20
5 krachten	4	10
6 segment massa's	8	20
7 diversen	10	25

## Bijlage 2.1

Theoretische prenatale groeicurve van de hoofdbreedte volgens Hameeteman (1973)



## Bijlage 2.2

### Overzicht van foetale afmetingen volgens Hameeteman (1973) en Stoutenbeek (1982)

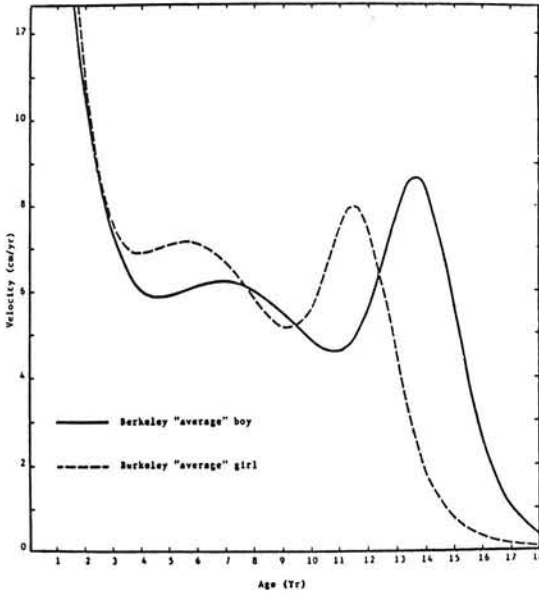
zwangerschapsduur (weken)	Hameeteman hoofdbreedte (cm)		Stoutenbeek buikomtrek (cm)		Stoutenbeek buikdoorsnede (cm <sup>2</sup> )	
	P10	P90	P10	P90	P10	P90
20	3,75	5,15				
21	4,15	5,50				
22	4,60	5,85				
23	5,00	6,20				
24	5,40	6,55				
25	5,75	6,85				
26	6,10	7,20				
27	6,40	7,45				
28	6,70	7,75	22,4	27,1	37	55
29	7,00	8,00	22,8	27,9	39	58
30	7,25	8,25	23,3	28,8	41	62
31	7,45	8,50	23,9	29,6	44	65
32	7,70	8,70	24,7	30,5	47	70
33	7,90	8,90	25,5	31,4	50	75
34	8,05	9,10	26,4	32,2	54	79
35	8,25	9,25	27,3	33,0	57	84
36	8,40	9,40	28,3	33,9	61	88
37	8,55	9,55	29,2	34,7	65	92
38	8,70	9,65	30,1	35,4	69	96
39	8,80	9,80	30,9	36,1	72	100
40	8,95	9,90	31,6	36,7	76	103
41	9,05	10,00	32,2	37,3	78	105
42	9,15	10,10				

# Bijlage 2.3

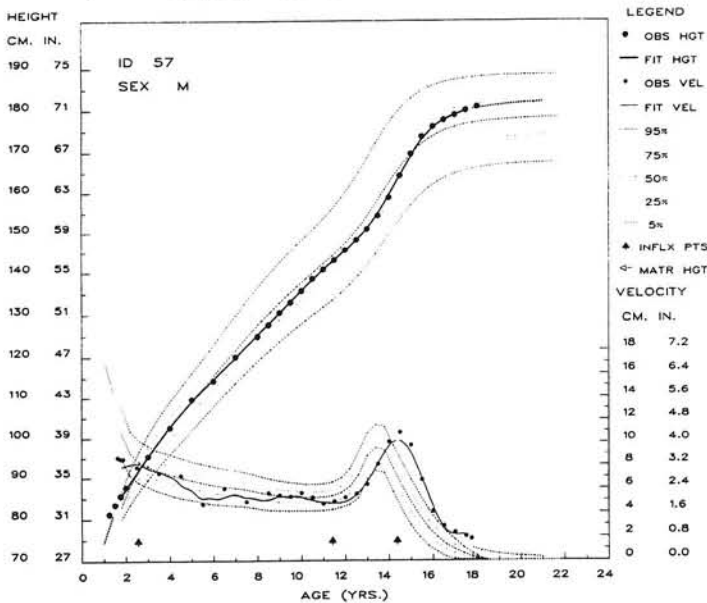
## Longitudinale groeisnelheidscurve

Longitudinale groeisnelheidscurve met

A pré-puberale groeispuurt van de Berkeley-kinderen (Bock and Thissen, 1980);



B voorbeeld groeicurve weergegeven met programma AUXAL (Bock, Du Toit and Thissen, 1993).



## Bijlage 2.4

### Afmetingen van Rob Bruintjes

---

naam: Rob Bruintjes  
 PR-man Klub Lange Mensen  
 meetdatum: 18 september 1985  
 geboortedatum: 10 mei 1951  
 gewicht (kg): 134,6

	omschrijving	rechts (mm)	links (mm)
sta-maten	reikhoogte beide armen	2639	
	lichaamslengte	2211	
	ooghoogte	2064	
	schouderhoogte	1870	
	ellebooghoogte	1384	
	vuisthoogte	978	
	reikdiepte beide armen	995	
	schouderbreedte	522	
	heupbreedte	415	
	borstdiepte	296	
zitmaten	knieholtte-hoogte	615	620
	bil-knieholtte diepte	665	
	kruin-zitvlakhoogte	1072	
	bil-voetdiepte	1396	1410
	ooghoogte	953	
	bil-knieschijf diepte	792	
	elleboog-zitvlakhoogte	265	263
	dijbeenhoogte	170	168
	elleboog-grijp diepte	459	445
	ellebogen breedte	579	
	heupbreedte	432	
buikdiepte	343		
handmaten	handlengte	223	226
	lengte wijsvinger	90	90
	handbreedte met duim	117	112
	breedte wijsvingertop	16	16
	handdikte	32	31
	knijpkracht	75	
voetmaten	voetlengte	334	315
	voetbreedte	115	118

*Maten van de één van de langste mannen in 1989 in Nederland (gemeten door de auteur).*

### **Lange Mensen**

Volgens de Haagse Courant 22.05.89 was toen Rik Smit, ex-basketbalspeler bij PSV zelfs 224 cm lang, maar woonachtig in de USA.

De 'Klub van Lange Mensen' heeft in ongeveer 3000 gezinnen in 1994 leden met een lengte >190 cm voor mannen en > 180 cm voor vrouwen.

Totaal wordt dat aantal in Nederland op 500.000 geschat in 1989. Specifieke problemen voor lange mensen: ruimten in openbaar vervoer en openbare gebouwen, auto's, fietsen, meubilair enz..

Volgens het Guinness Record Boek 1992 is Martin den Hengst (geb. 1969) de langste Nederlander met 222 cm.

Volgens de Haagse Courant van 12 oktober 1992 is sindsdien Rob Zwaan de langste Nederlander met 223,3 cm.

### **Kleine Mensen**

Er zijn echter ook enkele tienduizenden volwassen mensen in Nederland kleiner dan 140 cm, die met overeenkomstige problemen als de lange mensen te maken hebben; met name op het gebied van reikhoogte en zichtvelden.

De 'Belangenvereniging Van Kleine Mensen' komt voor hun op.

## Bijlage 2.5

### Voorspelling van volwassen lichaamslengte volgens Tanner (1975)

Op basis van de volgende empirische gegevens: GL, KLFT en SLFT en de volgende formule is een toepassing te zien op blz. 44.

Formule:

$$VL = GL * LF - KLFT * LFTF - SLFT * SF + K$$

met:

VL	= volwassen lengte in cm
GL	= gemeten lengte in cm
LF	= lengte factor
KLFT	= kalenderleeftijd in jaren
LFTF	= leeftijdsfactor
SLFT	= skeetleeftijd
SF	= skeetfaktor
K	= constante



	KLFT	LF	LFTF	SF	K	rest- spreiding
Jongens	4	1,2	7,3	0,0	82	4,0
	5	1,2	7,3	0,0	82	4,0
	6	1,2	7,3	0,0	82	4,0
	7	1,2	7,3	0,0	82	4,0
	8	1,22	7,2	0,4	82	3,6
	8,5	1,23	7,0	0,7	82	3,6
	9	1,22	6,8	0,8	82	3,6
	9,5	1,21	6,5	0,8	82	3,6
	10	1,2	6,2	1,0	83	3,6
	10,5	1,19	5,9	1,2	84	3,6
	11	1,16	5,5	1,6	89	3,5
	11,5	1,13	5,1	2,0	94	3,5
	12	1,08	4,2	2,6	98	3,5
	12,5	1,03	3,4	3,2	103	3,5
	13	0,98	2,6	3,8	108	3,1
	13,5	0,94	1,9	4,4	113	3,1
	14	0,9	1,4	4,5	114	2,9
	14,5	0,87	1,0	4,6	114	2,9
15	0,84	0,8	3,8	104	2,5	
15,5	0,82	0,6	3,1	94	2,5	
16	0,88	0,4	2,4	71	2,0	
16,5	0,94	0,3	1,8	48	2,0	
17	0,96	0,2	1,2	34	0,8	
17,5	0,89	0,1	0,7	19	0,8	
Meisjes vóór menarche	4	0,95	6,5	0,0	93	3,5
	5	0,95	6,5	0,0	93	3,5
	6	0,95	6,0	0,4	93	3,0
	6,5	0,95	5,5	0,8	93	3,0
	7	0,94	5,1	1,0	94	3,2
	7,5	0,93	4,7	1,1	94	3,2
	8	0,92	4,4	1,5	95	2,9
	8,5	0,92	4,0	1,9	96	2,9
	9	0,92	3,8	2,3	99	2,8
	9,5	0,91	3,6	2,7	102	2,8
	10	0,89	3,2	3,2	106	2,9
	10,5	0,87	2,7	3,6	109	2,9
	11	0,83	2,6	3,6	114	2,9
	11,5	0,82	2,5	3,6	115	2,9
	12	0,83	2,4	3,4	111	2,7
	12,5	0,83	2,3	3,3	108	2,7
	13	0,85	2,0	3,1	98	2,2
	13,5	0,87	1,8	3,0	90	2,2
14	0,91	1,6	2,8	79	1,2	
14,5	0,95	1,4	2,5	67	1,2	
15	0,98	0,6	1,1	30	0,8	
15,5	0,99	0,4	0,7	20	0,8	
Meisjes na menarche	11	0,87	2,3	3,3	100	2,6
	11,5	0,89	1,9	3,3	91	2,6
	12	0,91	1,4	3,2	82	2,1
	12,5	0,93	1,0	2,7	67	2,1
	13	0,95	0,9	2,2	55	1,6
	13,5	0,96	0,9	1,8	48	1,6
	14	0,96	0,8	1,4	40	1,2
	14,5	0,97	0,8	1,3	37	1,2
15	0,98	0,6	1,1	30	0,8	
15,5	0,99	0,4	0,7	20	0,8	

# Bijlage 2.6

## 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

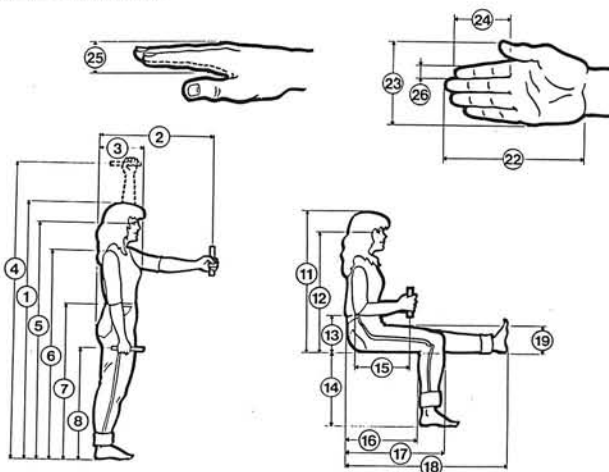
In deze derde en uitgebreide versie van de DINED wordt een aantal lichaamsafmetingen van de Nederlandse bevolking gegeven, die voor het ontwerpen van belang zijn.

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 3/4 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.

Volgens tabel 2 gelden:  
dieptematen: 3, 19 en 25  
breedtematen: 9, 10, 20, 21, 23 en 26  
lengtematen: overige behalve 27.

### 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
<b>sta-maten:</b>								
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	<u>362</u>	20	387	31	336	438
<b>zit-maten:</b>								
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	465	53	466	45	392	540
21 heupbreedte	375	20	<u>395</u>	34	385	30	336	435
<b>hand-maten:</b>								
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)

tabel 2	lengte	breedte	diepte	omvang
Schattingen van correlaties (r x 100) vanuit Roebuck (1975) door middelen en afronden bij verschillende typen maten.	65	65	20	50
	30	65	40	50
	20	40	20	50
	20	50	50	40

#### 4. jeugd, bejaarden en secularisatie

tabel 3

Lichaamslengten volgens de Nederlandse Groeidiagrammen 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) Molenbroek et al. 1984)

Maten in mm.

	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 $\bar{x}$	s	vrouwen $\bar{x}$	s
20-60	100	100	100	100
5	63	70	68	70
15	97	126	100	94
70	94	133	95	106
breedtematen				
	mannen $\bar{x}$	s	vrouwen $\bar{x}$	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.

PS: De auteurs zijn zeer erkentelijk voor eventueel commentaar op deze DINED-tabel.

#### 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 Pz na het dimensioneren van een ontwerp met twee dimensies, waarvoor Px respectievelijk Py de percentages zijn, geldt de volgende formule, indien  $Px < Py$

$$Pz = Px \cdot Py + r^2 (Px - Px \cdot Py) \quad (3.1)$$

#### 6. literatuur

- 1 Appelboom, W.J.M.J.  
Lengte en gewichtswaarnemingen in de continue gezondheidsenquête, 1981-1983  
Maandbericht Gezondheidsstatistiek 2 (1984-7) 9-13.
- 2 Bouwman, H., Breebaart, S. en L. Gerzon  
Antropometrisch onderzoek, lichaamsafmetingen en vrouwen nader bekeken.  
Tijdschrift voor Ergonomie 7 (1982) 4,9-12
- 3 Centraal Bureau voor de Statistiek  
Statistisch zakboek 1980, 1981, 1982, 1983.  
Staatsuitgeverij, Den Haag.
- 4 Churchill et al. (eds.)  
Anthropometric Source Book.  
Nasa Reference Publication 1024  
National Technical Information Service,  
Springfield, USA, 1978.
- 5 DIN 33402  
Körpermasse des Menschen.  
Nederlands Normalisatie Instituut Delft, 1982
- 6 Dirken, J.M.  
Antropometrische ontwerpstatistiek; onzekerheden, regels en een voorbeeld.  
Tijdschrift voor Ergonomie 9 (1984-2) 2-7.
- 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
- 8 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
- 9 Roede, M.J. en van Wieringen J.C.  
De Nederlandse Groeidiagrammen 1980.  
Samson, Alphen aan de Rijn, 1982.
- 10 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.

$$\frac{P95 \text{ m}}{P5 \text{ v}} = 1,28 \quad \frac{P95 \text{ v}}{\bar{x} \text{ m}} = 1,03 \quad \frac{\bar{x} \text{ m}}{\bar{x} \text{ v}} = 1,08$$

$$\frac{P5 \text{ m}}{P5 \text{ v}} = 1,09 \quad \frac{P95 \text{ m}}{P95 \text{ v}} = 1,07$$

formule 2

Om twee maten op te tellen of van elkaar af te trekken, als ze in elkaars verlengde liggen kan men de volgende formules gebruiken:

$$\bar{x}_3 = \bar{x}_1 \pm \bar{x}_2 \quad (2.1)$$

$$s_3^2 = s_1^2 + s_2^2 \pm 2 \cdot r \cdot s_1 \cdot s_2 \quad (2.2)$$

## Bijlage 2.7

### DINED-tabel vergeleken met methode Pheasant

In deze Bijlage worden de afmetingen volwassen Nederlanders geschat met de methode van Pheasant (zie 2.5.3.7) en worden deze vergeleken met de DINED-waarden.

