

**BRANDENBURGISCHE
UMWELT
BERICHTE**

10

Holle Greil, Christiane Scheffler (Hrsg.)

MENSCH - TECHNIK - UMWELT

Forschungsforum Anthropologie
POTSDAM - 8. Mai 2001

Schriftenreihe des Zentrums für Umweltwissenschaften der Universität Potsdam

Potsdam im Dezember 2001

Die **Brandenburgischen Umwelt Berichte** sind eine vom Zentrum für Umweltwissenschaften der Universität Potsdam herausgegebene Schriftenreihe. Sie erscheint unregelmäßig.

Redaktion:

Dr. Peter Ackermann, Wolfgang Beier, Dr. Christine Böckmann, Prof. Dr. Ingo Schneider, Dr. Renate Wipper

Anschriften der Herausgeber:

Prof. Dr. Holle Greil
Universität Potsdam
Institut für Biochemie und Biologie
Professur für Humanbiologie
PF 60 15 53
14415 Potsdam

Dr. Christiane Scheffler
Universität Potsdam
Institut für Biochemie und Biologie
Professur für Humanbiologie
PF 60 15 53
14415 Potsdam

Alle Rechte, insbesondere das Recht auf Vervielfältigung und Verbreitung über diese Reihe hinaus sowie der Übersetzung liegen bei den Autoren. Kein Teil der Schriftenreihe darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung der Autoren reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Die Herausgeber der Schriftenreihe übernehmen keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und die Vollständigkeit der Angaben. Die in den Beiträgen geäußerten Meinungen und Ansichten müssen nicht mit denen der Herausgeber der Schriftenreihe übereinstimmen.

Bezugsbedingungen:

Der Bezug dieses Heftes erfolgt über die Professur Humanbiologie der Universität Potsdam, Villa Liegnitz, Lennéstraße 7a, 14471 Potsdam (Tel.: 0331/977-4871, -4874 oder -4876; Fax: 0331/977-4861; e-mail: kakania@rz.uni-potsdam.de; URL: <http://www.bio.uni-potsdam.de/profess.htm>).

Hergestellt auf Umweltpapier

ISSN 1434-2375

Inhalt

<i>H. Greil, Ch. Scheffler:</i> Zum Geleit.....	5
<i>H. Greil:</i> Wie weit sind wir der DIN 33402 entwachsen?.....	7
<i>H. Greil:</i> Körpermaße 2000: aktuelle Perzentilwerte der deutschen Bevölkerung im jungen Erwachsenenalter.....	23
<i>K. Nagel:</i> Gruppenspezifische Anthropometrie in der ergonomischen Gestaltung.....	54
<i>H. Greil:</i> Wachstum und Variabilität im Körperbau und ihre Berücksichtigung bei industriellen Größensystemen.....	62
<i>V. Noth:</i> Strategien bei der Handhabung von Verschlüssen im Kleinkind- und Vorschulalter.....	77
<i>N. Fritz, I. Schröder:</i> Schnittstelle Kinderhand – Computermaus.....	87
<i>Ch. Scheffler:</i> Bewegungsmuster in Alltagssituationen.....	94
<i>K. Nagel:</i> Anthropometrische Komfortbewertung des Fahrzeuginnenraums.....	100
<i>J. Hudelmaier:</i> Die Erfassung personenbezogener Sichtverhältnisse im Pkw - Das Sichtanalysesystem ARGUS.....	108

Zum Geleit

H. Greil, Ch. Scheffler

Am 8. Mai 2001 veranstalteten das Interdisziplinäre Zentrum für Umweltwissenschaften (ZfU) der Universität Potsdam und die Arbeitsgemeinschaft Angewandte Anthropologie der Gesellschaft für Anthropologie e. V. (GfA) in Potsdam gemeinsam ein Forschungsforum zum Thema Mensch – Technik – Umwelt. Das Zentrum für Umweltwissenschaften – im Internet abrufbar unter www.zfu.uni-potsdam.de – ist eine zentrale wissenschaftliche Einrichtung der Universität Potsdam. Es wurde 1993 gegründet und dient der Förderung interdisziplinärer Lehre und Forschung auf dem Gebiet der Umweltwissenschaften. Die 1992 gegründete Gesellschaft für Anthropologie e.V. – im Internet abrufbar unter www.gfanet.de – versteht sich als die Vertretung der anthropologisch und humanbiologisch tätigen Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen im deutschsprachigen Raum. Sechs Arbeitsgemeinschaften bilden die aktiven Zellen der GfA, unter ihnen die AG Angewandte Anthropologie. Sie ist ein gemeinsames Forum von praxisorientierten anthropologisch arbeitenden Fachwissenschaftlern und von Anwendern anthropologischer Forschungsergebnisse aus Industrie und Gesundheitswesen.

Im Kontext der Umweltwissenschaften wird der Umweltbegriff im allgemeinen sehr weit gefasst. Hier allerdings wurde speziell die industriell gefertigte körpernahe Umwelt des Menschen thematisiert in dem Bestreben, diese besser an seine morphologischen und physiologischen Bedürfnisse anpassen zu können. Bei der Dimensionierung und Proportionierung von Industriegütern, die von den sie nutzenden Menschen häufig oder längerfristig kontaktiert werden, bedeutet eine Berücksichtigung der Körpermaße und der Körperproportionen nicht nur eine Steigerung des Wohlbefindens. Ein nutzergerecht dimensionierter Arbeitsplatz, auch ein mobiler Arbeitsplatz in einem Fahrzeug, trägt zur Vermeidung von Körperfehlhaltungen und Zwangshaltungen bei. Es werden Muskelverspannungen und Schädigungen des Stütz- und Bewegungsapparates vermieden. Nicht zuletzt kann ein maßlich und funktional menschengerecht konstruierter Arbeitsplatz auch eine Erhöhung der Arbeitsproduktivität bedeuten, weil beispielsweise Schalter, Knöpfe, Hebel und andere Bedienelemente in Greifweite oder Reichweite des Nutzers angebracht werden können, wenn die Messwerte dieser Körpermaße und ihre Verteilungsbreite in der potentiellen Nutzergruppe bekannt sind. Auch Bekleidung ist ein Bereich, in dem eine menschengerechte Dimensionierung wichtig ist. Eine gute Passform erhöht den Verkaufserfolg von Konfektionskleidung beträchtlich. Diese kann aber in der Schnittkonstruktion nur dann erreicht werden, wenn die konstruktionsrelevanten Körpermaße bekannt sind.

Der Teilnehmerkreis des Forschungsforums bestand neben den vortragenden Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen vor allem aus Vertretern und Vertreterinnen der Industrie. Ihnen wurde im Vortragsteil eine Gelegenheit zu aktueller industrieanthropologischer Information geboten. In einer anschließenden Gesprächsrunde wurden im Sinne eines besseren gegenseitigen Verständnisses und als Plattform für eine zukünftige Zusammenarbeit zwischen den industrieanthropologisch tätigen Wissenschaftlern – die über fundierte Kenntnisse zum Wachstum des Menschen, zu seiner körperlichen Reifung und zur Variabilität seiner Körpermaße und Körperformen verfügen – und den

Teilnehmern aus verschiedenen Bereichen der Industrie – als potentiellen Nutzern dieser Kenntnisse – konkrete Fragen einer anthropometrisch begründeten Produktgestaltung diskutiert.

Die nun vorliegende Broschüre der Schriftenreihe Brandenburgische Umwelt Berichte (BUB) des Zentrums für Umweltwissenschaften war ursprünglich dazu vorgesehen, alle Vorträge der Veranstaltung einem größeren Kreis in schriftlicher Form zugänglich zu machen. Dies kann in der angekündigten Form leider nicht realisiert werden, da sämtliche Beiträge der von Herrn Prof. Jürgens geleiteten Forschungsgruppe Industrieanthropologie (FIA) nicht wie vorgesehen als Manuskript eingereicht wurden. Da ein weiterer Beitrag aufgrund der sehr aktuellen Thematik ebenfalls nicht veröffentlicht werden konnte, waren die Veranstalter vor die Wahl gestellt, entweder der gegenüber den Teilnehmern getroffenen Zusage einer Publikation überhaupt nicht nachzukommen oder eine Broschüre zusammenzustellen, in der die ausgefallenen Beiträge durch andere ersetzt werden. Wir haben uns für die zuletzt genannte Möglichkeit entschieden und hoffen, dass es uns durch die Aufnahme der neuen Manuskripte gelungen ist, über den Rahmen des Forschungsforums zum Thema Mensch – Technik – Umwelt hinaus einen aktuellen Überblick über moderne industrieanthropologische Forschung in Deutschland zu geben.

Prof. Dr. Holle Greil
Vorsitzende der GfA

Dr. Christiane Scheffler
Sprecherin der AG Angewandte Anthropologie

Wie weit sind wir der DIN 33402 entwachsen?

H. Greil

Einleitung

Hersteller von Produkten, die durch Menschen mehr oder weniger körpernah genutzt werden, können durch Beachtung der Körpermaße der ins Auge gefassten Nutzergruppen eine beträchtliche Qualitätssteigerung ihrer Produkte durch deren körperbezogene Dimensionierung erreichen. Das gilt für eine breite Produktpalette und in besonderem Maße für stationäre und mobile Arbeitsplätze und ihre Teilkomponenten. Für die maßlich menschengerechte Konstruktion dieser Güter benötigen die Konstrukteure und Gestalter zuverlässige Angaben über Mittelwerte und Variabilitätsbereiche der konstruktionsrelevanten Körpermaße. Diese wiederum sind nur dadurch zu gewinnen, dass an ausreichend repräsentativen Stichproben von Personen aus der Bevölkerung mit zuverlässigen Methoden Körpermaße bestimmt werden. Derartige Messaktionen sind aufwändig und teuer, weil die individuelle Variabilität vieler Körpermaße auch bei optimaler Zusammensetzung der Stichprobe nach Geschlecht, Alter, ethnischer und geographischer Herkunft usw. allein für das Erwachsenenalter zwischen 18 und 65 Jahren Stichprobenumfänge von mindestens 6000 Personen erfordert, um für wichtige Längenmaße mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % repräsentativ zu sein.

Ein wichtiger Schritt zur Bereitstellung von Körpermaßen in einer Form, wie sie in der Industrie benötigt wird, war in Deutschland die Herausgabe der DIN 33402 „Körpermaße des Menschen“ (Deutsches Institut für Normung 1979 (Entwurf), -1986). In dieser Inlandnorm sind Perzentilwerte (P5, P50, P95) von 56 Körpermaßen dokumentiert, davon 17 Längenmaße, 7 Breiten- und Tiefenmaße, 7 Kopfmaße und 25 Hand- und Fußmaße. Die DIN 33402 gilt heute in der Ausgabe von 1986. Die Körpermessungen wurden Mitte der 70er Jahre durchgeführt. Bemerkenswert ist die zusätzliche Aufnahme von Messwerten ausländischer Bewohner der Bundesrepublik Deutschland, die allerdings von den Normwerten der deutschen Einwohner getrennt gehalten werden und deren Alter nicht ausgewiesen wird. In der DDR wurden seit 1956 unterschiedlich repräsentative Stichproben anthropometrisch untersucht (Greil & Möhr, 1996). Zu Beginn und am Ende der 80er Jahre wurden mit der Zielstellung einer Normung unter meiner Anleitung umfangreiche Körpermessungen an Erwachsenen und Kindern durchgeführt und die Messergebnisse in einem anspruchsvollen anthropologischen Atlas publiziert (Flügel et al. 1986).