variabelen	no.	DINED (mannen)		variabelen Pheasant		DINED vlg's Pheasant		verschil (Pheasant-DINED)				
		$\bar{x}$	s	E1	E2	gem. (E1*1794)	std. dev. (E2*64)	$\bar{x}$	%	>5%	s	%
lichaamslengte	1	1794	64	1,00	1,00	1794,0	64,0	0,00	0,0%		0,00	0,0%
reikdiepte	2	747	38	0,45	0,59	807,3	37,7	60,30	8,1%	*	-0,30	0,0%
borstdiepte	3	286	26	0,14	0,36	254,7	22,8	-31,25	-10,9%	*	-3,15	-1,1%
reikhoogte	4	2123	91	1,26	1,35	2264,0	86,1	141,03	6,6%	*	-4,92	-0,2%
ooghoogte	5	1669	64	0,94	1,02	1679,2	65,1	10,18	0,6%		1,09	0,1%
schouderhoogte	6	1496	58	0,82	0,93	1462,1	59,6	-33,89	-2,3%		1,65	0,1%
ellebooghoogte	7	1134	48	0,62	0,74	1115,9	47,5	-18,13	-1,6%		-0,51	0,0%
vuisthoogte	8	794	30	0,44	0,61	787,6	38,7	-6,43	-0,8%		8,72	1,1%
heupbreedte	9	356	18	0,21	0,36	369,6	22,8	13,56	3,8%		4,78	1,3%
schouderbreedte	10	412	18	0,23	0,32	414,4	20,2	2,41	0,6%		2,22	0,5%
kruin-zitvlak hoogte	11	939	34	0,52	0,52	938,3	33,4	0,00	-0,1%		-0,59	-0,1%
ooghoogte	12	818	32	0,46	0,54	825,2	34,4	7,24	0,9%		2,37	0,3%
ellebooghoogte	13	238	26	0,14	0,40	245,8	25,5	7,78	3,3%		-0,46	-0,2%
knieholt hoogte	14	457	25	0,25	0,35	455,7	22,7	-1,32	-0,3%		-2,34	-0,5%
elleboog-grijp diepte	15	375	19	**	**							
bil-knieholte diepte	16	518	30	0,28	0,43	502,3	27,5	-15,68	-3,0%		-2,54	-0,5%
bil-knieschijf diepte	17	620	28	0,34	0,44	611,8	27,9	-8,25	-1,3%		-0,10	0,0%
bil-voetdiepte	18	1071	49	**	**							
dijbeen hoogte	19	141	12	0,09	0,23	156,1	14,6	15,08	10,7%	*	2,59	1,8%
ellebogen breedte	20	467	34	0,26	0,51	464,6	32,4	-2,35	-0,5%		-1,55	-0,3%
heupbreedte	21	375	20	**	**							
handlengte	22	193	9	0,11	0,15	195,5	9,3	2,55	1,3%		0,28	0,1%
handbreedte met duim	23	111	5	**	**							
lengte wijsvinger	24	78	5	**	**							
handdikte	25	29	2	**	**							
breedte wijsvingertop	26	19	1	**	**							

*Toelichting: \*\* betekent dat voor deze maten niet factoren van Pheasant beschikbaar zijn.*

Deze 'DINED-tabel volgens Pheasant' geeft dus, in plaats van de Duitse maatverhoudingen volgens de DIN-norm, de maatverhoudingen aan die uit de E1 en E2 variabelen van Pheasant volgen en die volgens Pheasant de lichaamsbouw van Noord-Amerika en Europa vertegenwoordigen.

## Bijlage 3.1

### Overzicht van gebruikte antropometrische onderzoeken

Met enkele kengetallen.

eerste auteur	aantal tabel	aantal pop.	aantal m+v	aantal m	aantal v	aantal var.	meetjaar	publ. jaar	leeftijd	pop.	origineel	soort
sittig	1	1	5001	0	5001	15	1947	1951	18-82	nl	ja	a
de wijn	2	1	16910	8798	8112	2	1952-60	1960	0-24	nl	ja	a
v. wieringen	3	1	65410	37306	28104	2	1964-66	1972	0-24	nl	ja	a
roede	4	1	41870	21580	20290	3	1980	1985	0-20	nl	ja	a
diffrient	5	1	m+v					1974	0-100	usa	geschat	d
snyder	6	1	4000	2000	2000	41	1972-74	1975	0-13	usa	ja	a
snyder	7	1	4127	2092	2035	87	1974-76	1977	0-20	usa	ja	a
churchill	8	90	111000	92000	19000	295	1940-74	1978	18-78	global	verzameling	b
roede	9	1	467	232	254	15	1971-76	1979	4-14	nl	ja	a
hasslegrave	10	1	2000	1584	416	16	1976	1979	17-70	uk	ja	a
jürgens	11	1	7000	3500	3500	59	1968-74	1981	3-65	frg	ja	a
molenbroek	12	1	822	197	625	30	1982	1983	55-106	nl	ja	a
lange	13	1	m+v			43		1981		frg	DIN	a
appelboom	14	1	7000	3500	3500	3	1981 e.v.	1983 e.v.	>2,5	nl	enquête	c
brekelmans	16	1	1010	1010		40	1985	1986	17-25	nl	ja	a
molenbroek	17	1	m+v			27		1986	0-106	nl	geschat	d
de rijke	18	1	m+v			56		1985	4-14	nl	geschat	d
molenbroek	19	1	354	265	89	47	1985-86	1987	18-35	nl	ja	a
ter hark	20	1	350	184	166	20	1981	1986	4-14	nl	ja	a
pheasant	21	1	m+v			22		1982	>20	usa+eg	geschat	d
koopmans	22	1	m+v			27		1987	0-4	nl	geschat	d
cbs	23	1	105000	105000		3	elk jaar	elk jaar	18	nl	ja	a
gerver	24	1	2555	1246	1105	14	1979-1980	1988	0-18	nl	ja	a
steenbekkers	25	1	629	330	299	23-33	1988	1989	0-5,5	nl	ja	a
biomech coi	26	24	m+v			264		1989	>20	global	verzameling	b
jürgens	27	20	m+v			19		1989	>20	global	verzameling	b
coblentz	28	50	4E+06			700		1990	>0	global	verzameling	b
steenbekkers	29	1	2245	1126	1119	32	1990-91	1992	2-12	nl	ja	a

In kolom 2 staat het tabelnummer, waaronder in Hoofdstuk 3 het betreffende onderzoek kort beschreven staat

In Bijlage 4.1 staat van een aantal van deze onderzoeken de gemeten variabelen

Betekenis van letters in kolom 14:

- a = eigen fysieke metingen
- b = bewerkingen van onderzoek van anderen
- c = metingen door middel van enquêtes
- d = schattingen

# Bijlage 4.1

## Meetdefinities

### deel 1

Ter verduidelijking van de fysisch antropologische meetpunten is de afbeelding volgens Martin afgedrukt op blz. 349. De naamgeving is typisch fysisch antropologisch en komt niet altijd overeen met de naamgeving volgens de Nomina Anatomica.

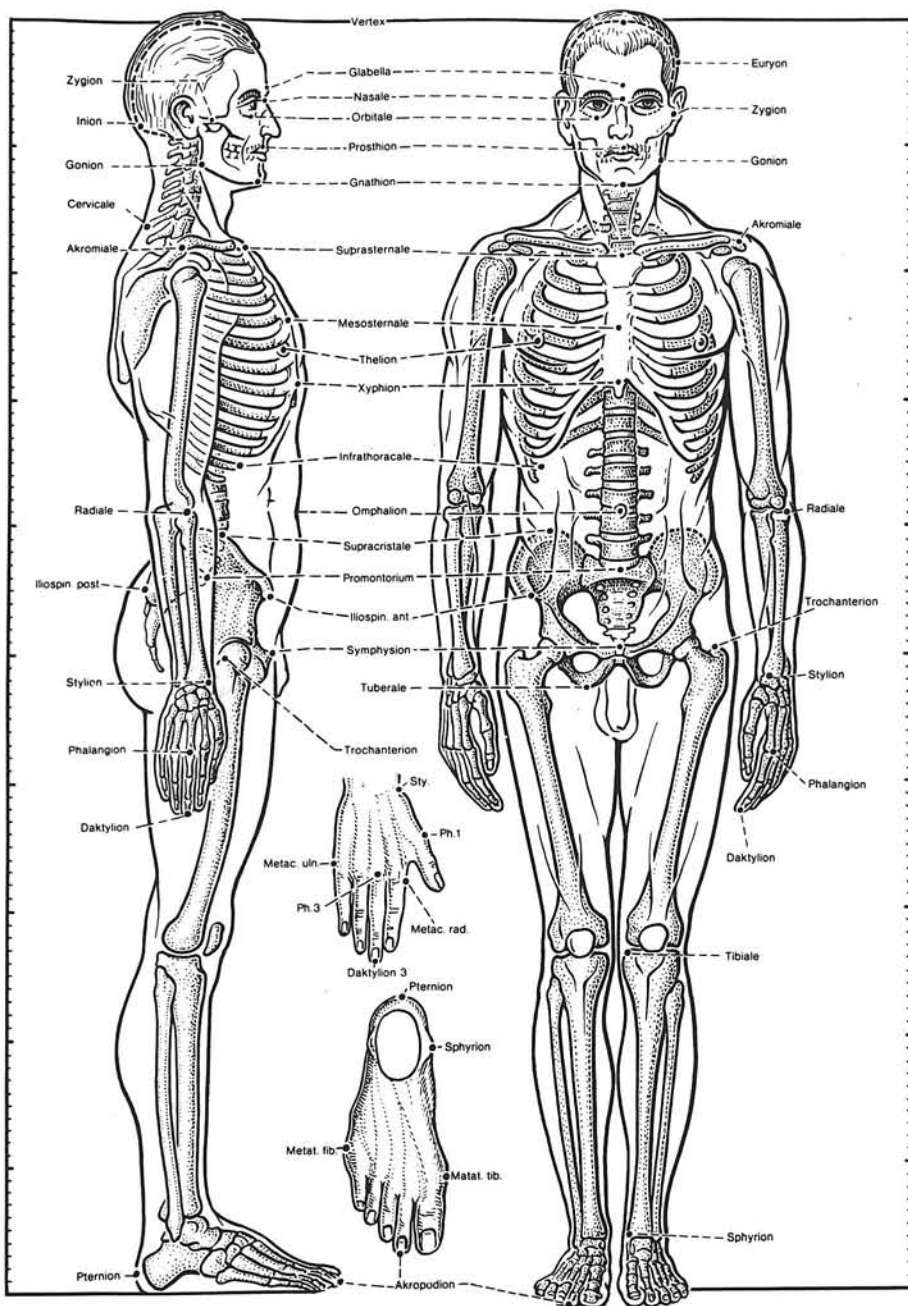
### deel 2

Om onderlinge vergelijkbaarheid mogelijk te maken, is in deel 2 van deze bijlage (blz 350-351) een overzicht opgenomen van de gebruikte lichaamsmaten per proefstudie, met daarbij aangegeven de code volgens één van de internationaal erkende bronnen: ASB of NEN-EN979.

Ook is aangegeven of deze maat werd gebruikt bij het KIMA-onderzoek van Steenbekkers of bij het DUTCHMIL-onderzoek van IZF.

### deel 3

In deel 3 van deze bijlage (blz 352-360) wordt van de meeste lichaamsmaten, die in dit boek zijn gebruikt, een omschrijving gegeven. Meestal is hierbij de tekst gevolgd van internationaal erkende normalisatie instellingen of handboeken, zoals het Deutsche Institut für Normung (DIN), het Anthropometric Source Book (ASB), de vigerende norm NEN-EN979.



Deel I: Afbeelding volgens Martin.

MAAT	CODE	ASB	NEN	DELKI	DELSTU	GDVV	KIMA1	KIMA2	DMIL	DINED
acromion-muur afstand	124		4.4.01							
ambulantie	074					x				
arm lengte binnenzijde	047	764							A08	
arm lengte buitenzijde	046	773							A07	
bil-knieholte lengte	038	200	4.4.06	x	x	x	x	x	E06	16
bil-knieschijf lengte, zittend	039	194	4.4.07	x	x		x	x	E07	17
bil-voetlengte	098	191			x			x		18
bitragion boog	028	144	4.3.14						B05	
borstbreedte mesosternum	048	223	4.1.11							
borstbreedte, gemeten met meetlint	088								A10	
borstdiepte op tepelhoogte	069	236	4.1.09		x		x	x		03
borstomvang op tepelhoogte	051	230	4.4.09						A13	
bovenarmomvang	054	113					x	x	A16	
buikdiepte staand	175	010	4.1.10							
buikdiepte zittend	057	006	4.2.15							
buikdiepte zittend tot muur	108		4.2.17			x				
buitenste enkelknobbel	084	543			x					
cervicale hoogte, zittend	011	220	4.2.03			x				
diameter pink	106						x			
dijbeen omvang	055	852	4.4.12						A17	
dijbeendikte	071	856	4.2.13		x	x	x	x		19
duimbreedte	110							x		
ellebogenbreedte	036	318	4.2.10	x	x	x	x	x		20
elleboog-gripas lengte	031	322	4.4.03							15
elleboog-pols lengte	177		4.2.07							
elleboog-vingertop lengte	068	381	4.4.05	x	x	x				
ellebooghoogte, staand	006		4.1.05		x		x			07
ellebooghoogte, zittend	013	312	4.2.05	x	x	x	x	x	E04	13
gelaats breedte	059	165							C0	
geslacht	067			x	x	x	x	x		x
gripomvang (duim-wijsvinger)	135						x	x		
hakhoogte	072					x				
halsomvang	050	639	4.4.08						A12	
handbreedte met duim	101	413			x					23
handbreedte zonder duim	018	411	4.3.03	x	x	x		x	D03	
handdiameter (zo klein mogelijk gemaakt)	094						x	x		
handdikte	102	423			x		x	x		25
handlengte	017	420	4.3.01	x	x	x		x	D01	22
handpalm lengte	064	656	4.3.02						D02	
heupbreedte, staand	034	457	4.1.12		x		x	x		09
heupbreedte, zittend	035	459	4.2.11	x	x	x	x	x		21
heupomvang	053	465							A15	
hoofdbreedte	025	427	4.3.10				x	x	B01	
hoofddiepte glabella tot wand	113	391			x					
hoofddiepte nasion-ophistocranium	087	741			x			x		
hoofdlengte	024	441	4.3.09						B02	
hoofdomtrek	026	430	4.3.12				x	x	B03	
hoogte cervicale, staand	004	219			x				A02	
hoogte trochanter	041	894			x					
hoogte van het gezicht (vertex-menton)	095	595						x		
huidplooï biceps in 0,1 mm	089				x					
huidplooï iliocristale in 0,1 mm	092	844			x					
huidplooï subscapula in 0,1 mm	091	833			x					
huidplooï triceps in 0,1 mm	090	890			x					
kin-hoofdband	056								C01	
kin-mondspleet	058								C03	

Deel 2: Overzicht van definities naar antropometrisch onderzoek.



MAAT	CODE	ASB	NEN	DELKI	DELSTU	GDWV	KIMAI	KIMA2	DMIL	DINED
kniebreedte	085	334			x			x		
knieholtehoogte	015	678	4.2.12	x	x	x	x	x	E05	14
kniehoogte, zittend	016	529	4.2.14	x			x			
knieknobbelhoogte	083				x					
knijpkracht hand	073	407			x	x		x		
knijpkracht vingers	109						x	x		
kruin-zitvlakhoogte	009	758	4.2.01	x	x	x	x	x		11
kruishoogte, staand	033	249	4.1.07							
leeftijd	066	048		x	x	x	x	x	W02	
lengte van het gezicht	029	586	4.3.11						C02	
lichaamsgewicht	001	957	4.1.01	x	x	x	x	x	E08	27
lichaamslengte doorgezakt	052					x				
lichaamslengte gestrekt	166					x				
lichaamslengte liggend	133						x			
lichaamslengte, staand	002	805	4.1.02	x	x	x	x	x	A01	01
lip breedte	061	549							C06	
middelvingerlengte	130							x		
navelhoogte, zittend	179	951								
(= taillehoogte, zittend)										
neuspunt-jukbeen	062								C07	
onderbeen omvang	123	207	4.4.13							
ooghoogte, staand	003	328	4.1.03		x	x	x		E01	05
ooghoogte, zittend	010	330	4.2.02	x	x	x		x	E02	12
opstaphoogte	099						x	x		
palmhoogte staand	116					x				
pinkbreedte (distaal)	104						x	x		
polsbreedte	086	964			x					
polsomvang	040	967	4.4.11							
pupil-afstand	063	503							C08	
reikdiepte duimtop	103	867		x						
reikdiepte, zittend met 1 arm, flexie in de heup	105						x	x		
reikhoogte staand met 1 arm	114	911					x			
reikhoogte, staand	078	911			x			x		04
reikhoogte, staand, op 36 cm afstand	082					x				
reikhoogte, zittend	070	912				x	x	x		
reikwijdte gripas	030	752	4.4.02		x			x		02
rugbreedte	049	506							A11	
rughoogte	044								A05	
ruglengte	045	921							A06	
rugleuning tot C7	076					x				
rugleuning tot sacrum	077					x				
sagittale boog	027	702	4.3.13						B04	
schouder-ellebooglengte	079	751	4.2.06	x	x					
schouderbreedte biacromiale	014	103	4.2.08	x	x				A09	
schouderbreedte bideloïdeus	118	122	4.2.09		x	x	x	x		10
schouderhoogte, staand	005	023	4.1.04		x		x	x		06
schouderhoogte, zittend	012	025	4.2.04	x		x	x	x		
spina iliaca hoogte, staand	007	490	4.1.06							
taillehoogte, staand	042	949							A03	
taillehoogte, zittend	179	951								
(= navelhoogte, zittend)										
tailleomvang	037	931	4.4.10						A14	
tibiale hoogte, staand	008	873	4.1.08							
voetbreedte	023	356	4.3.08	x			x	x		
voetlengte	022	362	4.3.07	x			x	x		
voorhoofds breedte	060	569							C05	
vuisthoogte, staand	032		4.4.04		x	x				08
wijsvingerbreedte, distaal	021		4.3.06							26
wijsvingerbreedte, proximaal	020		4.3.05		x					
wijsvingerlengte	019	345	4.3.04		x					24
wreef hoogte	112							x		