Leider behalten einmal festgestellte Körpermesswerte einer Bevölkerung ihre Gültigkeit nicht für alle Zeit. Die Unsicherheit beginnt bereits mit der Definition des Begriffs Bevölkerung. Gehören in Deutschland lebende Ausländer, deren Körperbau sich je nach Herkunftsland beträchtlich von dem der Deutschen im ethnischen Sinn unterscheiden kann, zur deutschen Bevölkerung? Diese Frage ist aus demographischer Sicht auf alle Fälle zu bejahen. Unter anthropologischem Aspekt sollten jedoch zusätzlich zu einer Feststellung von Körpermaßen an der Bevölkerung eines Landes nach

demographischer Definition die einzelnen Bevölkerungsanteile sorgfältig entsprechend ihrer Häufigkeit in der Gesamtbevölkerung nicht nur anteilmäßig gemessen werden, sondern auch voneinander getrennt auswertbar bleiben. Nur so kann wertvolles Datenmaterial auch für anderweitige wissenschaftliche Untersuchungen verwendbar gehalten werden. Wirklich zuverlässige Körpermessungen sind viel zu zeit- und kostenintensiv, um „nur“ als Grundlage für industrieanthropologische Normwerttabellen zu dienen. Bevölkerungen verändern sich durch Migrationen. Der Anteil ausländischer Bewohner kann abnehmen oder zunehmen und die Perzentilwerte der Gesamtauswertung beeinflussen. In Deutschland lebende Ausländer kommen überwiegend aus Gebieten, in denen die Menschen im Durchschnitt kleiner und zudem anders proportioniert sind als der deutsche Bevölkerungsanteil an der Gesamtbevölkerung.

Auch wenn man den Ausländeranteil an der deutschen Bevölkerung anthropometrisch unberücksichtigt lässt, ändern sich die Körpermaße. Dies geschieht im Zuge der sogenannten säkularen Akzeleration, einer Biomorphose der Generationenfolge. Bedingt durch bessere Ernährung, weniger Krankheiten während des Wachstumsalters und weitere sozioökonomische Faktoren werden Säuglinge in Deutschland heute bereits größer und schwerer geboren als in vergangenen Generationen. Sie wachsen zudem mit höherer Geschwindigkeit heran und erreichen die einzelnen Etappen ihres biologischen Alter früher. Aus dieser Beobachtung der Entwicklungsbeschleunigung leitet sich der Name des Phänomens ab. Es ist eine Akzeleration – eine Beschleunigung – und zwar eine Beschleunigung im Verlauf des Säkulums, des Jahrhunderts. Da die Wachstumsfugen der Knochen sich offensichtlich heute nicht früher schließen als in der Vergangenheit – das Längenwachstum also nach wie vor über etwa denselben individuellen Zeitraum hinweg erfolgt – resultiert aus der säkularen Akzeleration ein höheres Endergebnis des Wachstums. Im säkularen Vergleich derselben einzelnen Altersgruppen ist die deutsche Bevölkerung Deutschlands heute größer und schwerer als sie es jemals in der Vergangenheit war. Normwerte von Körpermaßen müssen deshalb im Abstand von etwa 10 oder 20 Jahren auf ihre Gültigkeit überprüft werden. Dies wäre einfach, wenn die säkulare Akzeleration stets für alle Dimensionen des Körpers mit gleicher Intensität verlaufen würde. Dann könnten für alle einmal festgestellten Körpermaße Regressionen aufgestellt und beliebig extrapoliert werden. Da jedoch die säkulare Akzeleration vollständig – oder doch zum überwiegenden Teil – umweltbedingt ist, hängt ihre Intensität von der Intensität ab, mit welcher der biologisch wirksame Anteil der sozioökonomischen Lebensbedingungen sich verbessert. Beispielsweise entwickelten sich Kinder, die gegen Kriegsende und in den Hungerjahren nach dem 2. Weltkrieg geboren wurden oder in dieser Zeit der Mangelernährung ihr individuell intensivstes Wachstum der ersten Lebensjahre erlebten, deutlich verzögert und erreichten auch als Erwachsene im Durchschnitt vergleichsweise geringere Körperendhöhen (Greil 1998). In der DDR nahmen Geburtslänge und Geburtsgewicht seit etwa Mitte der 70er Jahre kaum noch zu. Seit Beginn der 90er Jahre tun sie es in demselben Gebiet der jetzt neuen deutschen Bundesländern wieder. In der vorliegenden Arbeit wird am Beispiel einiger industrieanthropologisch relevanter Körpermaße untersucht, wie die säkulare Akzeleration in Deutschland während der letzten 30 Jahre verlaufen ist. Dies geschieht bewusst ausschließlich am deutschen Bevölkerungsanteil. Bei dieser Fragestellung würde eine Einbeziehung des wechselnden ausländischen Bevölkerungsanteils die Ergebnisse verfälschen.

Methoden

Bei jedem Vergleich anthropometrischer Daten muss auf eine einheitliche Messmethodik entsprechend den anthropologischen Standardwerken geachtet werden. Nach internationaler Übereinkunft bezieht man sich dabei soweit wie möglich auf die Richtlinien von Rudolf Martin (Martin 1924), die von Karl Saller (Saller 1957), Holle Greil (Flügel et al. 1986) und Rainer Knußmann (Knußmann 1988) nach den Martinschen Definitionsprinzipien erweitert und vervollständigt wurden. Auch der Messmethodik der DIN 33402 und des Handbuchs der Ergonomie (Jürgens 2000) liegt diese Methodik zu Grunde. Die Körpermaße werden am unbedeckten oder nur mit einer Unterhose und bei Frauen gegebenenfalls mit einem Büstenhalter bedeckten Körper gemessen. Die zu messenden Personen stehen oder sitzen während der Messung in genau definierten Grundhaltungen. Dabei ist die Wirbelsäule straff aufgerichtet und der Kopf in der von Martin definierten Ohr-Augen-Ebene

ausgerichtet, wobei der Blick geradeaus gerichtet ist und die Oberränder der Ohrdeckelknorpel beider Ohröffnungen (*Tragia*) sowie der tiefste Punkt des unteren knöchernen Augenhöhlenrandes (*Orbitale*) des rechten Auges sich in einer Horizontalebene (*Frankfurter Horizontale*) befinden. Diese Grundhaltungen können von geübten Untersuchern leicht überprüft werden. Sie gewährleisten eine gute Übereinstimmung und damit Vergleichbarkeit der Messergebnisse. Von Bedeutung ist ebenfalls die Verwendung standardisierter Messinstrumente, wie sie von der Firma SiberHegner produziert werden. Die in Arztpraxen gebräuchlichen Messlatten sind häufig nicht geeicht und somit für wissenschaftliche Untersuchungen ungeeignet.

Da bei den sogenannten Querschnittuntersuchungen, wie sie zur Gewinnung von Normwerten durchgeführt werden, viele Personen unterschiedlichen Alters einmalig in relativ kurzer Zeit gemessen werden, müssen die individuellen Körpermesswerte nach Altersgruppen kategorisiert werden, um jeweils für eine definierte Altersgruppe Mittelwerte und Verteilungsparameter angeben zu können. In der Regel sind dies der Medianwert, d.h. das Häufigkeitsmittel P50 sowie einige weitere Perzentilwerte, wobei in der Industrieanthropologie die Perzentile P1 zur Charakterisierung der Gruppe „sehr klein“, P5 für die Gruppe „klein“, P95 für „groß“ und P99 für „sehr groß“ gebräuchlich sind. Die Bildung geeigneter Altersgruppen erfolgt in unterschiedlicher Weise in Abhängigkeit davon, ob es sich um wissenschaftliche Analysen zur körperlichen Entwicklung handelt oder um industrieanthropologische Angaben. Für Wachstumsstudien wird bei Kindern und Jugendlichen die Altersgruppe mit dem mittleren Alter beim Nennwert gebildet. Bei Jahresgruppen ist das der Geburtstag. Beispielsweise werden der Altersgruppe 6 Jahre Kinder im Alter zwischen 5 ½ und 6 ½ Jahren zugeordnet. Das mittlere Alter dieser Gruppe liegt beim 6. Geburtstag. Im Erwachsenenalter wird bei wissenschaftlichen Studien nach Fünfjahresgruppen eingeteilt. Üblich sind Altersgruppen von 20 – 24 Jahren, 25 – 29 Jahren usw. Bei dieser Gruppierung umfasst beispielsweise die Altersgruppe 20 – 24 Jahre Personen im Alter zwischen dem 20. und dem 25. Geburtstag. In der Industrieanthropologie hat sich eine von der Entwicklungsanthropologie abweichende Altersgruppierung etabliert. Jahresgruppen für das Wachstumsalter beziehen sich jeweils auf die Zeit zwischen den Geburtstagen. Die Altersgruppe 6 Jahre umfasst beispielsweise abweichend von der entwicklungsanthropologischen Kategorisierung Kinder im Alter zwischen dem 6. und dem 7. Geburtstag. Sie sind im Mittel ein halbes Jahr älter als Kinder der Altersgruppe 6 Jahre nach der entwicklungsanthropologischen Altersgruppierung. Um Fehlinterpretationen vorzubeugen wird empfohlen, Altersangaben nach der industrieanthropologischen Kategorisierung mit dem Zusatz „Alter in vollendeten Jahren“ zu versehen, denn darum handelt es sich. Eine Nichtbeachtung von unterschiedlichen Altersgruppierungen kann zu falschen Schlüssen führen. Dies wird deutlich, wenn man etwa im Anthropologischen Atlas (Flügel et al. 1986) die beiden unterschiedlichen Medianwerte für die Körperhöhe in der Altersgruppe 3 Jahre miteinander vergleicht. Angegeben sind nach entwicklungsanthropologischer Kategorisierung 973 mm für Jungen und 965 mm für Mädchen. Nach industrieanthropologischer Kategorisierung sind es 1018 mm für Jungen und 1012 mm für Mädchen. Da für die hier vorgestellte säkulare Analyse zum Vergleich ausschließlich eigene Ergebnisse herangezogen werden, von denen die individuellen Datensätze mit Angabe des jeweiligen Geburtsdatums und Untersuchungsdatums in der umfangreichen anthropometrischen Datenbank der Arbeitsgruppe Humanbiologie der Universität Potsdam gespeichert sind, war es möglich, sämtliche Altersgruppen so zu bilden, wie sie in der DIN 33402 angegeben sind. Das bedeutet, dass 6 Jahre alte Kinder im Mittel 6 ½ Jahre alt sind. Die Altersgruppe 16 – 17 Jahre beginnt mit dem 16. Geburtstag und endet einen Tag vor dem 18. Geburtstag. Die Altersgruppe 18 – 19 Jahre beginnt mit dem 18. Geburtstag und endet einen Tag vor dem 20. Geburtstag und die Altersgruppe 20 – 25 Jahre beginnt mit dem 20. Geburtstag und endet einen Tag vor dem 26. Geburtstag usw.. Auf diese Weise sind genaue Vergleiche der Perzentilwerte und eine wissenschaftliche Einschätzung der säkularen Akzeleration des deutschen Bevölkerungsanteils in Deutschland während der vergangenen 25 Jahre möglich.

Die Medianwerte der DIN 33402 werden in der vorliegenden Arbeit für den Altersbereich 6 – 19 Jahre verglichen mit den entsprechenden Werten einer für die neuen Bundesländer repräsentativen Datenerhebung aus den Jahren 1987 – 1991 (Stichprobe DDR 87 – 91). Untersucht wurden damals unter meiner Leitung deutsche Einwohner aus allen Landesteilen. Das Besondere an dieser Stichprobe ist ihr ausgezeichnetes Stichprobendesign und Stichprobenmanagement. Die Untersucher waren

gründlich anthropologisch geschulte Ärzte und Ärztinnen, die nach einem vorgegebenen Verteilungsschlüssel anteilmäßig an der Bevölkerung Kinder aus allen jetzt neuen Bundesländern aus Großstädten, Klein- und Mittelstädten und ländlichen Gemeinden entsprechend ihrem Geschlecht und ihrem Alter untersuchten. Eine Quotierung von Stichproben nach Stadt- und Landbevölkerung ist zwar in der Praxis mühsam, da in Großstädten mit hoher Bevölkerungsdichte wesentlich einfacher umfangreiches anthropometrisches Datenmaterial gewonnen werden kann als in kleineren Siedlungen. In der Vergangenheit gab es jedoch deutliche Unterschiede im Körperbau zwischen den städtischen und ländlichen Bevölkerungsanteilen (Greil 1991, Knußmann 1996). Die Vergleichsstichprobe DDR 87 – 91 ist Teil einer anthropometrischen Studie, in deren Rahmen neben zahlreichen sozialen Daten 32 Körpermaße von 18123 Jungen und 18004 Mädchen im Alter von der Geburt bis zu 19 Jahren bestimmt wurden, davon 11565 Jungen und 11425 Mädchen im Alter zwischen 6 und 19 vollendeten Jahren. Die statistische Analyse weist die Ergebnisse als repräsentativ für die neuen Bundesländer auf einem Niveau von 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit aus.

Weiterhin dienen die Medianwerte einer sehr aktuellen anthropologischen Studie an Kindern und Jugendlichen aus dem Bundesland Brandenburg zum Vergleich (Stichprobe BBG 97 – 00). Im Rahmen dieser Studie wurden 29 Körpermaße an 2089 Jungen und 2131 Mädchen aus mehr als 50 Orten des Bundeslandes Brandenburg festgestellt. Dabei wurde anteilmäßig an der Stadt – Land – Verteilung der Bevölkerung in Potsdam und in weiteren Städten und ländlichen Gemeinden gemessen. Die Ergebnisse dieser Studie gelten für das Bundesland Brandenburg mit derselben Repräsentativität wie die der Studie DDR 87 – 91 für alle neuen Bundesländer. Im Territorialvergleich gibt es Unterschiede im Körperbau zwischen Bewohnern der einzelnen Bundesländer (Greil 1988). Die durchschnittliche Körperhöhe ist in Schleswig – Holstein höher als in Sachsen oder Bayern. Messwerte aus dem Bundesland Brandenburg liegen etwa im Mittel der Bundesrepublik und sind damit für Deutschland aussagefähiger als Messergebnisse, die allein durch Untersuchungen an der Bevölkerung von Schleswig – Holstein oder Bayern gewonnen wurden. Auch diese Stichprobe ist sorgfältig nach Alter, Geschlecht und Wohnortgröße etwa anteilmäßig an der Gesamtbevölkerung stratifiziert.

Für das Erwachsenenalter dienen die Ergebnisse von 4 anthropometrischen Analysen als Vergleichsmaterial zu den Medianwerten der DIN 33402. Sehr sorgfältig anteilmäßig an der Bevölkerung geschichtet ist eine anthropologische Querschnittstudie, deren Personen in den Jahren 1982 – 1984 zum überwiegenden Teil von mir selbst untersucht wurden. Es handelt sich um 3662 Männer im Alter zwischen 18 und 65 Jahren, davon 757 in der Altersgruppe 18 – 19 Jahre, 580 in der Altersgruppe 20 – 25 Jahre, 1045 in der Altersgruppe 26 – 40 Jahre, 1230 in der Altersgruppe 41 – 60 Jahre und 50 in der Altersgruppe 61 – 65 Jahre. Die älteste Altersgruppe ist unterbesetzt. Ihre Messergebnisse haben keinen Normwertcharakter, wie dies für die übrigen Altersgruppen zutrifft. Die ungleichmäßige Altersgruppenbesetzung bei der Alterskategorisierung nach der DIN 33402 resultiert daraus, dass die statistischen Ergebnisse dieser Stichprobe bei einer entwicklungsanthropologischen Auswertung nach Zweijahres- bzw. Fünfjahresaltersgruppen mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % für die deutsche Bevölkerung aller Gebiete der jetzt neuen Bundesländer zutreffen sollten. Dadurch sind die zeitlich sehr grob gebildeten mittleren Altersgruppen der DIN stärker und damit sicherer repräsentiert als es für eine industrieanthropologische Altersgruppierung notwendig wäre. Entsprechendes gilt für den Frauenanteil dieser Stichprobe. Untersucht wurden gleichzeitig mit den Männern und nach denselben Kriterien 3676 Frauen im Alter zwischen 18 und 65 Jahren, davon 756 in der Altersgruppe 18 – 19 Jahre, 581 in der Altersgruppe 20 – 25 Jahre, 1013 in der Altersgruppe 26 – 40 Jahre, 1312 in der Altersgruppe 41 – 60 Jahre und 14 in der Altersgruppe 61 – 65 Jahre. Auch hier ist die älteste Altersgruppe bei weitem unterrepräsentiert.

Nach der Wiedervereinigung Deutschlands standen die Anthropologen vor der Aufgabe zu überprüfen, wie sehr sich Deutsche aus den alten und neuen Bundesländern in ihrem Körperbau unterscheiden. Dieses Problem wurde akut im Rahmen der Vorbereitung einer Neuauflage des Handbuchs der Ergonomie, in dem ein überarbeitetes Kapitel mit aktuellen Daten von ergonomisch relevanten Körpermaßen geplant war und auch realisiert wurde (Jürgens H. W. 2000). Für diesen Zweck waren die am besten vergleichbaren Studien an Erwachsenen die oben beschriebene Messserie DDR 82 – 84

und die Daten einer von KÜchmeister et al. publizierten Stichprobe von 2987 überwiegend jungen Soldaten, die 1988 und 1989 in allen Gebieten der alten Bundesländer gemessen worden waren (KÜchmeister et al. 1990). Da in der letztgenannten Stichprobe die über 25 Jahre alten Männer unterrepräsentiert waren und der untersuchte Altersbereich bei 40 Jahren endete, führte ich im Auftrag des Verfassers (Jürgens H. W. 2000) für 33 in beiden Studien berücksichtigte Körpermaße anhand der Individualwerte von 1215 Männern der Altersgruppe 20 - 24 Jahre (KÜchmeister et al. 1990) Individualwertvergleiche mit 637 gleichaltrigen Männern der Studie DDR 82 – 84 durch. Im Ergebnis dieser Analyse wurden gewichtete Maßfaktoren für die in beiden Stichproben untersuchten Körpermaße gebildet und für das gesamte Bundesgebiet zutreffende Perzentilwerte für deutsche junge Männer errechnet. Dies war mit ausreichender statistischer Sicherheit durchführbar, weil die Körpermaßunterschiede zwischen beiden zugrundeliegenden Stichproben nur gering waren. Der Medianwert der Körperhöhe lag für die gesamtdeutsche Stichprobe nur 6 mm über dem Medianwert der ostdeutschen Teilstichprobe. Da beide Teilstichproben im Abstand von 4 Jahren gemessen worden waren, deutet diese geringe Differenz eher auf einen säkularen als auf einen regionalen Unterschied hin. Sie belegt vielmehr, dass bei regional hinsichtlich der Nord-Süd-Verteilung ausgewogenen Stichproben die Unterschiede zwischen den westlichen und den östlichen Bundesländern vernachlässigbar gering sind. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu den Angaben des Internationalen anthropometrischen Datenatlas (Jürgens et al. 1989), in dem aus zeitgemäß einsichtigen politischen Gründen die Daten der Bevölkerung der alten Bundesländer mit nord-europäischen Daten verrechnet wurde und die der Bevölkerung der neuen Bundesländer mit mitteleuropäischen, obwohl die alten Bundesländer sich weiter nach Süden ausdehnen als das Gebiet der ehemaligen DDR. Im direkten Einzelwertvergleich zeigten die Daten der besser fundierten neueren Stichproben, dass die politische innerdeutsche Grenze keine anthropologisch bemerkenswerte Grenze war. Damit konnten die an der Altersgruppe der jungen Männer gewonnenen Wichtungsfaktoren für alle Altersgruppen und mit verantwortbarer Irrtumswahrscheinlichkeit auch für Frauen übernommen und eine gesamtdeutsche Stichprobe mit der Aktualität von 1989 gebildet werden (D 89). Für diese gesamtdeutsche Stichprobe wurden je Altersgruppe 11 Perzentile berechnet.

Als weiterer Vergleich zur DIN 33402 dienen hier die Perzentilwertangaben des Handbuchs der Ergonomie in der Ausgabe von 2000 (Jürgens 2000, Stichprobe HdE). In dieser Neuauflage wird erstmalig die untersuchte Bevölkerung nicht mehr nach der Staatsbürgerschaft definiert, sondern umfasst alle Personen, die in der Bundesrepublik Deutschland wohnhaft sind. Der Verfasser gibt an, dass in den Jahren 1995 – 1998 die enorme Anzahl von 91 Körpermaßen an 4350 Männern und 2860 Frauen aus allen Teilen Deutschlands im Alter zwischen 18 und 40 Jahren gemessen wurden. Leider bleibt offen, was der Zusatz „gequotet“ im Einzelnen bedeutet.

Wiederum nur an einer Stichprobe des deutschen Bevölkerungsanteils bestimmt wurden in den Jahren 1997 – 2000 Körpermaßdaten von 374 Männern und 583 Frauen im Alter zwischen 20 und 65 Jahren aus dem Bundesland Brandenburg (Stichprobe BBG 97 – 00). Diese aktuellste Studie erhebt nicht den Anspruch der Repräsentativität für das gesamte Bundesgebiet. Da sie jedoch sehr sorgfältig untersucht wurde und Brandenburg im Territorialvergleich etwa mittlere deutsche Körpermaßdaten liefert, soll sie hier der Aktualität halber zum Vergleich herangezogen werden.

Ergebnisse

Kinder und Jugendliche

Im Altersbereich zwischen 6 und 19 Jahren sind eine nichtrepräsentative Zusammensetzung der Stichprobe für die DIN 33403 und eine deutliche säkulare Zunahme der Längenmaße feststellbar. Beispielhaft sind in Abb. 1 und 2 die Medianwertkurven (P50) für Jungen und Mädchen dargestellt. An den Kurvenverläufen wird deutlich, wie wenig die Medianwerte der DIN 33402 dem erwarteten und häufig beschriebenen individuellen Wachstumsmuster des Menschen entsprechen, das sich auch in sorgfältig durchgeführten ausreichend umfangreichen Querschnittuntersuchungen widerspiegelt (Falkner & Tanner 1985, Knußmann 1996, Bogin 1999, Ulijaszek et al. 1998). Zwischen 10 und 11

Jahren wird für Jungen eine Körperhöhenzunahme von nur 11 mm ausgewiesen gegenüber einer unerwartet hohen Zunahme von 79 mm zwischen 11 und 12 Jahren. Zwischen 14 und 15 Jahren, bei Jungen dem Alter des typischen puberalen Längenwachstumsschubes, wird ein Zuwachs von nur 33 mm angegeben. Ähnliches gilt für die Körperhöhenkurve der Mädchen. Im weiblichen Geschlecht erfolgt der puberale Längenwachstumsschub 2 – 3 Jahre früher als im männlichen, was temporär im Alter zwischen etwa 9 ½ und 13 ½ Jahren zu deutlich höheren durchschnittlichen Körperhöhen der Mädchen gegenüber gleichaltrigen Jungen führt. Dieser in der Literatur vielfach beschriebene Entwicklungsvorsprung der Mädchen (Grimm 1966, Greil 1997, Bogin 1999) kommt in der DIN 33402 kaum zum Ausdruck. Demgegenüber verlaufen die Medianwertkurven der Stichproben DDR 87 – 91 und BBG 97 – 00 wesentlich harmonischer, was auf eine vergleichsweise bessere Stichprobenqualität, vor allem auf eine repräsentativere Besetzung der einzelnen Altersgruppen hinweist.