Deel 2: (vervolg)

*Deel 3: Meetdefinities gebruikt bij de proefstudies. 'Code' = aanduiding van de unieke code in het eigen bestand.*

maat	beschrijving	methode	gereedschap	code
acromion-muur afstand	de horizontale afstand tussen een verticale wand en het acromion	de proefpersoon staat rechtop tegen de muur met de armen loodrecht op de muur de schouderbladen en de billen tegen de muur gedrukt houden	antropometer	124
ambulantie	de lichamelijke konditie van de proefpersoon wordt geklassificeerd in drie klassen: ambulant, semi-ambulant en non-ambulant	ambulant=al of niet met een stok kunnen lopen semi-ambulant=moeizaam ter been zijn of actief met een rolstoel kunnen omgaan non-ambulant=niet meer kunnen lopen of met een rolstoel kunnen rijden zonder hulp van anderen		074
bekkenkamhoogte staand	de verticale afstand tussen de vloer en spina iliaca anterior superior	de te meten persoon staat rechtop met de voeten tegen elkaar	antropometer	007
bil-knieholte lengte	de horizontale afstand tussen het achterste punt van de bil en de knieholte	proefpersoon zit volledig rechtop met de dijbenen geheel ondersteund en met het horizontale steunvlak zo ver mogelijk in de knieholte; met het meetblok tegen de billen, wordt de afstand tussen de knieholte en meetblok gemeten	antropometer, meetblok	038
bil-knieschijf lengte, zittend	de horizontale afstand tussen het achterste punt van de bil en het voorste punt van de knieschijf	proefpersoon zit met de bovenbenen/dijbenen volledig ondersteund en zo ver mogelijk in de knieholte met het meetblok tegen de billen wordt de afstand gemeten vanaf meetblok tot het voorste punt van de knieschijf	antropometer, meetblok	039
bil-voetlengte	horizontale afstand tussen de voetzool en het meetblok dat tegen de billen wordt geplaatst, bij het zitten met een gestrekt been	de proefpersoon zit met het linkerbeen vrijhangend en het rechter been gestrekt de romp wordt rechtop gehouden	antropometer	098
bitragion boog	de boogafstand van een tragion over de kruin van het hoofd tot de andere tragion	het meetlint wordt op de tragion aan een kant van het hoofd gehouden en over het hoogste punt van de kruin gelegd naar de andere tragion; het haar dient bij de meting inbegrepen te worden (maximaal ingedrukt)	meetlint	028

borstbreedte ter hoogte van het mesosternum	de breedte van de borstkas ter hoogte van het mesosternum	de proefpersoon staat rechtop met de voeten naast elkaar en de armen vrij hangend naar beneden.	antropometer	048
borstdiepte op tepelhoogte	de diepte van de romp op tepelhoogte	de te meten persoon staat rechtop met de voeten naast elkaar; de armen hangen vrij naar beneden	antropometer	069
borstomvang op tepelhoogte	de omtrek van de borstkas ter hoogte van de tepels	de proefpersoon staat rechtop met de voeten naast elkaar en de armen vrij naar beneden hangend	meetlint	051
buikdiepte zittend tot muur	de maximum diepte van de buik tot de wand	de proefpersoon zit rechtop met dijen volledig ondersteund en de onderbenen vrijhangend naar beneden de rug raakt de wand en de afstand wordt genomen van de wand tot het voorste punt van de buik, juist boven de dijbenen	antropometer	108
buikdiepte zittend	de maximum diepte van de buik bij het zitten hoofd	de proefpersoon zit rechtop met zijn handen boven zijn hoofd	antropometer	057
buikdiepte staand	de diepte van de onderbuik ter hoogte van het meest vooruitstekende punt van de buik	de proefpersoon staat rechtop met de armen vrij naar beneden hangend	antropometer	175
buitenste enkelknobbel	de verticale afstand van de buitenste enkelknobbel(maleolus lateralis) tot de vloer	de proefpersoon zit of staat rechtop	antropometer	084
cervicale hoogte, zittend	de verticale afstand tussen het horizontale zitvlak en de processus spinosus, de zevende halswervel (=cervicale)	de te meten persoon zit volledig rechtop met de dijbenen geheel ondersteund en de onderbenen vrij hangend; het hoofd is in het Frankfurter vlak	antropometer	011
dijbeen omvang	de maximale omtrek van de rechter dij	de proefpersoon staat rechtop de omtrek wordt juist onder de bil gemeten	meetlint	055
dijbeendikte	de verticale afstand van de zitting tot het hoogste punt van de rechter dij	de proefpersoon zit rechtop met de knieën en de enkels onder 90 graden gebogen en met de voeten op de vloer	antropometer	071
duimbreedte	de maximale afstand tussen de radiale en de ulnaire zijde van de duim bij het distale interfalangiale gewricht	de proefpersoon strekt zijn hand en de duim	passer	110

ellebogenbreedte	de maximale horizontale afstand tussen de laterale zijden van de ellebogen	de te meten persoon zit of staat rechtop; de bovenarmen hangen omlaag en raken het lichaam; de onderarmen zijn horizontaal en naar voren gericht en parallel	grote passer	036
elleboog-gripas lengte	de horizontale afstand tussen de achterzijde van de bovenarm (bij de elleboog) en de grijpas van de vuist met de elleboog haaks gebogen	de te meten persoon zit rechtop met de bovenarm vrij hangend en de onderarm is haaks gebogen ten opzichte van de bovenarm; de hand staat in het verlengde van de onderarm en houdt een meetstaaf verticaal vast	antropometer, meetstaaf	031
elleboog-pols lengte	de horizontale afstand van elleboog tot pols	de proefpersoon zit of staat rechtop, met de rug tegen de muur de rechter bovenarm hangt vrij naar beneden, terwijl de elleboog de muur raakt en de onderarm loodrecht op de muur wordt gehouden	antropometer	177
elleboog-vingertop lengte	de horizontale afstand tussen de achterzijde van de bovenarm bij de elleboog en de vingertoppen met 90 graden gebogen elleboog en parallel aan de vloer	de proefpersoon zit rechtop met de bovenarm vrijhangend naar beneden en de onderarm onder 90 graden gebogen en de hand gestrekt	antropometer	068
ellebooghoogte, staand	de verticale afstand tussen de vloer en het laagste benige punt van de gebogen elleboog	de te meten persoon staat rechtop met de voeten tegen elkaar; de bovenarm hangt vrij naar beneden en de onderarm staat haaks op de bovenarm	antropometer	006
ellebooghoogte, zittend	de verticale afstand tussen het horizontale zitvlak en het laagste benige punt van de gebogen elleboog	de te meten persoon zit volledig rechtop met de dijbenen geheel ondersteund en de onderbenen vrij hangend; de bovenarm hangt vrij naar beneden en de onderarm staat haaks op de bovenarm	antropometer	013
hakhoogte	de verticale afstand tussen de onderkant van de hak en de schacht van de schoen	de proefpersoon zit rechtop met de voeten op een platform	rolmaat	072
halsonvang	de maximale omtrek van de hals juist onder de adamsappel gemeten	de proefpersoon zit rechtop het zijn hoofd in het Frankforter vlak	meetlint	050
handbreedte met duim	de maximale breedte tussen de ulnaire metacarpale en falanx 1	de proefpersoon houdt de onderarm en de hand gestrekt de vingers zijn gesloten	passer	101

handbreedte zonder duim	de afstand tussen de ulnaire zijde van de pink en de radiale zijde van de wijsvinger, gemeten ter hoogte van de distale uiteinden van de middenhandbeentjes (metacarpale botstukken)	de te meten persoon houdt de onderarm horizontaal met de hand gestrekt	schuifmaat	018
handdikte	de maximale afstand tussen de handpalm en de handrug ter hoogte van het middelvingergewricht	de dikte wordt gemeten met gestrekte hand	passer	102
handlengte	de afstand tussen de top van de middelvinger en het meest distale punt van de processus styloideus radii gemeten bij de gestrekte hand	de te meten persoon houdt de onderarm horizontaal met de hand gestrekt de styloideus komt ongeveer overeen met de middelste huidplooi tussen hand en pols	schuifmaat	017
handpalmengte	de afstand tussen het meest distale punt van de processus styloideus radii en de proximale huidplooi van de middelvinger op de handpalm	de proefpersoon houdt de onderarm horizontaal en de hand gestrekt de vingers zijn gespreid en de meting wordt verricht aan de binnenzijde van de hand	schuifmaat	064
heupbreedte, staand	de maximale horizontale afstand over de heupen gemeten elkaar	de te meten persoon staat rechtop met de voeten tegen	grote passer	034
heupbreedte, zittend	de maximale horizontale afstand over de heupen gemeten	de te meten persoon zit rechtop, de dijbenen worden geheel ondersteund en de onderbenen hangen vrij met de knieën tegen elkaar	grote passer	035
hoofdbreedte	de maximale breedte boven het hoofd boven de oren, haaks op het mid-sagittale vlak gemeten	de houding van het hoofd heeft geen invloed op de meting	passer	025
hoofddiepte glabella tot wand	de afstand van het meest vooruitstekende punt van het voorhoofd tussen de wenkbrauwen en de muur terwijl het hoofd in het Frankfurter vlak wordt gehouden loodrecht op die muur		antropometer/hoogtemeter	113
hoofddiepte nasion-ophistocranion	de horizontale afstand van de glabella tot het opisthocranion	de proefpersoon staat rechtop	passer	087
hoofdlengte	de rechtlijnige afstand tussen de glabella en het opisthocranion	men meet met de passer de afstand tussen de glabella en het achterste punt van de schedel de houding van het hoofd heeft geen invloed	passer	024

hoofdomtrek	de maximale, ongeveer horizontale omtrek van het hoofd, gemeten boven de glabella en het opisthocranion	het haar dient bij de meting inbegrepen te worden	meetlint	026
hoogte cervicale, staand	de verticale afstand tussen de vloer en de processus van de vertebra prominens (de zevende halswervel)	de te meten persoon staat rechtop met de voeten tegen elkaar en met het hoofd in het Frankfurter vlak	antropometer	004
hoogte trochanter	de verticale afstand tussen de vloer en het hoogste punt van de grote trochanter (het meest naar buiten gedraaide punt op de grote trochanter van de femur = trochanterion)	de te meten persoon staat rechtop met de voeten tegen elkaar en hoofd, schouderbladen, hielen en billen tegen een verticaal vlak.	antropometer	041
huidplooi biceps in 0,1 mm	de dikte van de huidplooi op de biceps	de proefpersoon staat of zit ontspannen rechtop met de armen losjes hangend langs het lichaam	huidplooiometer	089
huidplooi crista iliaca in 0,1 mm	de dikte van de huidplooi bij de ilio-cristale	de proefpersoon staat rechtop met de armen losjes langs het lichaam	huidplooiometer	092
huidplooi subscapula in 0,1 mm	de dikte van de huidplooi juist onder het schouderblad	de proefpersoon staat rechtop met de armen losjes langs het lichaam	huidplooiometer	091
huidplooi triceps in 0,1 mm	de dikte van de huidplooi op de triceps	de proefpersoon staat of zit rechtop met de armen losjes langs het lichaam	huidplooiometer	090
kniebreedte	de breedte tussen de beide femorale condylen met enige druk gemeten	de proefpersoon staat ontspannen rechtop	passer	085
knieholtehoogte (popliteale hoogte)	de verticale afstand tussen het steunvlak en de voet en de knieholte (popliteale hoogte /zittinghoogte)	de proefpersoon houdt dijbeen en onderbeen onder 90 graden tijdens de meting de proefpersoon zit met de voet op een platform het beweegbare deel van de antropometer wordt zachtjes tegen in de knieholte tegen de ontspannen biceps femoris geduwd	antropometer	015
kniehoogte, zittend	de verticale afstand tussen het steunvlak van de voet en de bovenkant van de dij direkt boven de knieschijf	de te meten persoon zit of staat; de voet van het te meten been staat op een steunvlak; het onderbeen staat verticaal en haaks gebogen ten opzichte van het bovenbeen.	antropometer	016
knieknobbelhoogte	de hoogte van de epicondylus laterale	de proefpersoon staat ontspannen rechtop	antropometer	083

knijpkracht hand	de maximale waarde van de statische knijpkracht na 3 keer knijpen in staande houding met de hand enigszins van het lichaam af	de proefpersoon staat rechtop en probeert zonder invloed van buitenaf 3 keer maximaal te knijpen; de Jamar knijpkrachtmeter dient eerst in de juiste stand voor de handgrootte gezet te worden	knijpkrachtmeter	073
krui-zitvlakhoogte	de verticale stand tussen het horizontale zitvlak en het hoogste punt (de vertex) van het hoofd	de te meten persoon zit volledig rechtop met de dijbenen geheel ondersteund en de onderbenen vrij hangend; het hoofd is in het Frankfurter vlak	antropometer	009
kruihoogte, staand	de verticale afstand tussen de vloer en het distale gedeelte van de ramus inferior van het os pubis	de te meten persoon staat met de benen maximaal 10 cm uit elkaar; de meetarm wordt tussen de benen omhoog geschoven, tot zachtjes tegen het schaambeek; de proefpersoon sluit dan de benen en staat rechtop gedurende de meting.	antropometer	033
leeftijd	het aantal jaren en dagen tussen de geboortedatum en de meetdatum	men noteert bij voorkeur de geboortedatum en de meetdatum en deelt het verschil in dagen door 365,25 om het aantal jaren van de leeftijd te krijgen		066
lengte van het gezicht	de rechtlijnige afstand van nasion tot menton	de te meten persoon staat rechtop met de mond dicht (kiezen op elkaar)	schuifmaat	029
lichaamsgewicht/massa	de totale gewicht/massa van het lichaam	de te meten persoon staat op een weegschaal	weegschaal	001
lichaamslengte doorgezakt	de verticale afstand tussen de vloer en de vertex	de proefpersoon heeft de voeten en de knieën zomogelijk tegen elkaar het hoofd in het Frankfurter vlak en staat doorgezakt	antropometer	052
lichaamslengte gestrekt	de verticale afstand tussen de vloer en de vertex	de proefpersoon heeft de voeten en de knieën zomogelijk tegen elkaar het hoofd in het Frankfurter vlak en staat in gestrekte houding	antropometer	166
lichaamslengte, staand	de verticale afstand tussen de vloer en het hoogste punt (de vertex) van het hoofd	de te meten persoon staat rechtop met de voeten tegen elkaar en met het hoofd in het Frankfurter vlak	antropometer	002
onderbeen omvang	de maximale omtrek van de rechter kuit	de proefpersoon staat rechtop de omtrek wordt gemeten waar de omtrek het grootst is	meetlint	123

ooghoogte, staand	de verticale afstand tussen de vloer en de binnenhoek (de mediale hoek) van het oog	de te meten persoon staat rechtop met de voeten tegen elkaar en met het hoofd in het Frankfurter vlak	antropometer	003
ooghoogte, zittend	de verticale afstand tussen het horizontale zitvlak en de binnenhoek (de mediale hoek) van het oog	de te meten persoon zit volledig rechtop met de dijbenen geheel ondersteund en de onderbenen vrij hangend; het hoofd is in het Frankfurter vlak	antropometer	010
palmhoogte staand	de verticale afstand tussen de vloer en de handpalm	de proefpersoon staat rechtop met de handpalm zoveel mogelijk horizontaal	antropometer	116
polsbreedte	de afstand tussen de ulnaire en de radiale styloideus	de proefpersoon houdt de onderarm en hand horizontaal	passer	086
polsomvang	de omtrek van de pols tussen de processus styloideus en de hand, met de hand gestrekt vingers gestrekt	de te meten persoon houdt de onderarm horizontaal naar voren met de hand en de	meetlint	040
reikdiepte duimtop	de afstand van de muur tot de top van de duim, gemeten met de schouders tegen de muur en de arm en hand gestrekt voorwaarts, waarbij de duim de wijsvingertop raakt	de proefpersoon staat rechtop met de schouders tegen de muur	antropometer	103
reikhoogte, staand	de afstand tussen de vloer en de grip-as	de proefpersoon staat rechtop met de armen boven het hoofd gestrekt in de handen heeft hij een grijpstok van 2,5 cm dik, waarvan het midden de grip-as is	antropometer, meetstaaf	078
reikhoogte, staand, op 36 cm afstand	de afstand tussen de vloer en de grip-as	de proefpersoon staat rechtop met de antropometer op 35 cm afstand van zijn buik hij probeert de meetstaaf van 2,5 cm diameter zo hoog mogelijk langs de antropometer omhoog te komen	antropometer, meetstaaf	082
reikhoogte, zittend	de afstand tussen het zitvlak en de grip-as	de proefpersoon zit rechtop en houdt de meetstaaf van 2,5 cm diameter zo hoog mogelijk boven zijn schouder	antropometer, meetstaaf	070
reikwijdte gripas	de maximale horizontale afstand tussen een verticaal vlak waartegen de te meten persoon met beide schouderbladen leunt en de gripas in staande houding	de te meten persoon staat rechtop met de schouderbladen, hielen en billen tegen een verticaal vlak; de arm is horizontaal, voorwaarts gestrekt; de hand staat in het verlengde van de onderarm en houdt de meetstaaf verticaal vast	antropometer, meetstaaf	030