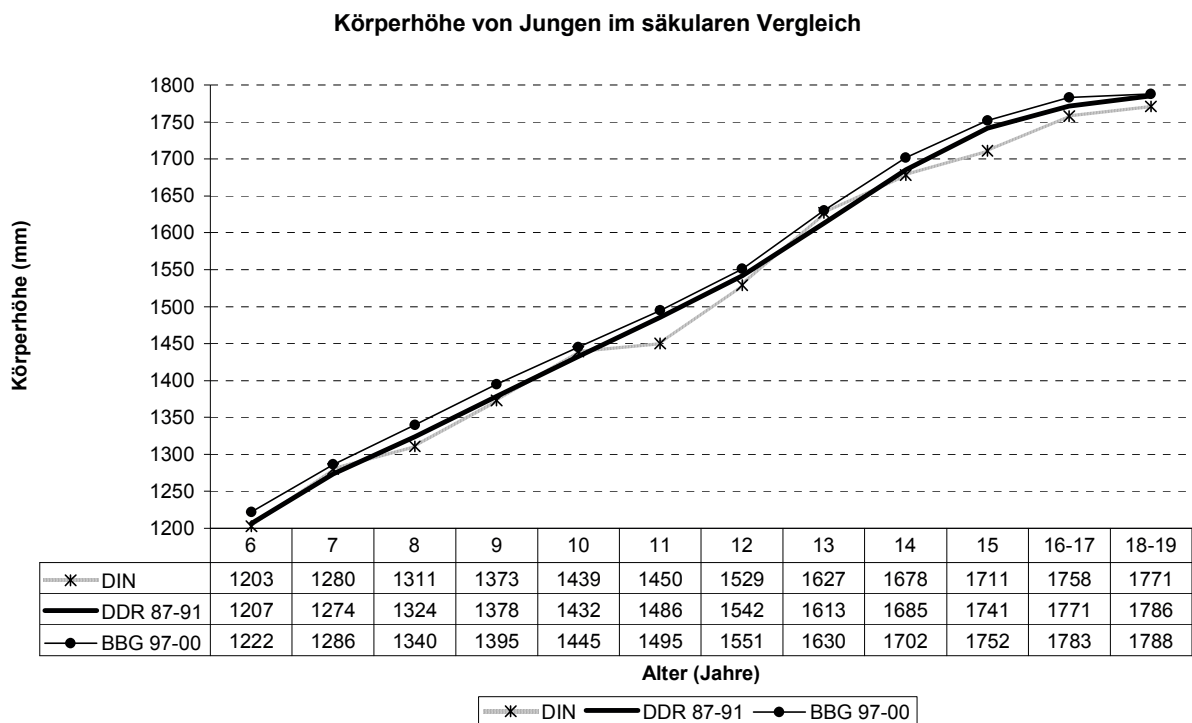


Abb. 1: Medianwerte der Körperhöhe von Jungen im säkularen Vergleich

Körperhöhe von Mädchen im säkularen Vergleich

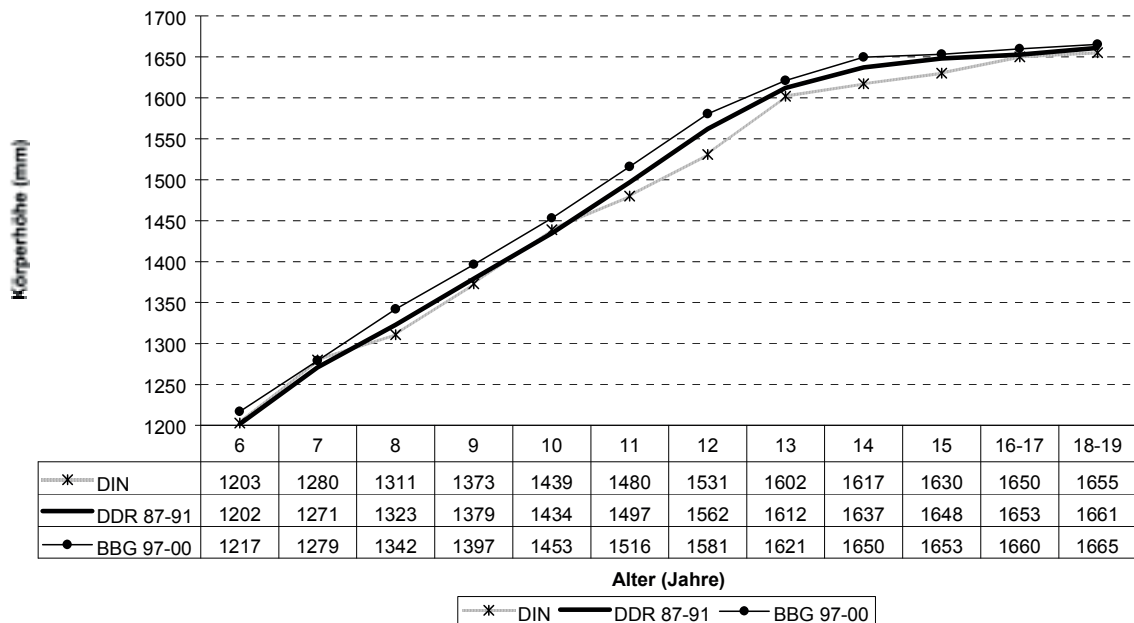


Abb. 2: Medianwerte der Körperhöhe von Mädchen im säkularen Vergleich

Im Generationenvergleich fällt auf, dass die säkulare Akzeleration in ausgeprägter Form fortbesteht. Selbst innerhalb der letzten 10 Jahre sind in Abhängigkeit vom Alter (6 – 17 Jahre) bei Jungen Zuwachsraten zwischen 9 und 17 mm zu beobachten. Bei Mädchen liegen sie im Altersbereich 6 – 14 Jahre zwischen 8 und 19 mm. Mit dem Nachlassen der Längenwachstumsintensität gegen Ende des Wachstumsalters wird auch der säkulare Trend der Körperhöhe geringer. Bei der Wertung dieses Ergebnisses muss in Betracht gezogen werden, dass die besonders stark akzelerierten Kinder von heute die Erwachsenen von morgen sein werden.

Stellvertretend für industrierelevante Rumpfbreitenmaße werden in Abb. 3 für Jungen und Abb. 4 für Mädchen die biakromialen (knöchernen) Schulterbreiten der genannten Stichproben miteinander verglichen. Diese größte Distanz zwischen den Außenkanten der beiden Schulterblätter, dort wo sie sich dachartig als sogenannte Schulterhöhe (*Acromion*) über die Kugel des Oberarmkopfes wölben, ist ein charakteristisches Skelettmaß. Auch hier stehen die Angaben der DIN 33402 im Altersverlauf im Widerspruch zu den Ergebnissen früher erhobener humanbiologischer Untersuchungen (Greil & Vockenbergl 1975). Eine Stagnation des Breitenwachstums zwischen 13 und 14 Jahren bei Jungen und zwischen 12 und 14 Jahren bei Mädchen mit anschließendem Breitenwachstumsschub ist in der auxologischen Literatur nicht beschrieben und wäre biologisch gesehen verwunderlich. Die Ergebnisse der Stichprobe DIN erwecken den Eindruck, als habe es im Kindesalter keine oder kaum eine säkulare Akzeleration des Breitenwachstums gegeben, im Jugendalter jedoch einen ganz ausgeprägten positiven säkularen Trend. Demgegenüber entsprechen die Ergebnisse der Stichproben DDR 87 – 91 und BBG 97 – 00 voll den biologischen Erwartungen. Es gibt international keine Anhaltspunkte dafür, dass sich im Verlauf der säkularen Akzeleration, abgesehen von einem leichten Trend zum Hoch – Schlank – Wuchs, der das gesamte Lebensalter betrifft, die Proportionen des menschlichen Körpers deutlich verändert hätten.

Schulterbreite von Jungen im säkularen Vergleich

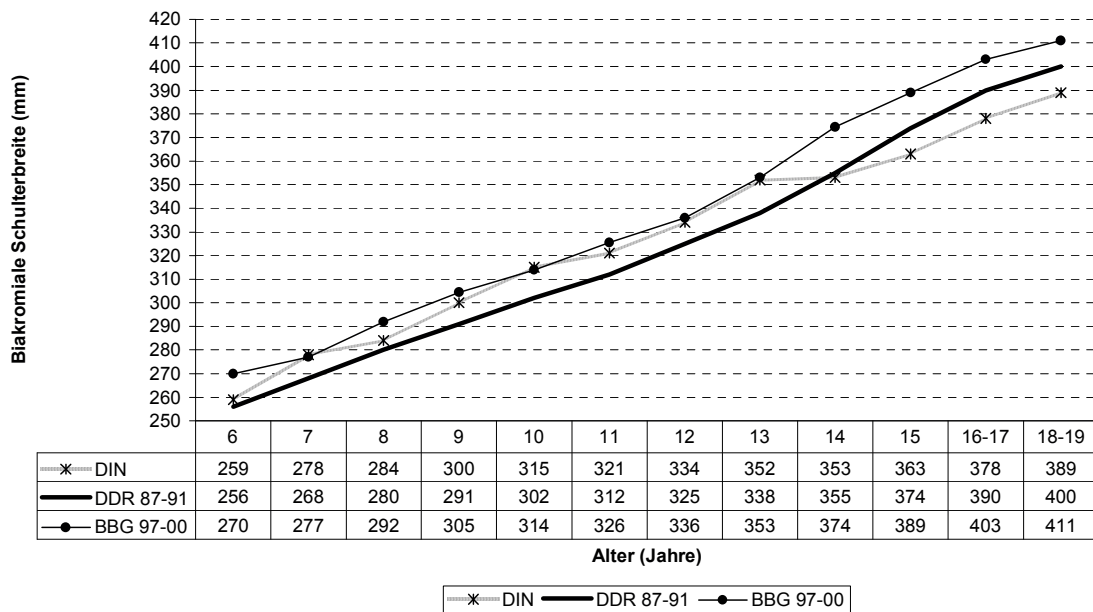


Abb. 3: Medianwerte der biakromialen Schulterbreite von Jungen im säkularen Vergleich

Schulterbreite von Mädchen im säkularen Vergleich

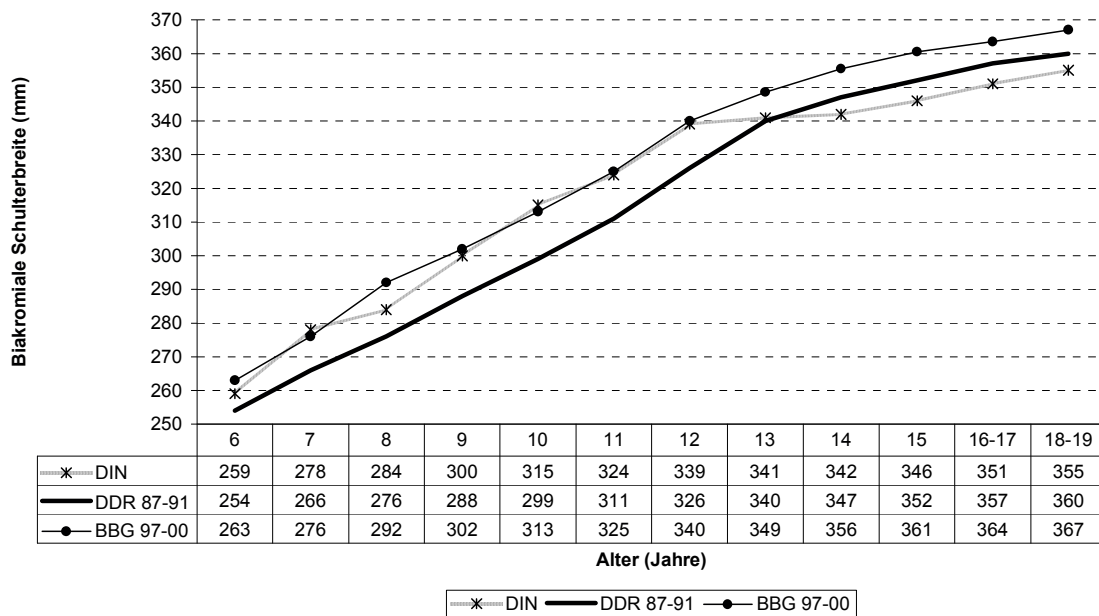


Abb. 4: Medianwerte der biakromialen Schulterbreite von Mädchen im säkularen Vergleich

Erwachsene

Für das Erwachsenenalter werden in Abb. 5 für Männer und Abb. 6 für Frauen für die Körperhöhe zeitlich nacheinander erhobene Stichproben miteinander verglichen.

Körperhöhe von Männern im säkularen Vergleich

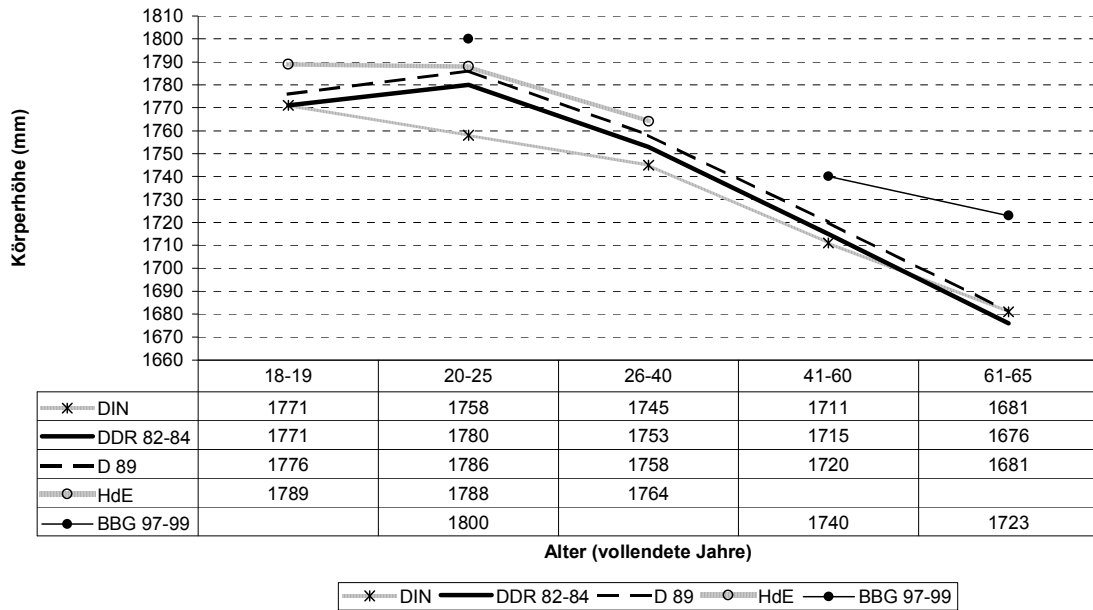


Abb. 5: Medianwerte der Körperhöhe von Männern im säkularen Vergleich

Körperhöhe von Frauen im säkularen Vergleich

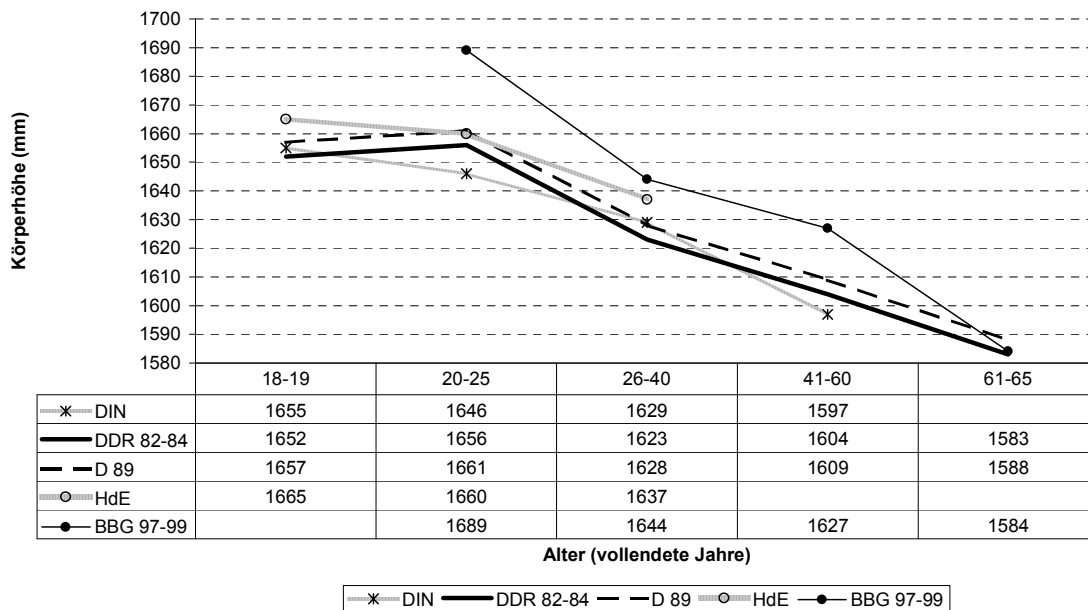


Abb. 6: Medianwerte der Körperhöhe von Frauen im säkularen Vergleich

Im individuellen Altersvergleich fällt auf, dass nach den Angaben der DIN 33 402 und des Handbuchs der Ergonomie im Unterschied zu den Stichproben DDR 82 – 84, und D 89 die Körperhöhe bei beiden Geschlechtern bereits zwischen den Altersgruppen 18 – 19 Jahre und 20 – 25 Jahre abnimmt. Dieses Ergebnis ist biologisch gesehen überraschend, da im jungen Erwachsenenalter zwar die Wachstumsfugen der Langknochen der Beine bereits geschlossen sind, nicht aber die Wachstumsfugen der

Wirbelkörper und deshalb die Körperhöhe zumindest noch nicht individuell schrumpft (Büchi 1950, Jürgens 1966). Im allgemeinen kommen Querschnittuntersuchungen zu der Aussage, dass erst in der ersten Hälfte des dritten Lebensjahrzehnts die endgültige Körperhöhe erreicht wird, auch wenn die individuellen Zuwachsraten bei Männern nach dem 19. Lebensjahr und bei Frauen nach dem 17. Lebensjahr nur noch gering sind. Vom vierten Lebensjahrzehnt an beginnt durch die nachlassende Hydratationsfähigkeit der Zwischenwirbelscheiben der Wirbelsäule ein individueller Schrumpfungsprozess, der in allen Medianwertkurven übereinstimmend dokumentiert wird.

Im säkularen Vergleich wird ein positiver Trend der Körperhöhe deutlich sichtbar. Es fällt jedoch auf, dass die Angaben für die Altersgruppe 20 – 25 Jahre im Vergleich der Stichproben D 89 und HdE praktisch identisch sind. Für das spätere Lebensalter ist ein Vergleich nur zwischen den Medianwerten der DIN 33402 und der Stichproben DDR 82 – 84, D 89 und BBG 97 – 00 möglich. Dabei entsteht der Eindruck, dass die nichtrepräsentativen Medianwerte der ältesten untersuchten Altersgruppe aus den Jahren 1982 – 1984 überhöht sind. Die Altersgruppe 61 – 65 Jahre ist in der Stichprobe BBG mit 107 Männern und 155 Frauen vergleichsweise gut besetzt. Damit weist die vergleichende Analyse darauf hin, dass die individuelle altersbedingte Abnahme der Körperhöhe besonders bei Frauen stärker ist als bisher angenommen. Dies wird durch die Ergebnisse der Delfter Altersstudie (Steenbekkers & van Beijsterveldt 1998) bestätigt.

Für die Stammlänge fällt die Übereinstimmung zwischen den Stichproben D 89 und HdE bei Männern auch für die Altersgruppe 18 – 19 Jahre auf (Abb. 7) und bei Frauen (Abb. 8) für den gesamten im Handbuch der Ergonomie dokumentierten Altersbereich. Auch in diesem Längenmaß weisen die ältesten untersuchten Brandenburgerinnen übereinstimmend mit den Messergebnissen der Körperhöhe besonders niedrige Medianwerte auf.

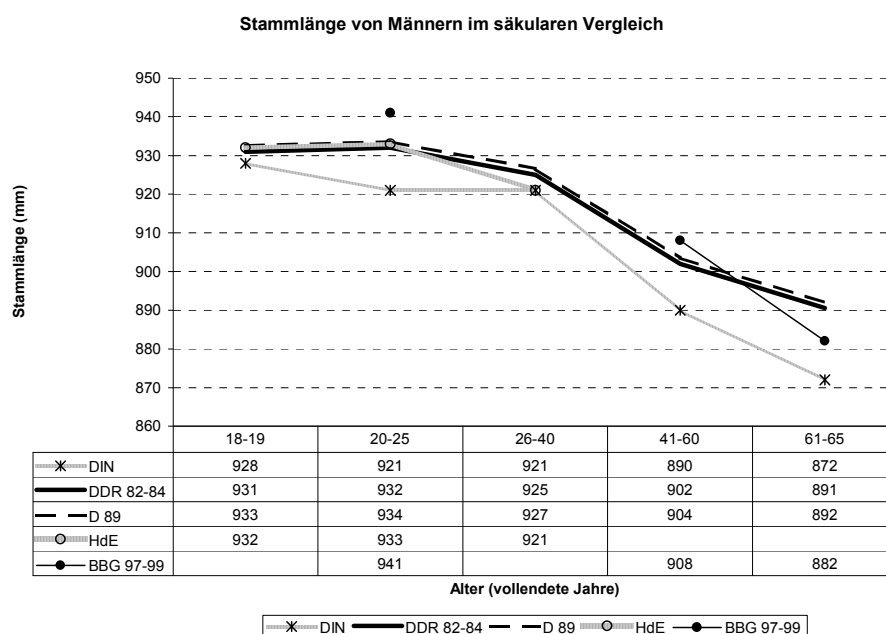


Abb. 7: Medianwerte der Stammlänge von Männern im säkularen Vergleich

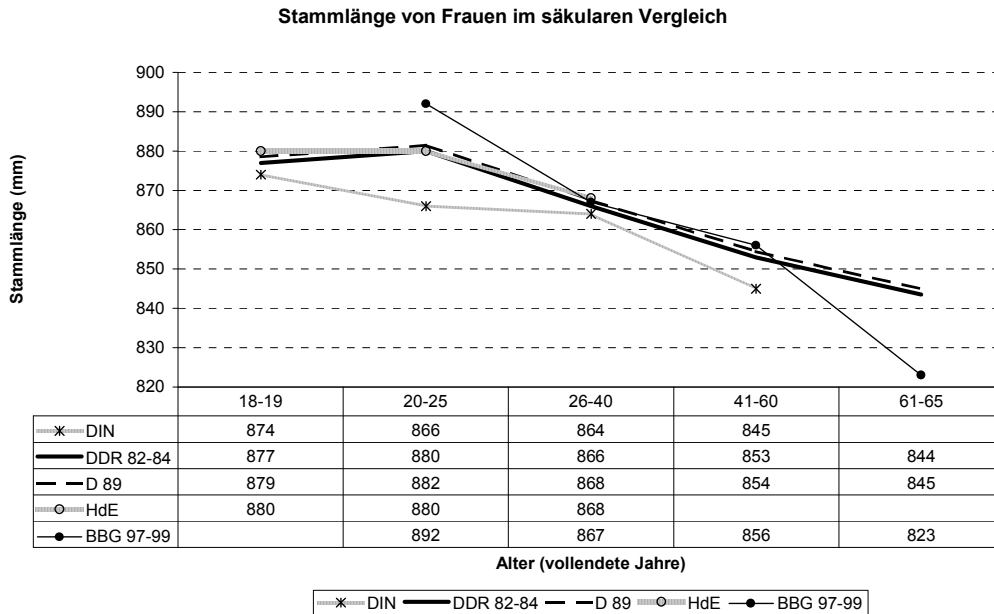


Abb. 8: Medianwerte der Stammlänge von Frauen im säkularen Vergleich

Bei einem Vergleich der Medianwerte der biakromialen Schulterbreite im Erwachsenenalter fallen bei den Männern die ausgesprochen niedrigen Medianwerte der DIN für das junge Erwachsenenalter auf. (Abb. 9). Bei den Frauen entspricht die Kurve der DIN-Stichprobe dem erwarteten Altersgang besser als bei den Männern. Im säkularen Vergleich liegen die Werte der DIN erwartungsgemäß unter denen aller zum Vergleich herangezogenen Stichproben. Erstaunlich ist jedoch die millimetergenaue Übereinstimmung zwischen den Angaben des HdE und den Ergebnissen der gesamtdeutschen Stichprobe von 1989 bei beiden Geschlechtern. Für die Altersgruppen 18 - 19 Jahre, 20 - 25 Jahre und 26 - 40 Jahre werden die Kurven der Stichprobe D 89 passgenau durch die Kurven der Stichprobe HdE überdeckt. (Abb. 9, Abb.10).