rugleuning tot C7	de horizontale afstand van de verticale wand tot de 7e halswervel	de proefpersoon zit rechtop met hoofd, schouderbladen en billen tegen de wand	schuifmaat	076
rugleuning tot sacrum	de horizontale afstand van de verticale wand tot het sacrum op 10 cm op het zitvlak	de proefpersoon zit rechtop met hoofd, schouderbladen en billen tegen de wand	schuifmaat	077
sagittale boog	de boogafstand tussen de glabella over de schedel en het opisthocranion in het sagittale vlak	plaats het meetlint op de glabella en voer het over het hoofd tot het achterste punt van de schedel (het opisthocranion); het haar dient bij de meting inbegrepen te worden (maximaal ingedrukt)	meetlint	027
schouder-ellebooglengthe	de verticale afstand van het acromion en de onderzijde van de (90 graden) gebogen elleboog met de onderarm horizontaal gehouden	de proefpersoon zit rechtop met de dijnen volledig ondersteund en de bovenarmen vrij naar beneden hangend	antropometer	079
schouderbreedte biacromiale	de rechte afstand van het ene acromion tot het andere acromion	de te meten persoon zit volledig rechtop met de dijbenen geheel ondersteund en de onderbenen vrij hangend. (deze maat is kleiner dan de breedte zoals gemeten over de verst uitstekende punten van de deltoide spieren)	grote passer	014
schouderbreedte bideltoideus	de rechte afstand tussen de beide spierbuiken van de linker en de rechter deltoideus	de proefpersoon zit of staat rechtop met de schouders naar achteren de ellebogen tegen het lichaam gehouden en de handen in de schoot	grote passer	118
schouderhoogte, staand	de verticale afstand tussen de vloer en het acromion	de te meten persoon staat rechtop met de voeten tegen elkaar; de schouders moeten normaal ontspannen zijn, de armen vrij hangend	antropometer	005
schouderhoogte, zittend	de verticale afstand tussen het horizontale zitvlak en het acromion	de te meten persoon zit volledig rechtop met de dijbenen geheel ondersteund en de onderbenen vrij hangend; de schouders moeten normaal ontspannen zijn, de armen vrij hangend	antropometer	012
taillehoogte zittend	de verticale afstand van de taille (het midden tussen de onderste ribben en de bovenrand van het bekken meestal ter hoogte van de navel) en het zitvlak	de proefpersoon zit volledig rechtop met de dijbenen geheel ondersteund	antropometer	179

tailleomvang	de lichaamsomtrek in het horizontale vlak halverwege de onderste rib en de bovenkant van het ilium (crista iliaca)	de te meten persoon staat rechtop met de voeten tegen elkaar en wordt gevraagd de buikspieren te ontspannen	meetlint	037
tibiale hoogte, staand	de verticale afstand tussen de vloer en de mediale bovenrand van het scheenbeen tuberositas tibiae (=tibale)	de te meten persoon staat rechtop met de voeten tegen elkaar	antropometer	008
voetbreedte	de maximale afstand tussen de mediale en de laterale zijde van de voet	de te meten persoon staat met het lichaamsgewicht gelijk verdeeld over beide voeten; de afstand wordt gemeten haaks op de lengte-as van de voet	antropometer	023
voetlengte	de maximale horizontale afstand tussen de achterzijde hiel en het voorste punt van de voet; deze afstand wordt gemeten parallel aan lengte as van de voet (= lijn door hiel en tweede teen)	de te meten persoon staat met het lichaamsgewicht gelijk verdeeld over beide voeten; het achterste punt v.d. voet wordt op het steunvlak geprojecteerd door het meetblok tegen de voet te plaatsen; de afstand van de langste teen tot het meetblok wordt gemeten	antropometer, meetblok	022
vuisthoogte, staand	de verticale afstand tussen de vloer bij neerhangende armen en de grijpas van de vuist	de te meten persoon staat rechtop met de voeten tegen elkaar en afhangende armen, met hielen, hoofd, billen en schouderbladen tegen een verticaal vlak; de hand houdt een meetstaaf horizontaal en sagittaal vast	antropometer, meetstaaf	032
wijsvingerbreedte, distaal	de maximale afstand tussen de radiale en de ulnaire zijde van de wijsvinger, gemeten ter hoogte van het distale interfalangiale gewricht	de te meten persoon houdt de onderarm horizontaal met de hand gestrekt en de vingers gespreid	schuifmaat	021
wijsvingerbreedte, proximaal	de maximale afstand tussen de radiale en de ulnaire zijde van de wijsvinger, gemeten ter hoogte van de proximale interfalangiale gewricht	de te meten persoon houdt de onderarm horizontaal met de hand gestrekt en de vingers gespreid	schuifmaat	020
wijsvingerlengte	de afstand tussen de top en de proximale vingerhuidplooi van de wijsvinger	de proefpersoon houdt de onderarm horizontaal met de hand gestrekt.	schuifmaat	019

## Bijlage 4.2

### Meetresultaten van het DELKI-project

Tabellen op alfabetische volgorde van de naam van variabele.

leeftijd	geslacht	n	$\bar{x}$	s	leeftijd	geslacht	n	$\bar{x}$	s
4	jongen	1	23,0	.	4	jongen	1	31,9	.
	meisje	3	28,0	1,57		meisje	3	35,9	2,36
5	jongen	1	28,8	.	5	jongen	0	.	.
	meisje	2	31,1	0,57		meisje	2	38,0	1,06
6	jongen	7	33,9	1,68	6	jongen	7	40,3	1,78
	meisje	5	32,1	2,38		meisje	5	39,7	1,81
7	jongen	24	34,9	2,69	7	jongen	17	41,6	2,09
	meisje	23	34,4	2,85		meisje	17	39,2	3,70
8	jongen	14	36,3	2,55	8	jongen	10	42,9	2,47
	meisje	11	36,1	2,11		meisje	10	42,9	2,57
9	jongen	22	36,9	2,41	9	jongen	24	45,5	2,76
	meisje	14	37,9	2,96		meisje	15	46,2	3,05
10	jongen	27	39,1	2,80	10	jongen	29	48,2	2,69
	meisje	20	38,8	3,06		meisje	28	48,1	3,16
11	jongen	25	41,6	3,97	11	jongen	22	49,4	3,85
	meisje	26	41,7	4,71		meisje	21	48,7	3,67
12	jongen	38	42,1	2,70	12	jongen	37	51,2	3,05
	meisje	41	42,3	2,84		meisje	37	51,8	3,16
13	jongen	7	44,6	3,98	13	jongen	7	54,0	5,93
	meisje	1	38,6	.		meisje	1	48,2	.

Tabel 1: Bil-knieholte diepte (cm).

Tabel 2: Bil-knieschijf diepte, zittend (cm).

leeftijd	geslacht	n	$\bar{x}$	s
4	jongen	0	.	.
	meisje	0	.	.
5	jongen	0	.	.
	meisje	0	.	.
6	jongen	1	33,0	.
	meisje	0	.	.
7	jongen	14	31,2	2,49
	meisje	5	30,0	2,63
8	jongen	4	32,4	1,98
	meisje	9	31,1	3,40
9	jongen	8	33,6	3,92
	meisje	6	30,1	1,77
10	jongen	10	32,4	2,18
	meisje	8	33,0	5,05
11	jongen	4	37,2	7,61
	meisje	8	33,8	5,49
12	jongen	16	34,3	2,54
	meisje	12	35,6	4,33
13	jongen	1	30,8	.
	meisje	0	.	.

Tabel 3: Breedte van elleboog tot elleboog (cm).

leeftijd	geslacht	n	$\bar{x}$	s
4	jongen	0	.	.
	meisje	0	.	.
5	jongen	0	.	.
	meisje	0	.	.
6	jongen	1	17,3	.
	meisje	0	.	.
7	jongen	21	17,2	2,06
	meisje	11	17,1	1,39
8	jongen	7	17,4	2,09
	meisje	10	18,7	1,95
9	jongen	16	17,5	3,21
	meisje	11	16,9	2,23
10	jongen	18	18,5	2,64
	meisje	18	17,3	2,44
11	jongen	14	18,2	1,92
	meisje	17	18,9	2,53
12	jongen	25	18,9	2,35
	meisje	23	19,2	4,09
13	jongen	2	16,8	1,27
	meisje	0	.	.

Tabel 4: Ellebooghoogte, zittend (cm).

leeftijd	geslacht	n	$\bar{x}$	s
4	jongen	1	5,7	.
	meisje	3	5,9	0,57
5	jongen	1	6,2	.
	meisje	2	6,2	0,07
6	jongen	7	6,4	0,25
	meisje	5	6,2	0,45
7	jongen	17	6,6	0,30
	meisje	17	6,1	0,35
8	jongen	11	6,7	0,41
	meisje	11	6,6	0,39
9	jongen	22	6,9	0,32
	meisje	13	6,8	0,35
10	jongen	27	7,2	0,38
	meisje	20	7,0	0,44
11	jongen	20	7,3	0,51
	meisje	20	7,1	0,43
12	jongen	36	7,4	0,46
	meisje	37	7,3	0,46
13	jongen	7	7,5	0,66
	meisje	1	7,3	.

Tabel 5: Handbreedte (zonder duim), metacarpaal (cm).

leeftijd	geslacht	n	$\bar{x}$	s
4	jongen	1	11,8	.
	meisje	3	11,8	1,14
5	jongen	1	12,9	.
	meisje	2	12,9	0,28
6	jongen	7	13,0	0,48
	meisje	5	12,8	1,17
7	jongen	17	14,0	0,62
	meisje	17	13,0	0,75
8	jongen	11	14,0	0,88
	meisje	10	14,3	0,67
9	jongen	22	14,4	0,69
	meisje	13	14,7	0,72
10	jongen	32	15,3	0,97
	meisje	21	14,8	0,93
11	jongen	25	15,7	1,24
	meisje	26	15,7	0,91
12	jongen	37	16,0	0,82
	meisje	39	16,2	1,31
13	jongen	7	16,6	1,55
	meisje	1	14,2	.

Tabel 6: Handlengte (cm).

leeftijd	geslacht	n	$\bar{x}$	s
4	jongen	1	22,0	.
	meisje	3	22,0	2,41
5	jongen	1	21,9	.
	meisje	2	24,4	1,70
6	jongen	7	22,8	1,50
	meisje	5	23,3	2,56
7	jongen	24	24,0	2,28
	meisje	23	23,3	1,87
8	jongen	14	24,8	2,02
	meisje	10	25,3	1,48
9	jongen	22	25,3	2,01
	meisje	13	25,9	2,51
10	jongen	27	26,3	1,69
	meisje	20	26,7	2,43
11	jongen	25	27,7	3,32
	meisje	26	27,6	2,12
12	jongen	37	27,6	1,88
	meisje	41	28,5	3,05
13	jongen	7	29,1	2,46
	meisje	1	26,0	.

Tabel 7: Heupbreedte, zittend (cm).

leeftijd	geslacht	n	$\bar{x}$	s
4	jongen	1	30,6	.
	meisje	3	33,2	1,63
5	jongen	1	35,2	.
	meisje	2	34,6	0,28
6	jongen	7	36,9	1,17
	meisje	5	35,8	2,61
7	jongen	17	38,0	1,78
	meisje	17	36,8	2,50
8	jongen	11	39,8	1,69
	meisje	11	39,0	2,58
9	jongen	22	41,6	2,92
	meisje	13	42,9	2,21
10	jongen	27	44,1	2,64
	meisje	20	43,0	2,69
11	jongen	19	45,6	3,31
	meisje	20	45,0	2,44
12	jongen	36	46,9	3,34
	meisje	36	46,7	3,27
13	jongen	7	48,3	3,79
	meisje	1	45,3	.

Tabel 8: Kniehoogte, zittend (cm).

leeftijd	geslacht	n	$\bar{x}$	s
4	jongen	1	62,0	.
	meisje	3	60,5	0,87
5	jongen	1	63,4	.
	meisje	2	63,9	0,14
6	jongen	7	65,9	2,27
	meisje	5	64,9	4,04
7	jongen	17	66,7	3,31
	meisje	17	64,7	2,76
8	jongen	11	68,2	2,14
	meisje	11	68,1	3,26
9	jongen	22	69,8	4,11
	meisje	13	71,4	1,87
10	jongen	27	72,4	3,70
	meisje	20	71,8	3,92
11	jongen	20	74,7	4,19
	meisje	20	74,2	3,88
12	jongen	36	76,2	3,58
	meisje	37	76,2	4,36
13	jongen	7	77,3	5,68
	meisje	1	69,0	.

Tabel 9: Kruinzitvlakhoogte (cm).

leeftijd	geslacht	n	$\bar{x}$	s
4	jongen	1	19,1	.
	meisje	3	19,2	2,52
5	jongen	1	19,6	.
	meisje	2	22,0	1,34
6	jongen	7	23,0	1,52
	meisje	5	21,6	3,41
7	jongen	24	26,9	5,04
	meisje	23	23,8	3,28
8	jongen	14	28,2	4,20
	meisje	11	26,0	2,49
9	jongen	25	31,2	4,13
	meisje	16	31,6	5,14
10	jongen	33	34,4	4,68
	meisje	29	33,8	6,18
11	jongen	31	39,2	9,19
	meisje	33	37,7	6,93
12	jongen	40	39,5	6,81
	meisje	43	40,1	7,53
13	jongen	7	42,5	12,99
	meisje	1	32,0	.

Tabel 10: Lichaamsgewicht (kg).

leeftijd	geslacht	n	$\bar{x}$	s
4	jongen	1	104,8	.
	meisje	3	109,9	2,47
5	jongen	1	115,2	.
	meisje	2	113,7	0,64
6	jongen	6	121,8	3,81
	meisje	5	118,3	6,81
7	jongen	24	126,9	5,94
	meisje	23	121,9	6,60
8	jongen	14	131,1	7,31
	meisje	11	129,6	6,60
9	jongen	25	135,6	7,33
	meisje	16	137,8	5,03
10	jongen	34	143,0	6,47
	meisje	28	139,3	6,16
11	jongen	32	148,9	8,24
	meisje	33	147,1	7,02
12	jongen	40	149,8	7,70
	meisje	43	150,6	9,09
13	jongen	7	154,4	12,72
	meisje	1	144,8	.

Tabel 11: Lichaamslengte, staand (cm).

leeftijd	geslacht	n	$\bar{x}$	s
4	jongen	1	23,8	.
	meisje	3	26,5	0,95
5	jongen	1	27,8	.
	meisje	2	28,9	0,07
6	jongen	7	30,6	0,98
	meisje	5	29,7	2,16
7	jongen	24	32,2	1,94
	meisje	23	30,7	1,70
8	jongen	14	34,4	2,72
	meisje	11	33,1	1,44
9	jongen	13	36,4	3,08
	meisje	8	34,8	1,21
10	jongen	14	37,0	1,27
	meisje	18	37,1	2,71
11	jongen	19	39,3	3,57
	meisje	19	37,1	2,71
12	jongen	28	39,2	2,54
	meisje	27	38,7	2,96
13	jongen	5	39,5	2,04
	meisje	0	.	.

Tabel 12: Onderbeenlengte (cm).

leeftijd	geslacht	n	$\bar{x}$	s
4	jongen	1	49,5	.
	meisje	3	48,8	1,84
5	jongen	1	50,3	.
	meisje	2	54,5	6,72
6	jongen	7	52,2	3,17
	meisje	5	50,5	2,01
7	jongen	17	55,1	2,40
	meisje	17	51,6	2,91
8	jongen	11	55,6	2,59
	meisje	11	57,8	2,87
9	jongen	17	57,6	3,82
	meisje	11	58,3	2,59
10	jongen	21	59,9	4,00
	meisje	18	60,0	4,02
11	jongen	17	63,4	5,72
	meisje	17	63,8	4,59
12	jongen	30	64,6	4,53
	meisje	29	64,1	4,54
13	jongen	6	65,2	5,48
	meisje	1	55,2	.