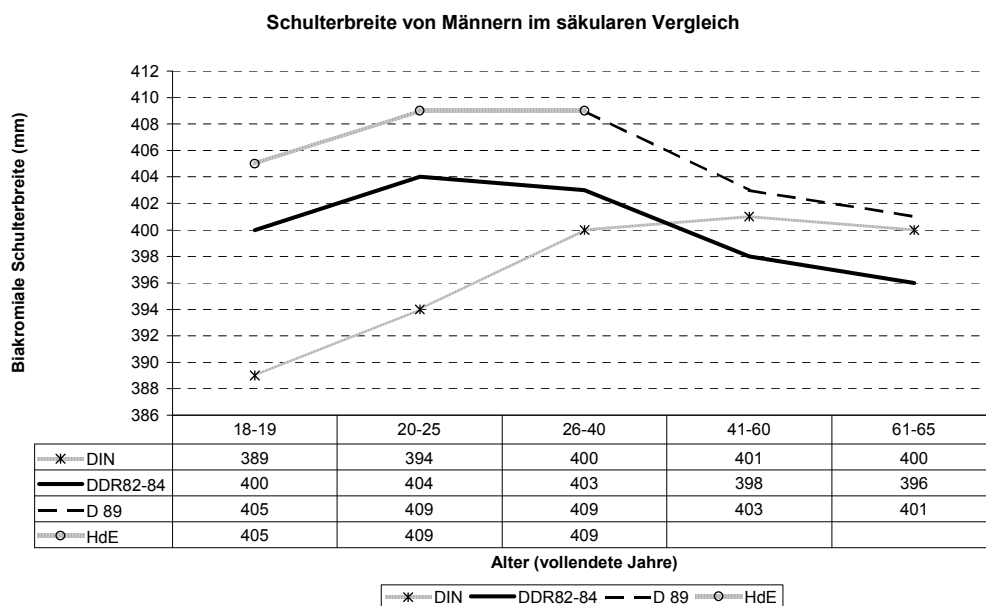


Abb. 9: Medianwerte der biakromialen Schulterbreite von Männern im säkularen Vergleich

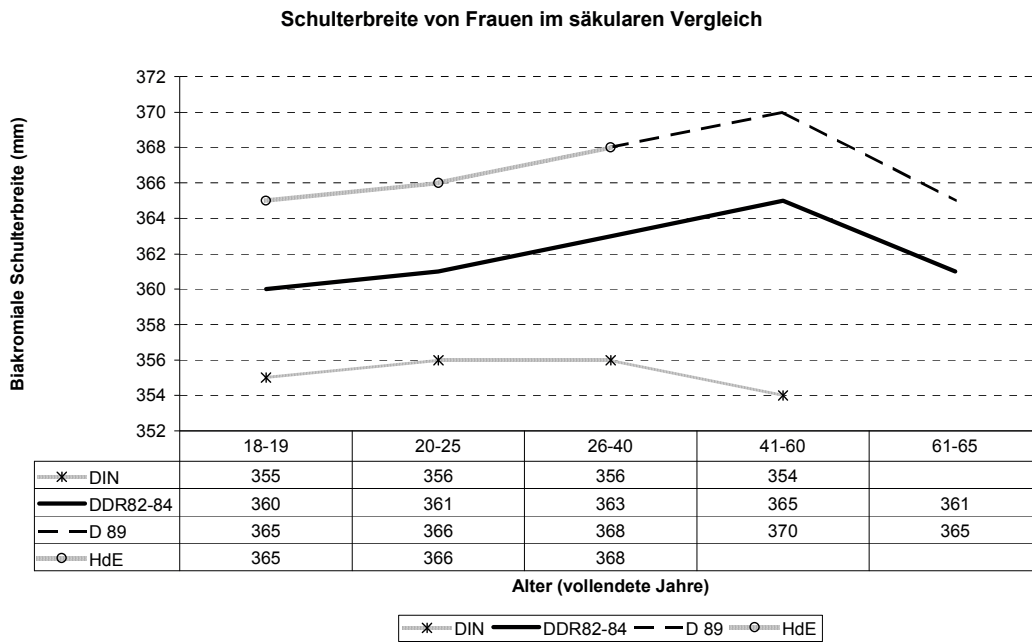


Abb. 10: Medianwerte der biakromialen Schulterbreite von Frauen im säkularen Vergleich

Ähnliche Übereinstimmungen treffen auch für andere Körpermaße zu, worauf an dieser Stelle jedoch nicht kausal eingegangen werden soll. In Abb. 11 und Abb. 12 wird der im Altersverlauf in allen Stichproben zunehmende Hüftumfang säkular analysiert.

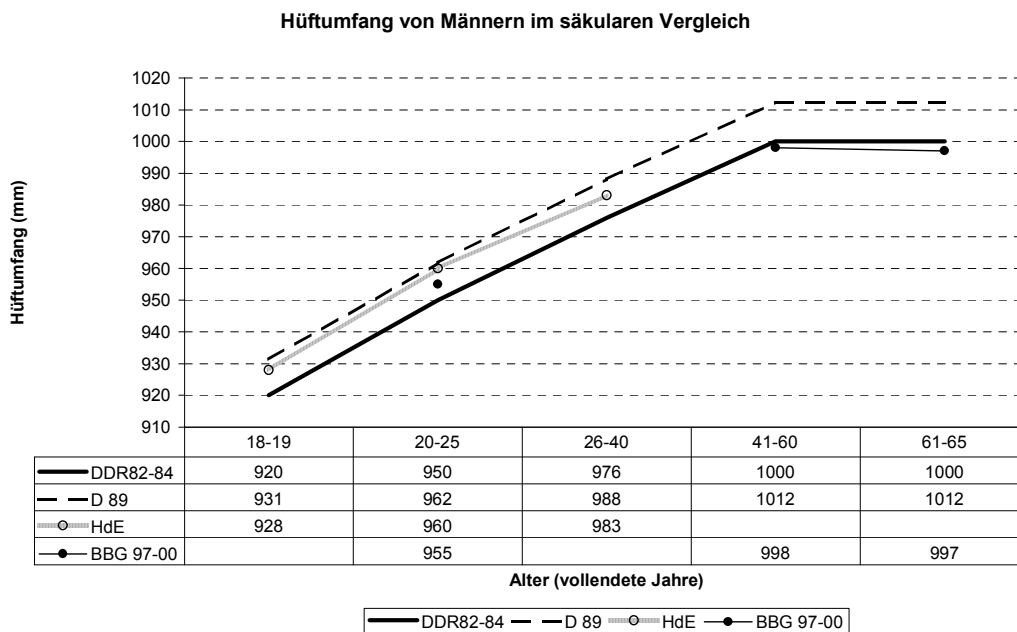


Abb. 11: Medianwerte des Hüftumfangs von Männern im säkularen Vergleich

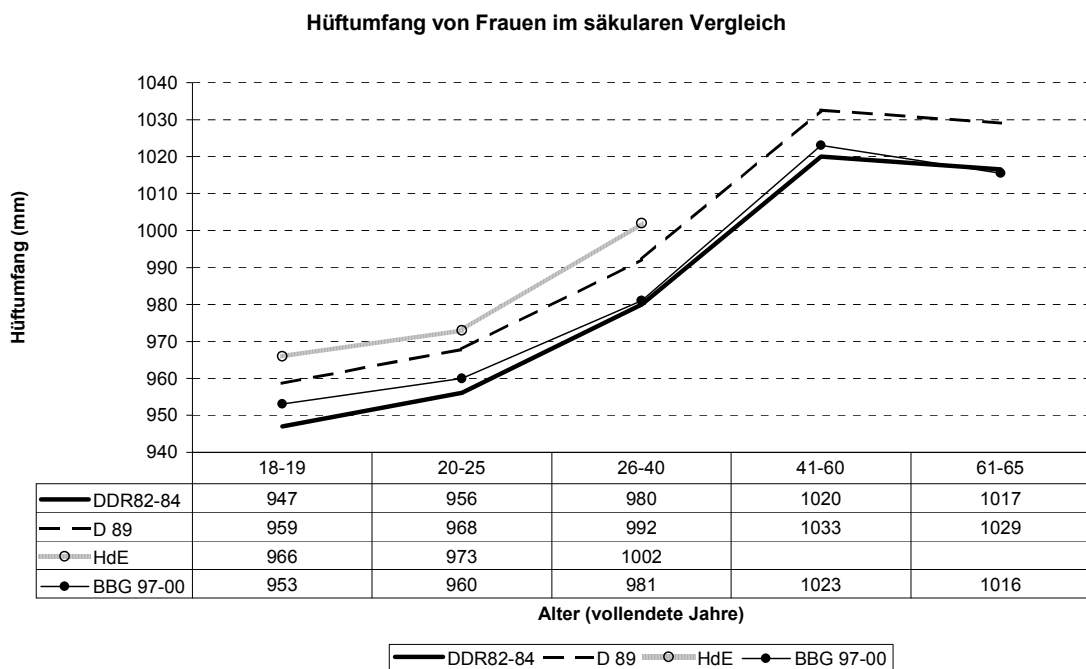


Abb. 12: Medianwerte des Hüftumfangs Schulterbreite von Frauen im säkularen Vergleich

Dieses Maß kann nicht mit der DIN verglichen werden, ist jedoch in der Stichprobe BBG 97 - 00 vorhanden. Es wird im HdE bei übereinstimmender Messmethodik als Gesäßumfang bezeichnet. Auch hier fallen sehr ähnliche Werte und/oder Kurvenverläufe bei den Stichproben D 89 und HdE zumindest bei Männer auf. Überraschend sind bei beiden Geschlechtern die vergleichsweise niedrigen Medianwerte der Stichprobe BBG 97 – 00 im mittleren und älteren Erwachsenenalter.

Schlussfolgerungen

Sowohl für das Kindes- und Jugendalter als auch für das gesamte Erwachsenenalter sind die Daten der DIN 33402 durch die säkulare Akzeleration der deutschen Bevölkerung veraltet und nicht mehr zutreffend. Eine Erneuerung dieser industrierelevanten Norm ist dringend erforderlich. Dafür sollten keine Messergebnisse aus vergangenen Jahrzehnten anhand weniger Leitmaße hochgerechnet oder Ergebnisse aus verschiedenen Stichproben statistisch aneinander angepasst werden. Zuverlässige Ergebnisse sind nur durch grundlegende neue Körpermessungen an einer innerhalb möglichst kurzer Zeit untersuchten ausreichend repräsentativen Stichprobe zu gewinnen. Im Interesse der Zuverlässigkeit der Messergebnisse ist hierbei ein wissenschaftlich fundiertes Stichprobendesign ausschlaggebend. In diesem Zusammenhang muss vor allem die Frage geklärt werden, wie der Begriff Bevölkerung zu definieren ist und wie anthropometrisch vom deutschen Bevölkerungsanteil abweichende Gruppen in Deutschland lebender Menschen besser erkennbar werden können, als dies im Handbuch der Ergonomie der Fall ist. Eine Einbeziehung ausländischer in Deutschland lebender Kinder und Erwachsener in die anthropometrischen Erhebungen ist meines Erachtens nur dann sinnvoll, wenn ihr Anteil an der Gesamtbevölkerung und damit an der Gesamtstichprobe ausreichend ausgewiesen wird. Die alleinige Ausweisung einer anthropometrischen Erhebung als „gequotet“ reicht nicht aus, weil damit keine Rückschlüsse darauf zu ziehen sind, nach welchen Kriterien diese Stichprobe wirklich anteilmäßig an der Gesamtbevölkerung stratifiziert ist. Die Stichprobensatzzusammensetzung muss offengelegt werden, wenn die Ergebnisse wissenschaftlichen Ansprüchen genügen sollen. Repräsentative Körpermessungen an gesunden freiwilligen Probanden sind von der Organisation, von der Durchführung und von den Kosten her viel zu aufwändig, um sie nur unter einer

Zielstellung auszuwerten. Parallel zu einer gemeinsamen Auswertung der Messdaten aus allen Bevölkerungsanteilen, bei der nicht nur der zahlenmäßige Umfang jeder geschlechtsspezifischen Altersgruppe ausgewiesen sein sollte, sondern auch ihr prozentualer Ausländeranteil und dessen ethnische Zugehörigkeit, plädiere ich für eine getrennte Auswertung für Deutsche und Ausländer. Bei Vorliegen der entsprechenden individuellen Datensätze stellt eine derartige wissenschaftlichen Kriterien genügende Mehrfachauswertung kein Problem dar und ist kurzfristig durchführbar. Bei einer derartigen Mehrfachauswertung der Individualdaten entsteht ein wertvolles Datenmaterial, das es den Anwendern dieser Daten erlaubt, je nach der Aufgabenstellung mit den Perzentilen der Gesamtbevölkerung oder mit denen bestimmter Bevölkerungsgruppen zu arbeiten. Wichtig für den längerfristigen inhaltlichen Bestand einer Neufassung der DIN 33402 ist die Messung des gesamten Altersspektrums mit einem wohlüberlegten und vielfältigen Anforderungen entsprechenden Messprogramm innerhalb einer Zeit von nur wenigen Jahren. Eine derartige anthropometrische Studie liegt gegenwärtig nicht vor. Die Messprogramme der repräsentativen anthropometrischen Stichproben DDR 87 – 91 und BBG 97 – 00 wurden unter entwicklungsanthropologischer Zielstellung erarbeitet. In ihnen fehlen wichtige industrierelevante Körpermaße.