Tabel 13: Ooghoogte, zittend (cm).

leeftijd	geslacht	n	$\bar{x}$	s
4	jongen	1	44,5	.
	meisje	3	49,4	3,69
5	jongen	1	52,1	.
	meisje	2	54,4	0,14
6	jongen	7	54,6	2,41
	meisje	5	53,1	3,76
7	jongen	17	53,1	4,27
	meisje	17	54,1	3,95
8	jongen	11	55,9	3,63
	meisje	11	53,2	3,62
9	jongen	22	57,6	3,64
	meisje	13	57,4	5,67
10	jongen	27	61,9	4,64
	meisje	19	58,4	4,30
11	jongen	20	66,3	5,15
	meisje	20	61,5	6,58
12	jongen	36	64,2	5,63
	meisje	37	65,7	6,20
13	jongen	7	69,4	8,68
	meisje	1	63,0	.

Tabel 14: Reikdiepte duimtop (cm).

leeftijd	geslacht	n	$\bar{x}$	s
4	jongen	1	29,3	.
	meisje	3	26,9	4,03
5	jongen	1	28,5	.
	meisje	2	30,2	0,14
6	jongen	6	29,2	1,52
	meisje	5	29,0	1,70
7	jongen	3	31,2	1,31
	meisje	12	29,2	1,29
8	jongen	7	30,6	1,07
	meisje	1	32,0	.
9	jongen	17	32,2	2,13
	meisje	9	33,3	2,44
10	jongen	19	34,0	1,87
	meisje	20	32,9	1,77
11	jongen	18	34,6	2,43
	meisje	13	35,4	2,99
12	jongen	21	35,1	2,39
	meisje	25	35,2	2,66
13	jongen	6	36,9	3,70
	meisje	1	31,2	.

leeftijd	geslacht	n	$\bar{x}$	s
4	jongen	1	37,8	.
	meisje	3	37,6	0,36
5	jongen	1	40,5	.
	meisje	2	40,4	0,14
6	jongen	7	41,3	2,25
	meisje	5	41,4	3,18
7	jongen	17	42,4	1,51
	meisje	17	41,1	2,65
8	jongen	10	42,6	1,06
	meisje	11	44,2	3,15
9	jongen	22	44,6	4,26
	meisje	13	44,6	2,12
10	jongen	27	45,9	3,45
	meisje	20	45,4	3,26
11	jongen	20	48,7	3,96
	meisje	20	48,8	4,21
12	jongen	36	49,0	2,89
	meisje	37	49,3	4,23
13	jongen	7	50,0	3,67
	meisje	1	40,3	.

Tabel 15: Schouderbreedte biacromiaal (cm). Tabel 16: Schouderhoogte, zittend (cm).

leeftijd	geslacht	n	$\bar{x}$	s
4	jongen	1	6,3	.
	meisje	3	6,7	0,25
5	jongen	1	6,5	.
	meisje	2	6,9	0,28
6	jongen	7	7,2	0,20
	meisje	5	6,9	0,54
7	jongen	17	7,7	0,50
	meisje	17	7,1	0,32
8	jongen	11	7,6	0,71
	meisje	11	7,8	0,32
9	jongen	22	8,0	0,39
	meisje	13	7,8	0,32
10	jongen	27	8,4	0,52
	meisje	20	8,1	0,66
11	jongen	20	8,5	0,64
	meisje	20	8,2	0,70
12	jongen	36	8,7	0,71
	meisje	37	8,5	0,60
13	jongen	7	8,8	0,87
	meisje	1	7,9	.

leeftijd	geslacht	n	$\bar{x}$	s
4	jongen	1	15,5	.
	meisje	3	17,0	0,72
5	jongen	1	18,4	.
	meisje	2	17,7	0,99
6	jongen	7	18,6	0,80
	meisje	5	18,4	1,23
7	jongen	17	20,0	0,73
	meisje	17	18,6	1,07
8	jongen	11	20,1	1,17
	meisje	11	20,1	0,86
9	jongen	22	21,2	1,21
	meisje	13	21,4	0,87
10	jongen	27	22,0	1,40
	meisje	20	21,3	1,43
11	jongen	20	22,9	1,84
	meisje	20	22,3	1,46
12	jongen	36	23,2	1,41
	meisje	37	22,8	1,60
13	jongen	7	23,3	2,44
	meisje	1	20,2	.

Tabel 17: Voetbreedte (cm).

Tabel 18: Voetlengte (cm).

# Bijlage 4.3

## Meetresultaten van het DELSTU-project

variabele	nr	man						vrouw							
		n	$\bar{x}$	s	min	p5	p95	max	n	$\bar{x}$	s	min	p5	p95	max
<b>breedtematen</b>															
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. bideloïdeus	(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
<b>dieptematen</b>															
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
<b>lengtematen</b>															
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 cervical 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-zitvlakhoogte	(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
<b>overige maten</b>															
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 ilioacristale	(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

*Afmetingen Delfse studenten 1985 naar geslacht en soort lichaamsmaat. Empirische waarden (n=aantal; overige waarden in cm, behalve indien anders vermeld).*



# Bijlage 4.4

## Meetresultaten van het GDVV-project

variabele	nr	man							vrouw						
		n	$\bar{x}$	s	min	p5	p95	max	n	$\bar{x}$	s	min	p5	p95	max
<b>breedtematen</b>															
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	(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
<b>dieptematen</b>															
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
<b>lengtematen</b>															
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
buiddiepte 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
schuiderhoogte 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
<b>overige maten</b>															
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

*Afmetingen van GDVV-senioren (55-105 jaar; %vrouw =75%) naar geslacht en soort maat (n=aantal; overige waarden in cm, behalve indien anders aangegeven).*

## Bijlage 5.1

### Enkele statistische kentallen van het normaliteitsvraagstuk

Enkele statistische kentallen van leeftijd, lengte en gewicht bij de zes steekproeven en van het normaliteitsvraagstuk uit Hoofdstuk 5 blz. 178. De steekproeven (stp) zijn als volgt aangeduid:

bjm bejaard-man;  
bjf bejaard-vrouw;  
bj bejaard;  
stm student-man;  
stf student-vrouw;  
st student.

De kentallen zijn de volgende:

W = maat voor normaliteit; 1 = normaal;  
PW = significantie niveau voor W;  
CV = variatiecoëfficiënt;  
SKEW = scheefheid =  $a_3$ ;  
CURT = kurtosis =  $a_4$ ;  
ABSDP1 = absolute waarde verschil geschatte P1 minus empirische P1;  
ABSDP99 = absolute waarde verschil geschatte P1 minus empirische P99.

leeftijd											
stp	N	W	PW	MEAN	SDEV	CV	SKEW	CURT	ABSDP1	ABSDP99	
stm	265	0.82549	0.00000	21.66	22.686	104.739	20.913	66.736	12.419	13.066	
stf	89	0.83067	0.00000	20.91	18.971	90.748	16.481	109.507	14.721	30.475	
st	354	0.83947	0.00000	21.47	22.030	102.610	20.217	73.591	12.049	15.007	
bjm	197	0.96403	0.00384	80.44	78.295	97.336	-0.2120	-0.6353	0.0289	0.3895	
bjf	625	0.98127	0.14914	81.52	82.673	101.418	-0.3335	0.3164	0.3855	0.2112	
bj	822	0.98276	0.16984	81.26	81.728	100.578	-0.2987	0.1099	0.2506	0.1919	

lichaamsgewicht											
stp	N	W	PW	MEAN	SDEV	CV	SKEW	CURT	ABSDP1	ABSDP99	
stm	265	0.96858	0.00425	719.36	814.040	113.161	0.7024	16.224	0.1349	0.4704	
stf	89	0.96916	0.30338	624.27	866.322	138.774	0.4092	13.947	0.5860	0.5913	
st	354	0.98827	0.28515	695.45	923.771	132.830	0.2823	11.304	0.1885	0.2996	
bjm	194	0.97349	0.13417	67.31	132.770	197.245	0.3491	0.0740	0.2689	0.3619	
bjf	621	0.97336	0.00006	62.60	137.413	219.512	0.5725	0.8300	0.3903	0.3375	
bj	815	0.97611	0.00006	63.72	137.714	216.120	0.4973	0.5670	0.4220	0.3810	

lichaamslengte											
stp	N	W	PW	MEAN	SDEV	CV	SKEW	CURT	ABSDP1	ABSDP99	
stm	265	0.98899	0.19658	1819.43	660.337	36.294	0.1891	0.5371	0.1035	0.1663	
stf	89	0.93043	0.00018	1699.93	646.364	38.023	-12.997	44.271	21.596	0.4220	
st	354	0.99203	0.03252	1789.38	836.512	46.749	-0.3278	11.316	0.0336	0.2266	
bjm	152	0.97599	0.40368	1655.53	815.929	49.285	-0.0260	-0.4380	0.1379	0.0897	
bjf	457	0.98498	0.96031	1543.20	724.655	46.958	-0.2570	0.8929	0.2159	0.0034	
bj	609	0.98378	0.57065	1571.23	892.147	56.780	0.2028	0.4413	0.1040	0.0701	

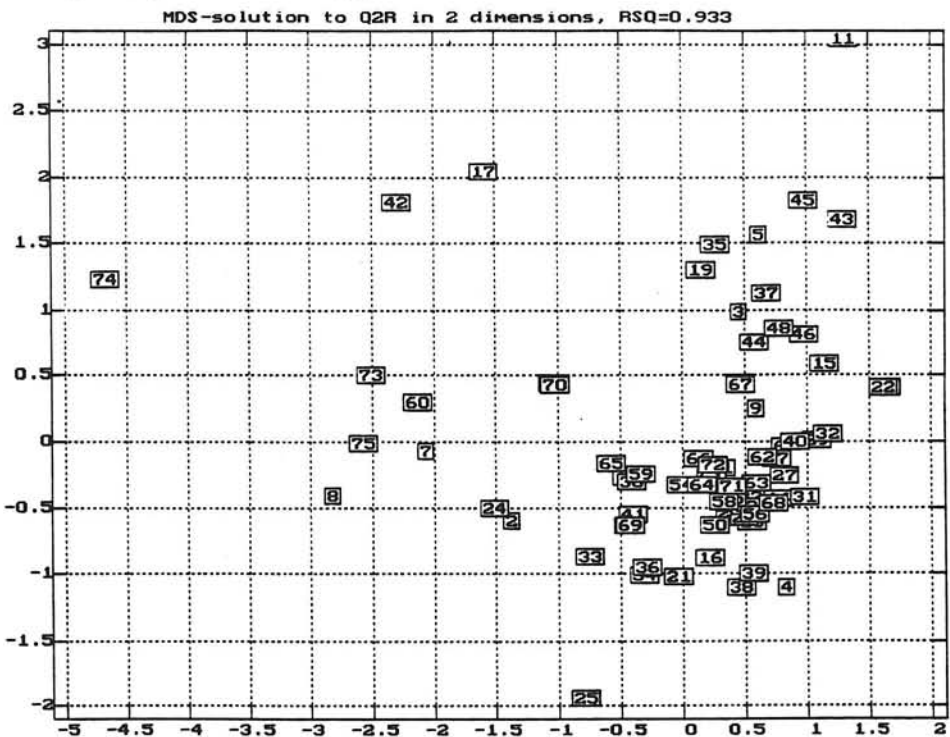
## Bijlage 5.2

### Resultaten clusteranalyse bij het normaliteitsvraagstuk

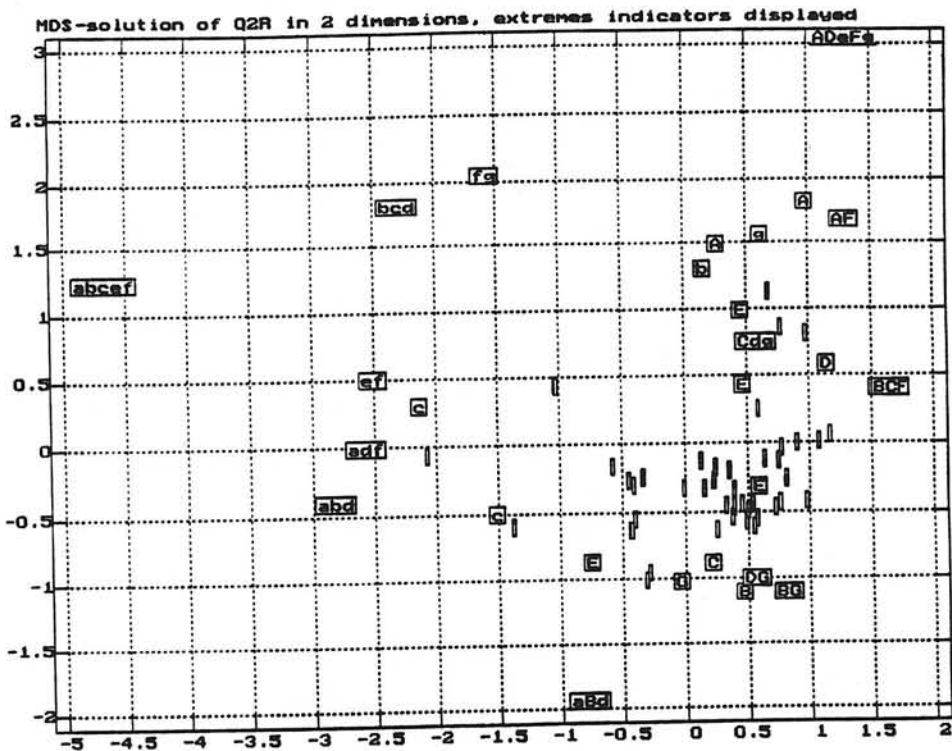
Deze analyse wordt gevisualiseerd in de figuren 1, 2 en 3 met behulp van ALSCAL van SPSS en een MDS-techniek (MDS=Multi-Dimensional-Scaling). Dit geeft de tweedimensionale projectie weer vanuit de zevendimensionale ruimte met daarin bij Figuur 1 aangegeven welke variabele waar geprojecteerd wordt. De nummers in de afbeelding komen overeen met de nummers voor de lichaamsmaten in Tabel 5.7 van Hoofdstuk 5. Zodoende is nummer 74 linksboven de tailleomvang van de militairen en nummer 11 rechtsboven de ooghoogte van de bejaarden. De uitschieters zowel als clustergroeperingen zijn hierin met enige moeite te herkennen. In figuur 2 wordt aangegeven of de vormparameter naar boven of naar beneden toe afwijkt. De codering in de hokjes is als volgt:

- |                                     |                                      |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| A = overschrijding VP1;             | a = onderschrijding VP1;             |
| B = overschrijding VP5;             | b = onderschrijding VP5;             |
| C = overschrijding VP95;            | c = onderschrijding VP95;            |
| D = overschrijding VP99;            | d = onderschrijding VP99;            |
| E = overschrijding a <sub>3</sub> ; | e = onderschrijding a <sub>3</sub> ; |
| F = overschrijding a <sub>4</sub> ; | f = onderschrijding a <sub>4</sub> ; |
| G = overschrijding W;               | g = onderschrijding W;               |

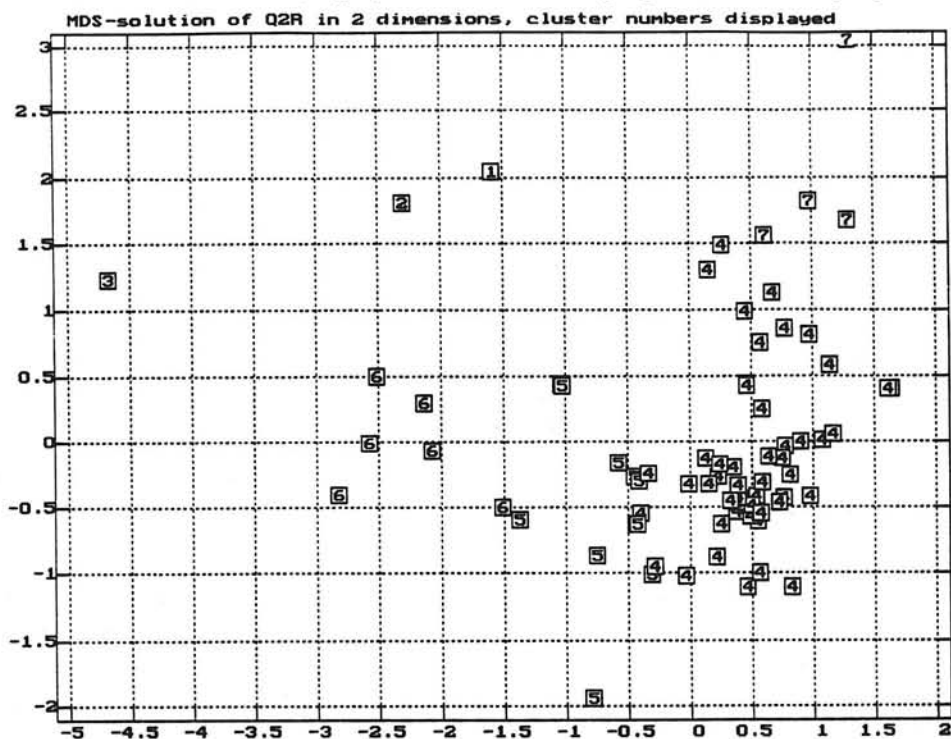
In Figuur 3 zijn de clusters aangegeven.