So wichtig eine aktuelle Norm für Körpermaße des Menschen für die Industrie ist, wird sie dennoch niemals allen ergonomischen Spezialanforderungen gerecht werden können. Zusätzlich zu den dringend benötigten allgemeingültigen Normdaten werden auch in Zukunft weniger umfangreiche aber gezielte Spezialerhebungen an spezifischen Bevölkerungsgruppen notwendig sein, weil die Industrie häufig vor der Aufgabe steht, die körpernahe Umwelt von Menschen und damit auch ihre Arbeitsplätze berufsspezifisch an spezielle Nutzergruppen anzupassen. Aus den Ergebnissen der Stichprobe DDR 82 – 84 ist bekannt, dass sich in bestimmten Berufen Menschen mit einem berufstypischen Körperbau häufen. In körperlich belastenden Berufen sind mittelgroße aber überdurchschnittlich korpulente Menschen – in der Anthropologie werden sie als pyknomorph bezeichnet – deutlich häufiger anzutreffen als in sogenannten Sitzberufen, in denen häufiger hochwüchsige aber relativ schlanke Personen vertreten sind (Greil 1991). Die körperbaulichen Besonderheiten bestimmter Berufsgruppen, beispielsweise bei LKW-Fahrern, können beträchtlich sein (Nagel 2001).

Ein weiteres Problem in Vorbereitung einer Neufassung der DIN 33402 ist die Frage nach der Messmethodik. Die herkömmliche Körpermessung mit Anthropometer, Zirkel und Maßband wird sicherlich auch in der Zukunft ihre Existenzberechtigung behalten. Dennoch wäre es unverantwortlich, die durch leistungsfähige Scanner und Computer möglich gewordene berührungsfreie Körpermessung zu ignorieren. Ein Problem des sogenannten Bodyscanverfahrens mittels Laserabtastung besteht darin, dass das Skelett mit dieser Methode nicht direkt fassbar ist und damit schwerer auf Gelenkdrehpunkte und Gelenkbewegungsbahnen rückgeschlossen werden kann als bei der klassischen Anthropologie. Zukunftsweisend ist hier die sich anbahnende Zusammenarbeit zwischen Spezialisten beider Methoden. Eine Stichprobe, bei der dieselben Personen sowohl klassisch anthropometrisch untersucht als auch gescannt werden ließe Rückschlüsse vom Scan auf das Skelett zu. Der enorme Vorteil des sowohl in Deutschland als auch international immer häufiger verwendete Bodyscanverfahren besteht darin, dass aus einmal gewonnenen Datensätzen nachträglich eine Vielzahl von Körpermaßen abgeleitet werden kann, die bei Erstellung des Scans noch nicht von Interesse erschienen, für die aber nachträglich aus einer speziellen Fragestellung heraus dringlicher Bedarf entsteht.

Literatur

Bogin B. (1999): Patterns of human growth. 2nd ed., Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Büchi E. C. (1950): Änderungen der Körperform beim erwachsenen Menschen. Eine Untersuchung nach der Individualmethode. Berger, Wien.

Deutsches Institut für Normung (Hrsg. 1979): DIN 33402 Körpermaße des Menschen. Entwurf. Beuth – Verlag, Köln.

- Deutsches Institut für Normung (Hrsg. 1986): DIN 33402 Körpermaße des Menschen. Beuth – Verlag, Köln.
- Falkner F., Tanner J. M. (1985): Human growth – a comprehensive treatise. 2nd ed. Vol. 2, Plenum Press, New York – London.
- Flügel B., Greil H., Sommer K. (1986): Anthropologischer Atlas. Grundlagen und Daten. Edition Wötzel, Frankfurt/Main.
- Greil H., Vockenber I. (1971): Das Längenwachstum einzelner Körperabschnitte bei einer Stichprobe von Kindern und Jugendlichen aus der DDR – Bevölkerung. *Ärztl. Jugendkd.* 62, 172 – 186.
- Greil H., Vockenber I. (1975): Das Breiten- und Tiefenwachstum des Rumpfes bei einer Stichprobe von Kindern und Jugendlichen aus der DDR – Bevölkerung. *Ärztl. Jugendkd.* 66, 32 – 42.
- Greil H. (1988): Der Körperbau im Erwachsenenalter. Diss. B. (Habilitationsschrift), Med. Fak. HU Berlin.
- Greil H. (1991): Urbanization and heavy physical work as influencing factors on physiques. *Coll. Anthropol.* 15, 123 – 129.
- Greil H., Möhr, M (1996): Anthropometrische Charakterisierung der DDR-Bevölkerung. *Ernährungsforschung* 41, 79 – 115.
- Greil H. (1997): Sex, body type and timing in bodily development – trend statements based on a cross – sectional anthropometric study. In: Roberts D. F., Rudan P., Skaric – Juric T. Eds. *Growth and development in the changind world.* Croatian Anthropol. Soc., Zagreb.
- Greil H. (1998): Age- and sexspecifity of the secular trend of height in East Germany. In: Komlos J. & Baten J. (Eds. 1998): *The biological standard of living in comparative perspective.* Franz Steiner, Stuttgart, 483 – 496.
- Grimm 1966: *Grundriß der Konstitutionsbiologie und Anthropometrie.* 3. Aufl., Volk und Gesundheit, Berlin.
- Jürgens H. W. (1966): Über das Wachstum der Körpergröße beim "erwachsenen" Menschen. *Dtsch. Med. Wschr.* 91, 1881 – 1886.
- Jürgens H. W., Aune I. A., Pieper U. (1989) : *Internationaler anthropometrischer Datenatlas.* Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven.
- Jürgens H. W. (2000): Körpermaße. Stand 1999. In: Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung (Hrsg.): *Handbuch der Ergonomie,* 2. Aufl. Bd. 3 Teil B: Ergonomische Datensammlung. Hanser, München.
- Knußmann R. (Hrsg. 1988): *Anthropologie. Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen.* Bd.I, 1. Teil, Gustav Fischer, Stuttgart – New York.
- Knußmann R. (1996): *Vergleichende Biologie des Menschen. Lehrbuch der Anthropologie und Humangenetik.* 2. Aufl., G. Fischer, Stuttgart.
- Küchmeister G., Helbig K., Jürgens H. W. (1990): Körpermaße 18 – 40jähriger Männer. *Forschungsbericht aus der Wehrmedizin.* Dokumentations- und Fachinformationszentrum der Bundeswehr, Bonn.

Martin R. (1924): Richtlinien für Körpermessungen und deren statistische Verarbeitung mit besonderer Berücksichtigung von Schülermessungen. J. F. Lehmanns Verlag München.

Nagel, K. (2001): Gruppenspezifische Anthropometrie in der ergonomischen Gestaltung. Brandenburgische Umwelt Berichte 10, 54-61

Saller, M. (Hrsg. 1957): Lehrbuch der Anthropologie. 3. Aufl., G. Fischer, Stuttgart.

Steenbekkers L. P. A., van Beijsterveldt (Eds. 1998): Design-relevant characteristics of ageing users. Serie Ageing and ergonomics. Vol. 1. Delft Univ. Technology, Delft.

Ulijaszek S. J., Johnston, F. C., Preece M. A. (Eds. 1998): The Cambridge encyklopedia of human growth and development. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Anschrift der Autorin:

Prof. Dr. Holle Greil
FG Humanbiologie
Institut für Biochemie und Biologie
Universität Potsdam
Lennéstr. 7a
14471 Potsdam
greil@rz.uni-potsdam.de

Körpermaße 2000: aktuelle Perzentilwerte der deutschen Bevölkerung im jungen Erwachsenenalter

H. Greil

Einleitung

Seit den umfangreichen Körpermessungen an Erwachsenen aus den alten Bundesländern Deutschlands zur Gewinnung der Perzentilwerte der zur Zeit noch gültigen DIN 33402 Mitte der siebziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts (Deutsches Institut für Normung 1986) und den noch umfangreicheren Messungen an Erwachsenen aus den neuen Bundesländern zu Beginn der achtziger Jahre (Flügel et al. 1986, Greil 1988) hat sich in allen Teilen Deutschlands der Körperbau der Bevölkerung in einem Ausmaß verändert, das nicht nur von akademischem Interesse ist, sondern durchaus praktische Auswirkungen hat (Greil 2001). Die Industrieanthropologie sah und sieht sich vor die Aufgabe gestellt, neue Körpermessungen durchzuführen, um für Arbeitswissenschaftler und Konstrukteure aktuelle Perzentilwerte für die maßlich menschengerechte Gestaltung körpernaher Umweltbereiche kalkulieren zu können. Die Entwicklungsanthropologie benötigt gültige Perzentilwerte von Körpermaßen, die Rückschlüsse auf den körperlichen Entwicklungsstand, den Ernährungszustand und den Gesundheitszustand erlauben. Unter industrieanthropologischer Zielstellung wurden unlängst Daten für mehr als 100 Körpermaße publiziert, darunter zahlreiche Maße der Hand und der Finger (Jürgens 2000). Nach den Angaben des Verfassers beruhen diese Daten auf Messungen an 4350 Männern und 2860 Frauen im Alter von 18 bis zu 40 Jahren, die in den Jahren 1995 – 1998 in allen Teilen Deutschlands sowohl an Deutschen als auch an Ausländern und Ausländerinnen durchgeführt wurden. Da der Ausländeranteil und die Zusammensetzung der ausländischen Teilstichprobe nicht angegeben werden, erlauben die publizierten Perzentilwerte keine Rückschlüsse auf aktuelle Werte von Körpermaßen der deutschen Bevölkerung im ethnischen Sinn. Diese werden jedoch sowohl in der Industrie als auch für entwicklungsanthropologische und gesundheitspolitische Analysen dringend benötigt. Der Prozess der säkularen Akzeleration, der wichtige Rückschlüsse auf die Veränderung der biologisch wirksamen Anteile des Lebensstandards in einem Land ermöglicht, und in diesem Zusammenhang Veränderungen des Ernährungszustands und des Gesundheitszustands einer Bevölkerung können nur eingeschätzt werden durch einen Vergleich von Ergebnissen aus wirklich miteinander vergleichbaren Stichproben.

Da die ostdeutsche Bevölkerung sich anthropometrisch insgesamt kaum von der westdeutschen unterscheidet, sondern die Unterschiede im Körperbau innerhalb der gesamten Bundesrepublik überwiegend aus einem anthropologischen Nord-Süd-Gefälle resultieren, das sowohl für die alten als auch für die neuen Bundesländer besteht, eignen sich anthropometrische Daten aus den neuen Bundesländern sowohl für industrieanthropologische als auch für entwicklungsanthropologische Analysen.

Aus industrieanthropologischer Sicht werden Perzentilwerte von Körpermaßen vor allem für das junge Erwachsenenalter benötigt. Deshalb werden in der vorliegenden Arbeit aktuelle Daten für die Altersgruppe 20 – 24 Jahre vorgelegt, die auf der Grundlage anthropometrischer Untersuchungen an jungen Erwachsenen aus dem Bundesland Brandenburg aus den Jahren 1997 – 2000 errechnet wurden. In diesem Alter haben sowohl Männer als auch Frauen individuell ihre größten Längenmaße erreicht. Eine Abnahme der Stamm- und Rumpflängen durch die altersbedingte Schrumpfung der Zwischenwirbelscheiben hat noch nicht eingesetzt. Die Längenproportionen des Körpers sind ausgereift. Das Breiten- und Tiefenwachstum geht jedoch weiter. Bis zur Altersgruppe 50 – 54 Jahre nehmen die Rumpfumfänge zu, einige Breitenmaße bis zur Altersgruppe 55 – 60 Jahre (Greil 1988).