Figuur 1: Projectie van de vormparameters van de 75 lichaamsmaten met in de hokjes de nummers van de variabelen, zoals in Tabel 5.7 is aangegeven.



Figuur 2: Projectie van de vormparameters van de 75 lichaamsmaten met in de hokjes de codering voor de extreme waarden, zoals in de paragraaf beschreven. A = overschrijding VP1; a = onderschrijding VP1, etc.



Figuur 3: Projectie van de clusters van de 75 lichaamsmaten met in de hokjes de nummers van de clusters.

## Bijlage 5.3

### Regressievergelijkingen scheefheid

Regressievergelijkingen om de verschillen tussen de geschatte en de werkelijke percentielwaarden, te voorspellen vanuit de scheefheid en de piekigheid.

Indien geen onderscheid wordt gemaakt naar soort maat en populatie, dan geldt volgens de gebruikte data:

$$\begin{aligned} \text{VP1} &= 0,153 - 5,737 * a_3 + 0,731 * a_4 && \text{met } R^2 = 0,62 \\ \text{VP5} &= 0,059 - 0,592 * a_3 + 0,597 * a_4 && \text{met } R^2 = 0,42 \\ \text{VP95} &= -0,131 - 1,638 * a_3 - 0,058 * a_4 && \text{met } R^2 = 0,344 \\ \text{VP99} &= -0,528 - 4,950 * a_3 - 0,960 * a_4 && \text{met } R^2 = 0,589 \end{aligned}$$

Indien onderscheid wordt gemaakt naar soort maat, dan geldt volgens de gebruikte data:

bij breedte maten:

$$\begin{aligned} \text{VP1} &= -105,960 - 5,544 * a_3 + 0,215 * a_4 + 109,285 * W && \text{met } R^2 = 0,60 \\ \text{VP99} &= -20,805 - 4,666 * a_3 - 1,923 * a_4 - 21,551 * W && \text{met } R^2 = 0,67 \end{aligned}$$

bij diepte maten:

$$\begin{aligned} \text{VP1} &= -127,258 - 8,761 * a_3 + 1,908 * a_4 + 129,433 * W && \text{met } R^2 = 0,83 \\ \text{VP99} &= 223,516 + 14,536 * a_3 - 2,994 * a_4 - 233,525 * W && \text{met } R^2 = 0,93 \end{aligned}$$

bij kleine lengte maten:

$$\begin{aligned} \text{VP1} &= -55,857 - 7,833 * a_3 + 0,970 * a_4 + 57,076 * W && \text{met } R^2 = 0,57 \\ \text{VP99} &= 24,182 + 4,182 * a_3 + 0,556 * a_4 - 25,007 * W && \text{met } R^2 = 0,15 \end{aligned}$$

bij grote lengte maten:

$$\begin{aligned} \text{VP1} &= 143,477 - 144,539 * a_3 && \text{met } R^2 = 0,86 \\ \text{VP99} &= 0,156 - 2,943 * a_3 - 0,460 * a_4 - 0,094 * W && \text{met } R^2 = 0,45 \end{aligned}$$

bij omtreksmaten:

$$\begin{aligned} \text{VP1} &= 246,118 - 31,081 * a_3 - 9,911 * a_4 - 248,937 * W && \text{met } R^2 = 0,82 \\ \text{VP99} &= 0,156 - 2,943 * a_3 - 0,460 * a_4 - 0,094 * W && \text{met } R^2 = 0,45 \end{aligned}$$

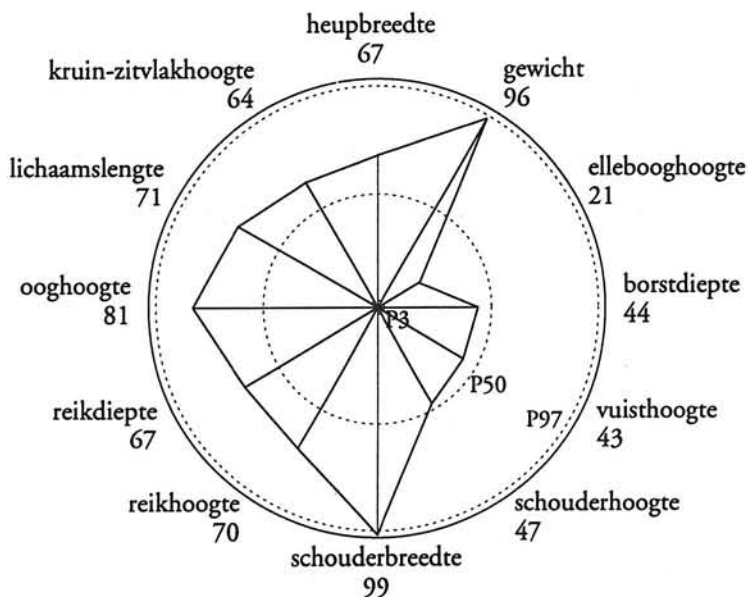
De voorspellers in bovenstaande regressievergelijkingen zijn met opzet gekozen vanuit de gedachte dat dit in afnemende volgorde de meest bekende statistische grootheden waren.

De introductie van de Shapiro-W (die niet dimensieloos is en een kleine spreiding heeft tussen 0,9 en 1), heeft een hoge waarde van de constante term tot gevolg. Daarom dienen die regressievergelijkingen meer als illustratie, dan als enige kwantificeerbare oplossing gezien te worden.

## Bijlage 5.4

### Voorbeeld Percentiel Profiel

Percentiel Profiel proefpersoon: Molenbroek.



*Referentie populatie: DINED (1986) volwassen Nederlandse mannen*  
*Datum meting: 9 januari 1989*

# Lijst van begrippen

In de onderstaande lijst worden enkele begrippen omschreven, zoals die in deze studie worden gehanteerd. Een aantal ervan heeft buiten deze studie een bredere betekenis.

acromiale	het meest laterale punt van de bovenkant van de scapula; de acromiale hoogte wordt over het algemeen gelijkgesteld aan de schouderhoogte
allel	(= allelomorf) elk van de verschillende vormen van hetzelfde gen
androgyn	tweeslachtig, meestal vrouwelijke kenmerken bij mannen
anterior(ventraal)	naar de voorzijde of aan de buikzijde liggend; het tegenovergestelde van posterior
antropometrie	de studie van afmetingen en verhoudingen van het menselijk lichaam en zijn segmenten, met de nadruk op de buitenzijde
antropometrische ergonomie	de studie van het ontwerpen van werkplekken en gebruiksvoorwerpen op basis van antropometrische gegevens
arrêteren	op nul zetten
bewegingsalgoritme	een serie berekenings-stappen op basis waarvan een computermodel van de mens menselijke beweging simulerend toont
bi	een voorvoegsel; een woord dat aangeeft dat dit woord betrekking heeft op twee symmetrisch gepaarde delen van het lichaam zoals "biacromiaal", "bitragion"
BMI	Body Mass Index = $QI = \text{Gewicht (kg)} / \text{Lengte (m}^2\text{)}$ ; een getal meestal tussen 20 en 25, dat wordt gebruikt als maat van het 'gezonde' gewicht, maar ook als aanduiding gebruikt kan worden voor een belangrijke vormkarakteristiek
BS	British Standard
caudaal	naar de staart(been)zijde
CEN	Commissie Européen de Normalisation
CEN/TC	Technical Committee van de CEN
cervicale	het punt van de processus spinosus van de vertebra prominens (achteruitsteeksel van de zevende halswervel)

Computer Aided Design (CAD)	het gebruik van computers als hulpmiddelen bij het ontwerpen
correlatie	het vertonen van (functionele) samenhang van twee variabelen
correlatiecoëfficiënt	is een statistische maat voor de samenhang ( $-1 \leq r \leq +1$ )
craniaal	naar de bovenzijde (schedelwaarts) of op de schedel betrekking hebbend
deterioratie	aftakeling
DIN	Deutsches Institut für Normung
DINED	tabel met schattingen van afmetingen van volwassen Nederlanders
distaal	verder van het centrum (hart, romp) gelegen; het tegengestelde van proximaal
dorsaal (posterior)	naar de rug- of achterzijde liggend; het tegengestelde van ventraal (anterior)
draadframe	visuele weergave van een ruimtelijk lichaam met lijnen die dat lichaam nauw omhullen
draaischijf, schuif	tabel die kan worden verplaatst achter een masker met gaten, zodat het zoeken van bij elkaar horende gegevens wordt vereenvoudigd
dummy	drie-dimensionaal model van hout of kunststof van de mens op ware grootte
ellipsoïde	ruimtelijke vorm die ontstaat door het wentelen van een ellips rond een as
ergonomie	het zodanig ontwerpen van gebruiksvoorwerpen, technische systemen en taken, dat de veiligheid, de gezondheid, het comfort en het doeltreffend functioneren van mensen worden bevorderd (definitie van Nederlandse Vereniging voor Ergonomie)
factoranalyse	een statistische methode waarmee algemeen verklarende 'factoren' worden onderscheiden, mede diendend voor overzicht en indeling van vele variabelen in samenhang
fe	fysieke ergonomie
Frankfurtervlak	het vlak waarmee de standaard horizontale stand van het hoofd wordt gedefinieerd; dit vlak gaat door de beide tragions en de linker orbitale (laagste punt oogholte)



fysieke ergonomie	houdt zich bezig met maten, krachten, houdingen en bewegingen van het menselijk lichaam in relatie tot de technische artefacten
G	vaak in de betekenis van lichaamsgewicht in kg of hg
gewrichtsexcursiede	(maximale) hoekverdraaiing van een bot in een gewricht ten opzichte van een gekozen assenstelsel
glabella	het voorste punt van het voorhoofd tussen de wenkbrauwen in het midsagittale vlak
grijpas (gripas)	de lengtes van een in de vuist gehouden staaf
hiddenlines algoritme	een serie berekenings-stappen om uit een afbeelding met behulp van de computer, die lijnen te verwijderen, die in werkelijkheid niet zichtbaar zijn omdat ze zich achter of aan de achterzijde van voorwerpen bevinden
ijken	toetsen aan gestelde eisen en voorzien van een merkteken (ijk)
inferior	onderste
inion	het meest naar achter gelegen onderste uitsteeksel van het achterhoofd
interactief computergebruik	gebruik van de computer, waarbij gebruiker en computer een dialoog aangaan
interpreteerbaarheid van een model	het gemak waarmee de in dit model vervatte informatie afleesbaar, begrijpelijk en toepasbaar is
io	industrieel ontwerpen
kalibreren	met een instrument (kaliber) meten of een werkstuk de juiste maat heeft
L	vaak in de betekenis van lichaamslengte in m of cm
lateraal	verder van het mediaanvlak gelegen; het tegengestelde van mediaal
ledenketen	een rij onbuigbaar geachte lijnstukken, verbonden door scharnieren met één of meer graden van bewegingsvrijheid
locus	plaats

longitudinaal onderzoek	onderzoek waarbij een steekproef in de loop van de tijd wordt gevolgd, bijvoorbeeld het meten van lichaamslengte bij dezelfde kinderen vier keer per jaar gedurende 5 jaar. Transversaal onderzoek meet alleen op een bepaald moment of gedurende een korte periode
maatschets	op schaal getekend aanzicht (bijvoorbeeld van een werkplek)
manikin (2D)	tekenhulpmiddel, waarmee afbeeldingen van de mens op schaal getekend kunnen worden
mediaal	bij of in de richting van het mediaanvlak gelegen; het tegenstelde van lateraal
mediaanvlak	sagittaalvlak dat het lichaam in een bijna (midsagittaalvlak) gelijke linker en rechterhelft verdeelt
mensmodel	selectieve weergave van menselijke afmetingen en bewegingsmogelijkheden
menton	het onderste punt van de kin in het midsagittale vlak
menu bij interactief computergebruik	een lijst waarmee men een keuze kan maken tussen verschillende functies die op een bepaald punt in een computerprogramma ter beschikking staan.
mesosternale	punt op het borstbeen midden tussen de bovenzijde (suprasternale) en de onderzijde (xyphion); dit punt ligt normaal iets boven de lijn tussen de tepels (thelion); zie Bijlage 4.1
metacarpaal	verwijzend naar de middenhandsbeentjes (de lange botten van de hand tussen de pols en vingers)
mitochondriaal DNA	erfelijke eigenschappen hierin vastgelegd worden alleen via de moeder doorgegeven
mockup	drie-dimensionaal model op ware grootte van een werkplek of object (bedoeld om de relatie te onderzoeken tussen de gebruiker en de werkplek of het object).
model	nabootsing van een of meer aspecten van de werkelijkheid; bijvoorbeeld antropometrisch/mensmodel/produktmodel
mpi	mens-produkt-interactie; term die vaak gebruikt wordt om de kern van de produktergonomie aan te duiden
nasion (sellion)	het punt van de grootste terugwijking van de neus, daar waar deze overgaat in het voorhoofd
NEN	Nederlandse Norm

NNI	Nederlands Normalisatie Instituut
ophistion	het punt van het achterhoofd dat het verst verwijderd ligt van de glabella
orbitale	laagste punt oogholte
pariteit	het aantal malen dat een vrouw is bevallen (volgnummer van een kind binnen een gezin)
percentiel	de n-de percentiel geeft de grenswaarde aan waaronder n procent van de meetwaarden liggen.
phalanx (phalanges)	een bot (de botten) van de vinger of teenkootjes
populatie	de totale groep mensen op wie een onderzoek is gericht of voor wie een ontwerp wordt gemaakt; een groep mensen met een of meer gemeenschappelijke kenmerken; bijvoorbeeld mensen uit een bepaald gebied, mensen met eenzelfde activiteit of van een specifieke leeftijdscategorie
posterior (dorsaal)	naar de rug- of achterzijde liggend; het tegengestelde van anterior (ventraal)
processus styloideus	een priemvormig (styloideus) uitsteeksel van een bot
produktergonomie	ergonomie, die zich vooral bezighoudt met de menskundige achtergronden van het gebruik van producten/gebruiksvoorwerpen, meestal bedoeld als tegenstelling tot werkplekergonomie of productieergonomie
produktmodel	(meestal) model van de geometrie van een product
proefpersoon	een representant van een populatie, voor onderzoek volgens bepaalde regels geselecteerd.
proximaal	dichter bij het centrum (hart, romp) gelegen; het tegengestelde van distaal
Pz	aanduiding van grootte van gebruikerspopulatie, waarvoor ontworpen wordt, uitgedrukt in fracties van 1; 0,9 = 90%
r	correlatiecoëfficiënt
R	multiple correlatie-coëfficiënt
radius (radiaal)	het bot in de onderarm aan de kant van de duim
referentiepunt	een punt in een globaal assenstelsel, ten opzichte waarvan een lokaal assenstelsel is gedefinieerd
regressievergelijking	weergave van de samenhang tussen variabelen met een functie, zodat de numerieke waarde van een variabele uit die van de andere kan worden berekend. De vergelijking heet lineair als de richtingscoëfficiënt(en) van de eerste macht is (zijn)

reikenvelop	een verzameling van punten in horizontale of verticale vlakken, tot waar een persoon met een bepaalde percentiel reikwijdte kan reiken
representativiteit	overeenkomst op relevante aspecten van een steekproef of een model met de werkelijkheid
s	standaarddeviatie
sagittaal	betrekking hebbend op het verticale vlak dat van voor naar achter door het midden van het lichaam loopt (midsagittale vlak) of op een vlak evenwijdig hieraan
secularisatie	toename van de gemiddelde lengte over opeenvolgende leeftijdsgroepen
seculaire groeiverschuiving	de historische, systematische vervroeging (verlating) of vergroting(verkleining) van volgroeide maten (meestal bedoeld men 'positieve seculaire groeiverschuiving' van de lichaamslengte en sommigen spreken dan van secularisatie)
sellion (nasion)	het punt van de grootste terugwijking van de neus, daar waar deze overgaat in het voorhoofd
somatotype	aanduiding van de lichaamsbouw van een mens
steekproef	een groep proefpersonen die representatief is voor een bepaalde populatie
superior	bovenste, tegengestelde van inferior
tabel	geordende weergave van gegevens, die via parameters kunnen worden opgezocht
tibiale	het antropometrisch hoogste punt aan de mediale bovenrand van het scheenbeen (tuberositas tibiae) aan de kant van de grote teen
tragion	het punt bij de insnijding net boven de tragus (de kleine kraakbeenachtige flap voor de oorholte)
trochanterion	het meest hoge voelbare uitstekende punt van de grote draaier aan de buitenzijde van het dijbeen
ulna (ulnair)	het bot in de onderarm aan de kant van de pink
ventraal (anterior)	naar de voorzijde of buikzijde liggend; het tegen gestelde van (dorsaal) posterior
vertex	het hoogste punt van de schedel in het mid-sagittale vlak met het hoofd in het Frankfurter-vlak (rekenkundig gemiddelde)
xiphion	het punt overeenkomend met het zwaardvormig uiteinde aan de onderzijde, caudale zijde van het borstbeen
$\bar{x}$	gemiddelde waarde

# Auteursregister

- Aken, D. van 14  
Annis, J.F., 58  
Anthropology Research Project, zie ARP  
Appelboom, W.J.M.J., 50, 91, 98, 127, 168  
Argenta, J., 222  
Arisz, H., 192  
Ark, Buan 303  
ARP 23, 39, 47, 52, 62, 88, 93, 96, 123, 125,  
130, 140, 174, 176, 199, 200, 224  
Ashwell, M., 81  
Aune, I.W., 316
- Baecke, J.A.H., 80, 94  
Bardaggy, J.C., 224  
Barghini, G., 329  
Barkla, D., 117  
Bauer, W.O., 315  
Beagley, N.I., 248  
Beckers A.W.J.M., 174, 175  
Beenakker, A.M.Th., 29, 32  
Beimers, H.A 133  
Bekke, J.H.ter 251, 254, 256  
Bell, B., 307  
Berkhout, A.M.M., 211  
Biggelaar, J.A.M. van den, 29, 32  
Bittner, A., 196  
BleideWessel, C. van der, 330  
Bleitren, H.K., 306  
Bloch, D.A., 317  
Bock, R.D., 46, 47, 339  
Boekema, P.J.J., 245  
Boer, W.de 93  
Bokma, J.J.J., 245  
Bolle, E.A.W., 232  
Bonney, M.C., 132  
Borms, J., 46, 222  
Bouchard, C., 97, 98  
Bradtmilller, B., 250, 301  
Brande, J.L. van den 28, 31, 37  
Brandt, I., 38, 39, 69, 93  
Bratajandra, F.H., 235  
Braunfels, S., 220
- Brekel, H. van den, 170  
Brekelmans, F., 26, 127, 139, 161, 181  
Brekelmans, L.J.M., 174, 175  
Brinkman, H.J., 93, 94  
Brissland, C.E.S., 231, 237  
Broek, J.J., 330  
Brown, W.M., 304  
Bruggers, J.H.A., 14  
BS4467, 126  
Buday, J., 104  
Burandt, U., 223  
Burdorf, L., 321  
Burger, A.K.C., 107, 140  
Burkhardt, D., 36  
Burnette, J.C., 333  
Burt, P.V., 249  
BuuOffers, S. van, 29, 31
- Cameron, N., 43, 44, 117, 118, 222, 231,  
242  
Cann, R.L., 52  
Carter, B.S., 329  
Carter, J.E., 62, 73  
Carter, J.E.L 67, 87  
Case, H.W., 301  
Case, K., 132  
CBS, 42, 43, 52, 55, 62, 90, 91, 127, 168,  
169, 233  
CEN, 205, 206  
Chaffin, D.B., 309  
ChangChung Li, 228  
Chow, R., 54  
ChrzastekSpruch, H.M., 103  
Chumlea, W.C., 58, 80, 211  
Chung, K.C., 313  
Churchill, E., 123, 312  
Churchill, T., 305  
Clauser, C.E., 301  
Clinie, J.F., 304  
Coblentz, A.M., 228  
Coffelt, R.J., 226  
Cole, T.J., 301

- Constandse Westermann, T.S., 64, 88,  
     97, 98  
 Cools, H.J.M., 302  
 Costa, D.L., 80, 82  
 Cott, H.P. van, 224  
 Cox, B.D., 83, 91, 127, 225  
 Craig, A.T., 256  
 Creemers, M.R., 231
- Daams, B., 107  
 Damon, A.C.C., 23, 26, 27, 53, 54, 68, 73,  
     75, 76, 92, 97, 98, 105, 106, 224  
 Daniels, G.S., 312  
 Davies, B.T., 242  
 Dean, W., 57  
 Day, J.A.P., 325  
 De Greene, K.B., III  
 Dempster, W.F., 132  
 Deurenberg, P., 81  
 Deutsch, S., 317  
 Diffrient, N., 96, 124, 224, 247  
 DIN33402, 39, 106, 122, 123, 126, 132,  
     145, 150, 152, 223  
 DIN33408, 131  
 DIN58200, 172, 173  
 Dirken, J.M., 20, 21, 51, 56, 57, 70, 99,  
     117, 121, 124, 127, 158, 187, 195, 253  
 Dixon, A.K., 301  
 Donkers, E., 14  
 Donnelly, T.G., 195  
 Doorn A. van, 167  
 Drenhaus, U., 316  
 Drenth, P.J.D., 115  
 Dreyfuss, H., 247  
 Drillis, R.J., 12, 13, 220  
 Drimmelen, D. van, 321  
 Drukker, J.W., 303  
 Dunnett, C.W., 199  
 Dupertuis, C.W., 313  
 Durnin, J.V.G.A., 80  
 Duursma, S.A., 55  
 Döbeln, W.von 78
- Easterby, R., 309  
 Eberts, C.G., 303  
 Eberts, R.E., 303  
 Eckels, J., 16, 135, 237
- Egeraat, J.M. van, 310  
 Egmond, J. van 245  
 Elliot, O., 306  
 Emanuel, I., 313  
 Erichsen, K., 131  
 E vans, J.A., 36  
 Eveleth, P.B., 222  
 Eyk, M. van, 176
- Flügel, B.H., 44, 53, 128, 132, 173, 223  
 Freer, M.T., 323  
 Freudenthal, A., 55  
 Freudenthal, H., 96, 125, 192, 203, 230  
 Frijn, J.J., 332  
 Frisch, R.E., 83  
 Froe, A. de, 12
- Garn, S.M., 35, 94, 96, 227, 242  
 Garrett, J.W., 84, 251  
 Garrow, J.S., 80, 81  
 Genesen, H. van, 302  
 Gerhardt, W., 251  
 Gerver, W.J.M., 129  
 Giles, E., 306  
 Giurelli, B.L., 96  
 Glowatski, G., 303  
 Goldman, R.F., 306  
 Gould, S.J., 21  
 Grandjean, E., 223  
 Greil, H., 310  
 Griffioen, F.M.M., 93  
 Grint, H. van de, 302  
 Groot, A.D. de, 115  
 Gundlach, B., 81
- Haak, A., 66  
 Haas, J.H. de, 90, 124  
 Haaster, F.A.C. van, 200  
 HalbrichtBenthim, D., 315  
 Hameeteman, T.M., 34, 36, 337, 338  
 Hanis, C., 329  
 Harbison, G., 106  
 Hark, T. ter, 128, 140, 142, 201  
 Harman, D., 307  
 Harris, J.R., 329  
 Harrison, J.E., 305  
 Haslan, R.A., 301

- Haslegrave, C.M., 77, 78, 86, 87, 126  
 Hauspie, R., 303  
 Havenith, G., 231, 237  
 Hawes, M.R., 176  
 Healey, M.J.R., 329  
 Heath, B.H., 67, 76, 87  
 Hebbelinc, M., 303  
 Heberer, G., 21, 33, 45  
 Heddenhauser 312  
 Hediger, M.L., 34, 35, 36, 40, 69, 93, 95  
 Helbig, K., 316  
 Helmrich, R.H., 310  
 Henstra, G., 21  
 Henze, L., 140, 200, 201  
 Hernandez, M., 222  
 Herron, R.E., 228, 229  
 Hertzberg, H.T.E., 26, 121, 173, 199, 228,  
 233  
 Herzog, K., 303  
 Heydendahl, P., 323  
 Hickey, D.T., 131  
 Hiernaux, J., 97  
 Hill, I.D., 195  
 Hiller, F., 303  
 Hobson, D.A., 101  
 Hoefnagels, W.A.M., 14, 101  
 Hoekstra, P.N., 107, 132, 133, 265  
 Hoftijzer, R., 301  
 Hogg, R.V., 256  
 Hoodt, H.T.E., 327  
 Hoogh, M. de, 180, 193, 198, 199, 201,  
 256  
 Hoolboom van Dijck, S.J.M., 40  
 Houtkamp, J.J., 107  
 Howells, W.W., 64, 97  
 Hulten, C.M.J. van, 266  
 Hussen, J.G.M. van, 42, 90, 98, 99, 128  
 Hutchinson, T.P., 314  
  
 ICE, 101, 102, 107, 126, 149, 179, 208,  
 230, 231  
 Ignazi, G., 305  
 ILSTNO 174, 176  
 Iscan, M.Y., 61  
 ISO/DIS7250 123, 233  
 ISO/DP7250 233  
  
 Jacobs, J.J., 315  
 Jarman, S., 329  
 Jenner, R.D., 131, 247  
 Jensen, R.K., 229  
 Johnston, F.E., 302  
 Jones, P.R.M., 229, 242  
 Jong, J.R. de, 123  
 Jürgens, H.W., 94, 95, 96, 123, 126, 130,  
 131, 132, 223, 233, 242, 247, 257  
  
 Kahn, H.S., 333  
 Kaminaka, M.S., 306  
 Kanis, H., 115, 119, 168  
 Karwowski, W., 248  
 Kaufmann, H., 315  
 Kemper, H.G., 205, 231  
 Kennedy, J.W., 84  
 Kennedy, K.W., 131  
 Kikta, P., 305  
 King, H.A., 87  
 Kinkade, R.G., 224  
 Kinnucan, M., 249  
 Klasen, H.J., 325  
 Knook, D.L., 55, 56  
 Knussman, R., 223  
 Koopman, P., 124, 128, 139  
 Kopka, Th., 316  
 Kowalski, C.J., 323  
 Kretschmer, E., 21, 65  
 Kroemer Elbert, K.E., 317  
 Kroemer, H.J., 317, 309  
 Kroemer, K.H.E., 91, 92, 93, 248  
 Kroonenberg, H.H. van den, 16  
 Kruit, W., 48  
 Kuijstra, A., 318  
 Kuitert, G., 266  
 KumanCoffelt, J.W., 306  
 Kurth, G., 312  
  
 Lamberts, H., 65, 67, 73, 74, 75, 86, 87,  
 91, 158  
 Lane, N.E., 54  
 Lange, W., 126  
 Langezaal, C.F.M., 36  
 Langman, J., 25, 28, 30, 31, 32, 33  
 Lankhorst, P., 256  
 Lanz, T. von, 54

- Laubach, L., 60, 99  
 Laurig, W., 137  
 Lauwers, M.C., 98  
 Leahy, R.M., 325  
 Lee, T.J., 102  
 Leeuwen, L. van, 318  
 Lemonick, M.D., 52  
 Lengsfeld, W., 315  
 Lenoir, J.M.H., 303  
 Leusden, H. van 167  
 Lewin, T., 70  
 Lewontin, R., 64, 65, 69, 97, 103  
 Lieberman, L.S., 102  
 Liempt, H.J.M. van, 332  
 Links, J.A., 167  
 Lippmann, R., 132, 133  
 Lombaers, J.H.M., 21, 111  
 Loon, J.N.M. van, 303  
 Lotens, W.A., 231, 237
- Maartense, J., 302  
 Maas, G.D., 71, 94, 99  
 Maat, G.J.R., 90  
 Madge, R., 135  
 Madlener, M.M., 40  
 Malina, R., 97, 98  
 Marinissen, A.H., 321  
 Marshall, W.A., 329  
 Martin, R., 73, 74, 91, 95, 100, 123, 223  
 Marubini, E., 37, 45, 46, 47  
 Matroos, A.W., 330  
 McCormick, E.J., 115, 196  
 McWhirter, Norm., 332  
 McClearn, G.E., 329 McConalogue,  
 D.J., 251  
 McConville, J.T., 60  
 McDermott, E., 327  
 McFarland, R.A., 224  
 McLaurin, C.A., 313  
 McMahan, T., 48, 56  
 Meadows, S.K., 317  
 Meelen, A.J., 187  
 Meer, R. van der, 332  
 Megaw, T., 247, 248  
 Meister, D., 115  
 Meyboom de Jong, B., 81, 82  
 MingYang Wang, 305
- Mitchell, P.L., 96  
 Moes, C.C.M., 266  
 Molenbroek, J.F.M., 20, 21, 25, 51, 70, 99,  
 101, 107, 117, 123, 124, 126, 127, 128,  
 129, 133, 140, 142, 152, 158, 187, 200,  
 201, 203, 230, 235  
 Mollard, R., 228, 229  
 Monahan, L.C., 313  
 Moonen, P.I.L., 303  
 Moore, K.L., 28  
 Moors, H., 170  
 Moustafa, A.W., 307  
 Mulder, J.D., 302  
 Mulder, S., 14  
 Muller, H.K., 74, 79  
 Muller, W., 136  
 Munnik, M.J., 101  
 Murrell, K.F.M., 59
- Nassas, G., 229  
 NCHS 93  
 Nederlandse Groeistichting., 106  
 NEN1812, 231  
 NEN2736, 233  
 NEN3531, 205  
 NEN-EN, 979 106, 123, 233, 234, 239  
 NEN-EN, 547 107  
 Neyzi, O., 88  
 Niermeyer, M.F., 31, 32  
 Noordhoeken, R., 301  
 Noorman 331  
 Norris, B.J., 248  
 Notarius, C., 305  
 NPR1813, 231  
 NPR2737, 233  
 NPR3831, 205  
 NRC, 174  
 NTVG, 104
- Oh, S., 322  
 Oppers, U.M., 90  
 Osinga, D.S.C., 21  
 Overbeeke, C.J., 327
- Parizkova, J., 81  
 Parsons, K.C., 301  
 Peacock, B., 248



- Pedersen, N.L., 329  
 Pelsma, K.H., 123, 247  
 Peltenburg, A.L., 32, 39, 42, 95  
 People Size, 248  
 Pesich, S.D., 310  
 Peters, K.A., 323  
 Peters, T. von, 99  
 Petersen, G., 68  
 Pheasant, S.T., 64, 83, 117, 128, 130, 132  
 Pieper, U., 126, 313  
 Pierrynowski, M.R., 313  
 Pieters, J.J.L., 231  
 Pilkington, J.J., 310  
 Pollmann, A.J., 323  
 Porter, J.M., 131  
 Post, F.H., 308  
 Prader, A., 46, 59, 105, 106  
 PrahAndersen, B., 26, 43, 227, 242  
 Proos, L.A., 88, 90  
  
 Quetelet, A.D., 187, 222  
  
 Raaben, D.J., 323  
 Radwin, R.G., 14  
 Ramaekers, Y., 140, 207  
 Ramahan, M.M., 80  
 Redgrove, J., 59, 95  
 Reischl, U., 123, 130  
 Rempe, U., 318  
 Renaud, C., 324  
 Resele, L.F., 329  
 Rieff, E., 257  
 Riesenberg, D.E., 80  
 RigtersAris, C.A.E., 64, 102, 104  
 Rijke, M.de 124, 128, 139  
 Rives, N.W., 168  
 Roche, A.F., 26  
 Roebuck, J.A., 21, 154, 158, 161, 209, 222,  
 224, 228, 229  
 Roede, M.J., 25, 38, 39, 40, 41, 42, 50, 59,  
 72, 90, 91, 9295, 99, 107, 123, 124, 125,  
 127, 128, 143, 149, 155, 220, 221, 237,  
 264  
 Rogmans, W.H.J., 55  
 Rohlf, F.J., 179, 180, 192, 193, 208, 209  
 Rombach, V., 137  
 Rookmaker, D.P., 332  
  
 Roozenburg, N.F.M., 16, 135, 237  
 Ross, W.D., 84, 85  
 Rothwell, P.L., 313  
 Ruiters, I.A., 107, 133, 140, 265  
 Russel, A., 48, 49, 50  
 Russell, C.M., 333  
  
 Saller, K., 61, 64, 91, 95, 100, 123, 223  
 Sand, A., 303  
 Sanders, M., 115, 196  
 SAS, 163, 179, 180, 215  
 Savara, Bhim Sen, 229  
 Scammon, R.E., 222  
 Schellekens, H., 52  
 Schenk, C.A.J., 332  
 Schilling, G., 317  
 SchmidtNielsen, K., 48, 56  
 Schmidtke, H., 96, 123, 132, 223  
 Schuffel, H., 203  
 SchwidetzkyRoesing, I., 312  
 Schäfer, D., 315  
 Seidell, J.C., 51, 81  
 Seltzer, H.W., 307  
 Serow, W.J., 168  
 Shapiro, R., 103, 180, 262  
 Shapiro, S.S., 180  
 Shaw, C.G., 313  
 Sheldon, W.H., 21, 66  
 SheueLing Hwang, 305  
 Siewertsen, A., 200, 203  
 Sinclair, D., 54  
 Sittig, J., 94, 96, 125, 192, 203, 230  
 Sleet, D.A., 304  
 Slot, B., 303  
 Sluis, C. van der, 128, 140  
 Smeets, J.W., 308, 315  
 Smets, G.J.F., 265  
 Smit, M., 242  
 Snijder, J.G.N., 327  
 Snijders, C.J., 53, 174  
 Snook, S.H., 317  
 Snyder, R.G., 93, 107, 125, 129, 224, 227,  
 238, 242, 259  
 Soest, J. van, 187  
 Sokal, R.R., 179, 180, 192, 193, 208, 209  
 Sommer, K., 310  
 Sonsbeek, J.L.A., 80, 82, 127

- Sovak, D., 176  
 Srensen, T.I.A., 329  
 Staarink, H., 140, 200, 201  
 Stappers, P.J., 327  
 Star, A.v.d., 332  
 Steck, R., 324  
 Steen, J.C., 326  
 Steenbekkers, L.P.A., 38, 43, 59, 99, 107,  
     123, 129, 140, 144, 155, 200, 201, 205,  
     232, 239, 245, 257, 259, 264  
 Stewart, J.R., 133  
 Stoelinga G.B.A., 105, 106  
 Stolwijk, A.M., 95  
 Storm, T., 55  
 Stoudt, H.W., 54, 224  
 Stoutenbeek, P.H., 36, 37, 338  
 Strunckard, A.J., 103  
 Susanne, C., 26, 53, 54, 57  
 Swinkels, H., 172
- Tangelder, J.W.H., 330  
 Tanner, J.M., 26, 33, 34, 37, 38, 40, 41,  
     44, 46, 67, 69, 71, 73, 79, 101, 221,  
     222, 229, 342  
 Thijs, K., 249  
 Thissen, D., 46, 339  
 Thomson, J.L., 265  
 Tilley, A.R., 224  
 Tonkelaar, I. den, 102  
 Toussaint, H., 308  
 Tragter, H., 332  
 Troostwijk, A.L., 36  
 Tyler Bonner, J.T., 320
- Vandenbroucke, J.P., 82  
 Vellinga, R., 133  
 Venemans, A., 21  
 Venrooy Ijsselmuiden, M.E. van, 26  
 Verbrugge, H.P., 332  
 Verdonck, P.F., 66, 67  
 Vergeest, J.S.M., 265  
 Verhoef, H., 229  
 Vermeulen, R., 331  
 Vermeulen, W.J.A.M., 87  
 Verwey, G.C.G., 90  
 Villermé, L.R., 98  
 Visser & Noorman, 172, 173
- Vorderegger, J.R., 134  
 Voskamp, P., 15, 224, 231  
 Vries, S.de 191  
 Vroom, R.W., 265  
 Vuisting, W., 176
- Wachsmuth, W., 54  
 Wafelbakker, F., 332  
 Ward, R., 313  
 Warwick, R., 28, 29, 31, 61, 104  
 Webster, J., 81  
 Weide, R.M. van der, 330  
 Weijden, D.J. van der, 301  
 Weiner, J.S., 51, 229  
 Wendel, I.E.M., 115  
 West, G.M., 315  
 Westerink, J., 133  
 Whitehouse, R.M., 329  
 Wichelow, M.J., 83, 91, 127, 225  
 Wiegers, T., 265  
 Wieringen, J.C. van, 25, 26, 27, 38, 40,  
     41, 42, 44, 48, 50, 59, 66, 70, 72, 73,  
     75, 77, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95,  
     97, 98, 99, 101, 102, 107, 123, 124, 127,  
     128, 143, 149, 155, 207, 208, 220, 221,  
     224, 237, 264  
 Wijk, J.J. van, 69  
 Wijn, J.F. de, 66, 74, 79, 90, 124  
 Wijnen, G. van, 242  
 Wilde, A.G. de, 29  
 Wilk, M.B., 180  
 Williams, M.E., 304  
 Williams, P.L., 322  
 Williamson, D.F., 211  
 Wilson, A.C., 304  
 Wilson, J.R., 248  
 Wilson, N.C., 84  
 Wismans, J.S.H.M., 131  
 Wit, J.M., 31, 40, 44  
 Wood, P.D., 317  
 Woodson, W.E., 224  
 Worthman, C.M., 333
- Yntema, L., 167
- Zaadstra, B.M., 83  
 Zee, H.H. van, 133, 235

# Trefwoordenregister

- achondroplasie, 104  
ADAPS, 91, 131, 133, 248, 265  
adolescentie, 40  
Albrecht Dürer, 11, 221  
ALNORM, 195  
Anthropometric Source Book, 125  
ANTHROPOS, 69, 132, 248  
antropologie  
    fysische antropologie, 13  
    industrie antropologie, 13  
    engineering anthropology, 13  
antropometer, 141, 147, 150, 225  
antropometrie  
    dynamisch, 107  
    functioneel, 107  
    statisch, 106  
ANTROTEEK, 256, 256  
ANYBODY, 69, 131, 132  
arrêteren, 239  
auxologie, 24  
  
baby, 38  
bedienen, 17, 252  
bedieningsmiddelen, 17, 252  
beschermen, 17, 252  
betrouwbaarheidsinterval, 117, 200  
bewerken, 17, 252  
bijnier, 105  
BIVNOR, 195  
Bosch mallen, 131  
botgroei, 30  
BRAM, 133  
brillen, 172  
  
CADPEOPLE, 69  
CBS-gezondheidsenquête, 127  
CEN, 15, 16, 205, 217  
cohorten 23  
correlatie, 156, 158  
CUD, 180  
  
database management syteem, 251  
DELKI, 128, 139, 140  
DELSTU, 128, 139, 140, 145  
demografie, 167  
DESCRIPT, 180, 264  
deterioratie, 54  
differentiatie, 29  
DIN 33402, 126  
DINED, 127, 139, 263  
DNA, 32  
doorgangen, 14  
Down, 104  
DUTCHMIL, 127, 139  
  
economie, 15  
ectoderm, 29  
el, 219, 220  
ELLIPS, 193, 204, 263  
embryo, 28  
Engineering Anthropology, 13  
entoderm, 30  
ERGOBASE, 130  
ERGODATA, 130, 247  
etmaal, 101, 109  
etniciteit, 62, 108, 273  
eugenetica, 21  
EXOBS, 202, 264  
  
factor analyse, 85  
fantoom, 84  
FMULNOR, 198  
foetus, 33  
frenologie, 21  
  
GDVV, 126, 139, 140, 149  
geboorte, 37  
gebruikers, 191  
gebruiksvoorwerpen, 11  
gehandicapten, 101

- gemiddelde, 152, 199, 217  
 genen, 102, 109  
 genetische adaptatie, 64  
 genetische drift, 64  
 geslacht, 108, 58, 272  
 gevangenis, 14  
 gewrichtsexkursie, 96  
 GPM, 141, 147, 150, 225  
 groeidiagrammen, 124  
 groeiregelmechanismen, 31  
 groeiseculaire verschuiving, 89, 108, 271  
 groeistudie, 26
- Harpenden, 223, 226  
 hormonen, 105, 109  
 houding, 106, 109, 218  
 hulpmiddelen, 11  
 Humanscales, 124  
 hypofyse, 105  
 hypothalamus, 40
- ijken, 239  
 index, 188  
 index
  - Body Mass, 74
  - Broca, 74
  - IUD, 35, 69
  - Ponderal, 74
  - Quetelet, 42, 74, 80, 216
  - taille/heup, 81
- indices, 73  
 industrie, 11  
 Industrie Anthropologie, 13  
 informatiesysteem, 11, 249  
 inteelt, 64  
 intraindividueel, 23, 271  
 intraindividueel, 23, 271  
 IUG, 35, 69
- keurlingen, 128  
 Kieler Puppen, 131  
 kiembladen, 29  
 KIMA, 129, 155  
 kinderen, 128, 129, 155, 139, 140 zie  
 DELKI, KIMA
- kleding, 96, 108  
 Kleine Ergonomische Datensammlung,  
 126  
 Klinefelter, 104  
 knijpkrachtmeter, 227  
 kraakbeen, 30  
 krimp, 54  
 kubus, 17  
 kubusmodel, 17, 271  
 kurtosis, 179
- lasten, 17, 252  
 lateraliteit, 99, 109  
 leeftijd, 74, 108  
 Leonardo da Vinci, 11, 221  
 lichaamsbouw, 69, 108, 273  
 lichaamssegmenten, 19  
 liggend meten, 211, 218  
 longitudinaal, 26
- maatsysteem, 168, 217  
 MANNEQUIN, 69, 131, 133, 249  
 Marfan, 104  
 Martin, 12, 64  
 meetbetrouwbaarheid, 117  
 meetfout, 229  
 meetopstelling, 242  
 meetprocedure, 241  
 meetproces, 219  
 meiose, 32  
 mesoderm, 29  
 microtoise, 223  
 milieu, 98  
 MIRA, 76, 126  
 mitose, 29  
 model
  - antropometrisch model, 111
  - computermodel, 135
  - datamodel, 249, 254
  - functiemodel, 249, 251
  - mens model, 111, 201
  - mockup, 135, 136
  - produkt model, 111, 136, 201
  - proefmodel, 135, 136
  - schaalmodel, 135, 136

- spuugmodel, 135, 136  
 MONDOPOINT, 175  
 mongolisme, 104  
 mutatie, 64  
  
 natuurlijke selectie, 64  
 NEN, 107, 234  
 Nijmeegs Groeionderzoek, 125  
 NPx, 180  
  
 omgeving, 96, 108  
 ondersteunen, 252, 17  
 ongeval, 14  
 ontwerpen, 178  
 ontwerper, 11, 16  
 ontwerpproces, 17, 19  
 ontwikkelingsstadia, 29  
 Oosterwolde studie, 129  
 operationaliteit, 119  
 osteoblasten, 30  
 osteoporose, 54  
 ouderen, 55, 126, 139, 140, 149, 160,  
 ouderen, zie senioren  
  
 PEOPLE SIZE, 130, 249  
 percentielgebied, 203  
 percentielprofiel, 200, 217, 374  
 percentielwaarde, 19  
 plethysmograaf, 81  
 populatie 232, 257  
 PORS, 14  
 produktmaat, 258  
 produktmodel, III, 135  
 produktsoort, 19  
 produkttype, 169  
 proefpersonen, 134  
 proefstudie, 11  
 puberteit, 40  
 Pz-formule, 195, 217  
  
 Quetelet, 12  
 Queteletindex, zie index  
  
 regelmechanismen, zie groei  
 RNA, 32, 102  
  
 SAMAS, 212  
 SAMMIE, 131, 132  
 scheefheid, 179  
 schildklier, 105  
 schoenen, 174  
 schoolmeubilair, 205  
 seculair, 23  
 seculaire groeiverschuiving, zie groei  
 senioren, 55, 149, 160, zie GDVV  
 SES, 93, 95, 108, 273  
 sexe, 58, 272  
 S<sub>g</sub>, 190, 216  
 SKD, 180  
 skeletleeftijd, 43  
 sok, 12  
 somatotype, 66, 68  
 span, 13  
 Speelgoedbesluit, 15  
 sport, 12  
 spreiding, 50  
 standaarddeviatie, 152  
 steekproef, 208, 232  
 steekproefgrootte, 208, 218  
 stereofotogrammetrie, 228  
 studenten, zie DELSTU  
 studenten, 128, 139, 140, 145, 158  
  
 temperatuur, 97  
 Thialf, 15  
 tillen, 17, 252  
 toeslagfaktor, 259  
 transversaal, 26  
 Turner, 104  
  
 userinterface, 249  
  
 validiteit, 115  
 variatie, 64  
 variatiecoëfficiënt, 154  
 verblijfsruimte, 17, 252  
 verblijven, 17, 252  
 veroudering, 53  
 vetmassa, 79  
 vetvrije massa, 78

Vitruvius, II, 221  
voeding, 88, 108  
volwassen lengte, 44  
vorm, 24, 38, 47, 55  
VP, 180, 216  
vuistomtrek, 12  
vuistregels, 12

Walther P5, 14  
Warenwet, 15  
WDEV, 180  
woonplaats, 97

ziekte, 101, 109  
zwangerschap, 53  
zwangerschapsduur, 34

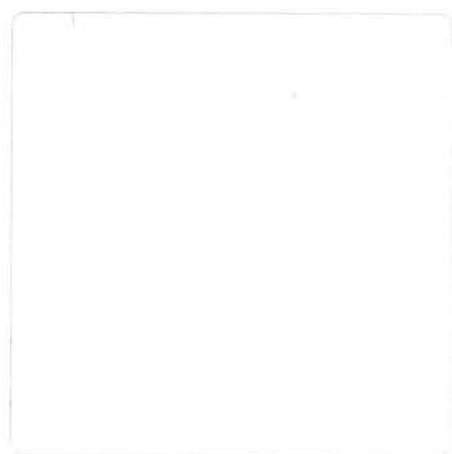














## Op maat gemaakt, menselijke maten voor het ontwerpen en beoordelen van gebruiksgoederen

Producten dienen ontworpen te worden op de menselijke maat. Dat geldt extra voor cabines en meubilair, voor kleding en persoonlijke beschermingsmiddelen, voor handgereedschap, handvatten en knoppen. In deze studie wordt uitgebreid ingegaan op de factoren, die de variatie in de uiterlijke vorm en afmeting van het menselijk lichaam verklaren.

Antropometrische modellen, data-verzamelingen en statistische bewerkings-technieken worden behandeld. Een automatische antropometrische meeteenheid en een database voor ontwerpers worden gepresenteerd. Dit boek is bedoeld voor ontwerpers, ergonomen en mensen die producten beoordelen.



### Dr. ir. Johan Molenbroek (1951)

Na zijn studie (Biomedische) Werktuigbouwkunde aan de Universiteit Twente (1978) werd hij aangesteld als wetenschappelijk medewerker (universitair docent) aan de Technische Universiteit Delft, Faculteit van het Industrieel Ontwerpen. Sinds 1984 is hij plaatsvervangend hoofd van de Sectie Fysieke Ergonomie. Hij geeft mede leiding aan het practicum Ergonomie en geeft of gaf onderwijs in Produktveiligheid, Ergonomie en Ontwerpergonomie voor ouderen en gehandicapten. Hij maakte deel uit van de ontwerpstaf en begeleidde vele studenten individueel bij afstuderen, literatuuronderzoek of onderzoekstage. Johan Molenbroek publiceerde in medische en technische tijdschriften in binnen- en buitenland; dit leidde soms tot nieuwe normen of richtlijnen. Bovendien is hij actief in de normcommissies 'Antropometrie' en 'Schoolmeubilair'; voor de laatste ook op Europees niveau. Hij is voorzitter van het College van Deskundigen 'Meubelen', die toeziet op het certificeren ervan. Daarnaast is hij coördinator van het Antropometrisch Platform.



### Sectie Fysieke Ergonomie

De Sectie Fysieke Ergonomie maakt deel uit van de vakgroep Produkt- en Systeemergonomie van de Faculteit van het Industrieel Ontwerpen van de Technische Universiteit Delft. Het ontwerpen van consumentengoederen en van professionele apparatuur is de hoofdzaak in onderwijs en onderzoek van de faculteit.

De Sectie Fysieke Ergonomie houdt zich vooral bezig met de fysieke aspecten van de mens-product-interactie: lichaamsafmetingen en lichaamshoudingen, bedieningskrachten en bedieningspatronen, enz. Het doel is het verzamelen van data van diverse groepen van gebruikers en het maken van modellen, criteria en richtlijnen voor produktinnovatie.

### Series in Physical Ergonomics:

Editor J.M. Dirken

- [1] Child development, design implications and accident prevention  
*L.P.A. Steenbekkers* [1993]
- [2] Human force exertion in user-product interaction; backgrounds for  
design · *B.J. Daams* [1994]
- [3] Op maat gemaakt; menselijke maten voor het ontwerpen en beoordelen  
van gebruiksgoederen · *J.F.M. Molenbroek* [1994]

ISBN 90-6275-996-3



9 789062 759965

Uitgever: Delftse Universitaire Pers