Datengrundlage und Methode

Stichprobencharakteristik

Repräsentative Körpermessungen mit einem Maßspektrum von mehr als 50 verschiedenen Körpermaßen sind auch nach dem Querschnittverfahren sehr kostenaufwendig. Bereits bei der Stichprobenauswahl muss beachtet werden, dass die untersuchten Personen in ihrer Häufigkeit etwa anteilmäßig an der Gesamtbevölkerung vertreten sind. Das gilt vordringlich für die Alterszusammensetzung der Stichprobe. Zusätzlich zur Altersbalance sollte eine repräsentative Stichprobe auch nach ihren Anteilen an der Stadt- und Landbevölkerung und nach groben Berufsklassen etwa anteilmäßig an der Gesamtbevölkerung, auf die Bezug genommen wird, geschichtet sein. In dieser Weise nicht nur vom Gesamtumfang her, sondern auch hinsichtlich ihrer Schichtung repräsentative Stichproben, bei denen dieselben Körpermaße an jeder einzelnen Person gemessen wurden, sind in Deutschland für Männer und besonders für Frauen sehr selten. Beispiele sind die anthropologische Querschnittstudie für ostdeutsche Erwachsene im Alter von 18 – 65 Jahren aus den Jahren 1982 – 1984 (Greil 1988) und die Altersgruppe 20 – 25 Jahre der 1988 – 1989 untersuchten Stichprobe an überwiegend jungen Soldaten aus den alten Bundesländern (Küchmeister et al. 1990). Im vorliegenden Beitrag wird vor allem auf die ostdeutsche Studie Bezug genommen. Die Messdaten der Personen dieser Stichprobe können hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit für die achtziger Jahre als Normwerte für die gesamte deutsche Bevölkerung gelten. Vergleichende Untersuchungen zwischen den Körpermaßdaten junger Männer aus den alten Bundesländern (Küchmeister et al. 1990) und aus den neuen Bundesländern (Greil 1988) haben ergeben, dass es zwar nach wie vor territoriale Unterschiede im Körperbau gibt – im Nordwesten Deutschlands sind die Menschen im Mittel größer als im Südosten – dass aber bei einem Vergleich von Messdaten aus allen Deutschen Bundesländern die anthropometrischen Unterschiede zwischen Einwohnern der alten und der neuen Bundesländer nur gering sind. Sie betragen im oben angeführten Stichprobenvergleich beispielsweise bei jungen Männern 7 mm für die Körperhöhe. Damit liegen die Unterschiede im Körperbau zwischen der Bevölkerung der westlichen und der östlichen Bundesländer etwa in einer Größenordnung, die innerhalb der beiden Landesteile den anthropometrischen Unterschieden zwischen den etwas stärker akzelerierten Großstädtern und der Landbevölkerung entspricht. Anthropometrische Daten aus der Osthälfte Deutschlands haben in der Westhälfte der Bundesrepublik sogar eine bessere Gültigkeit als es jeweils im Osten oder Westen Daten aus dem Nordteil im Südteil des Landes haben. Geographisch bedeutet dies: Daten aus Schleswig – Holstein treffen für die Bevölkerung Mecklenburg – Vorpommerns besser zu, als für die Bevölkerung Baden – Württembergs.

Den hier publizierten Daten liegen Messungen von 100 Körpermaßen an 447 Männern und 425 Frauen im Alter zwischen dem 20. und dem 25. Geburtstag (Altersgruppe 20 – 24 Jahre) aus dem Gesamtgebiet der ehemaligen DDR aus den Jahren 1982 – 1984 zu Grunde. In die Untersuchungen einbezogen wurden nur gesunde (arbeitsfähige) Männer und Frauen, die etwa anteilmäßig an der Bevölkerung sowohl in Großstädten, als auch in Klein- und Mittelstädten und in ländlichen Gemeinden wohnten (Greil 1988). Zusätzlich werden individuelle Körpermesswerte von 452 Männern und 434 Frauen derselben Altersgruppe verrechnet, die in den Jahren 1997 – 2000 im Bundesland Brandenburg von der Arbeitsgruppe Humanbiologie der Universität Potsdam anthropometrisch untersucht wurden. Die Messprogramme beider hier verwendeten Stichproben waren sehr unterschiedlich, da die Körpermessungen verschiedene Ziele verfolgten. Im folgenden Abschnitt wird

beschrieben, in welcher Weise die älteren und die aktuellen Körpermessdaten statistisch behandelt wurden, um eine bestmögliche Aussagefähigkeit für alle in der älteren Studie gemessenen Körpermaße auf einem zeitlichen Niveau von 1997/2000 zu erreichen.

Untersuchungsmethoden

Anthropometrische Daten mit dem Anspruch der Wissenschaftlichkeit werden nach international anerkannten Messvorschriften bestimmt. Diese wurden ursprünglich von Rudolf Martin mit dem Ziel formuliert, Wachstumsprozesse metrisch verfolgen zu können (Martin 1924). Es bleibt Martins Verdienst, Messstrecken und Messmethoden nach einem einheitlichen Prinzip so eindeutig formuliert zu haben, dass seine Untersuchungsmethoden bis heute nachvollziehbar sind. Nur durch eine gewissenhafte Beachtung der Martinschen Richtlinien wird bei anthropometrischen Untersuchungen gewährleistet, dass Messergebnisse aus verschiedenen Stichproben miteinander vergleichbar sind. Auch die Nutzer anthropometrischer Daten – seien es Mediziner, Biologen oder Konstrukteure – müssen aus den Messstreckendefinitionen für jedes Körpermaß zweifelsfrei erkennen können, was genau gemessen wurde.

In der Nachfolge von Martin wurden seine Richtlinien um zahlreiche weitere Messstrecken erweitert, die nach denselben Prinzipien definiert wurden und deren Definitionen Eingang in die Fachliteratur fanden. Im Laufe der Zeit entwickelten sich bei Körpermessungen an lebenden Personen zwei anthropometrische Richtungen, die häufig medizinisch orientierte Wachstumsanthropologie und die Industrieanthropologie. Auf dem neuesten Stand sind die streng den Martinschen Prinzipien folgenden Richtlinien des Anthropologischen Atlas (Flügel et al. 1986) und des Handbuchs der vergleichenden Biologie des Menschen (Knußmann 1988) sowie die etwas vereinfachten Messvorschriften des Handbuchs der Ergonomie, in denen allerdings kaum auf definierte Messpunkte Bezug genommen wird (Jürgens 2000). Falls in der vorliegenden Arbeit die Messmethodik mit der im Handbuch der Ergonomie beschriebenen Methodik übereinstimmt und damit die Perzentilwerte bei den Publikationen miteinander verglichen werden können, ist in Tab. 1 die diesem Körpermaß entsprechende Maßnummer des Handbuchs der Ergonomie am Ende der Messstreckendefinition angeführt. Die hier publizierten Daten sind sämtlich unter Beachtung Martinschen Prinzipien von wenigen anthropologisch umfassend ausgebildeten Wissenschaftlerinnen erhoben worden. Die Martinschen Prinzipien gehen davon aus, dass Körpermaße als vorzugsweise vertikale oder horizontale Distanzen zwischen der Standfläche (*Basis = B*), der Sitzfläche (*Basis Sedens = BS*) oder einer vertikalen körperunterstützenden Fläche im Stehen (*Basis Dorsalis = BD*) oder im Sitzen (*Basis Dorsalis Sedens = BDS*) und einem genau definierten Messpunkt am Körper, als Distanzen zwischen zwei Messpunkten am Körper oder als Umfänge in Höhe eines Messpunktes am Körper bestimmt werden. Damit gewinnt die eindeutige Definition der Messpunkte eine hervorragende Bedeutung.

Messpunkte sind vorzugsweise markante, von wenig Weichteilen bedeckte Knochenpunkte, die am lebenden Menschen eindeutig ertastet werden können, weil hier lediglich die Sehnen von Muskeln entspringen oder ansetzen und der Knochen nicht durch die Muskulatur selbst bedeckt ist. Zusätzlich gibt es Messpunkte, die sich auf charakteristische Einbuchtungen oder Vorwölbungen von Muskulatur oder Unterhautfettgewebe beziehen. Nach dem Martinschen Prinzip werden alle Messpunkte nach einer speziellen, in der Regel international gültigen, anthropologischen Nomenklatur bezeichnet. Ihnen werden ebenfalls international gültige Kurzbezeichnungen zugeordnet. Durch sie ist es Fachleuten möglich, sich auch über Sprachbarrieren hinweg zweifelsfrei zu verständigen. Die Lage und Bezeichnung der zur Definition der in der vorliegenden Arbeit verwendeten Messstrecken erforderlichen Bezugsebenen und Messpunkte kann aus den Schemazeichnungen in Abb. 1 – 3 entnommen werden. Die Schreibweise der Messpunkte folgt Knußmann (1988).

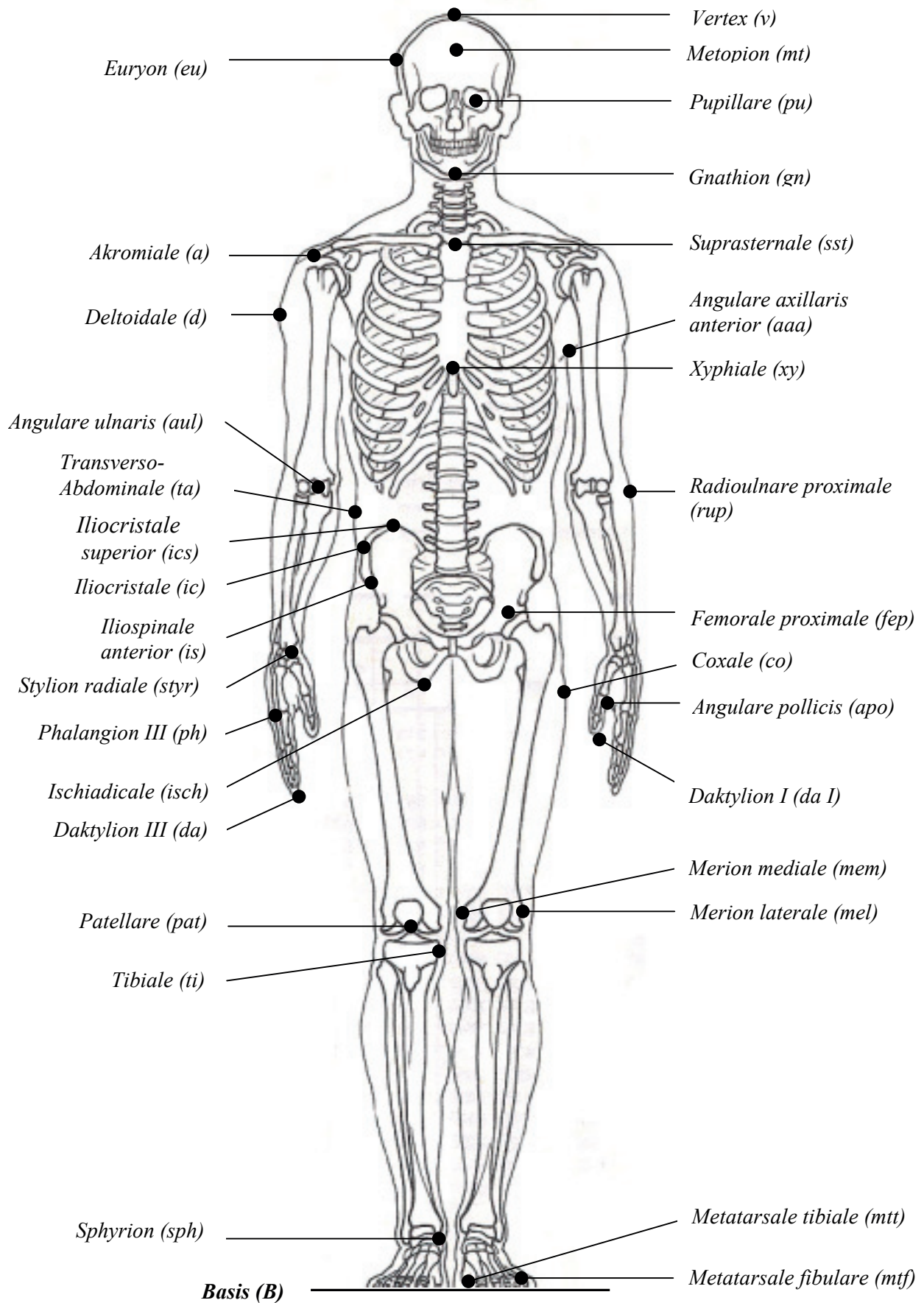


Abb. 1: anthropometrische Messpunkte in der Vorderansicht (Frontalansicht) des Körpers

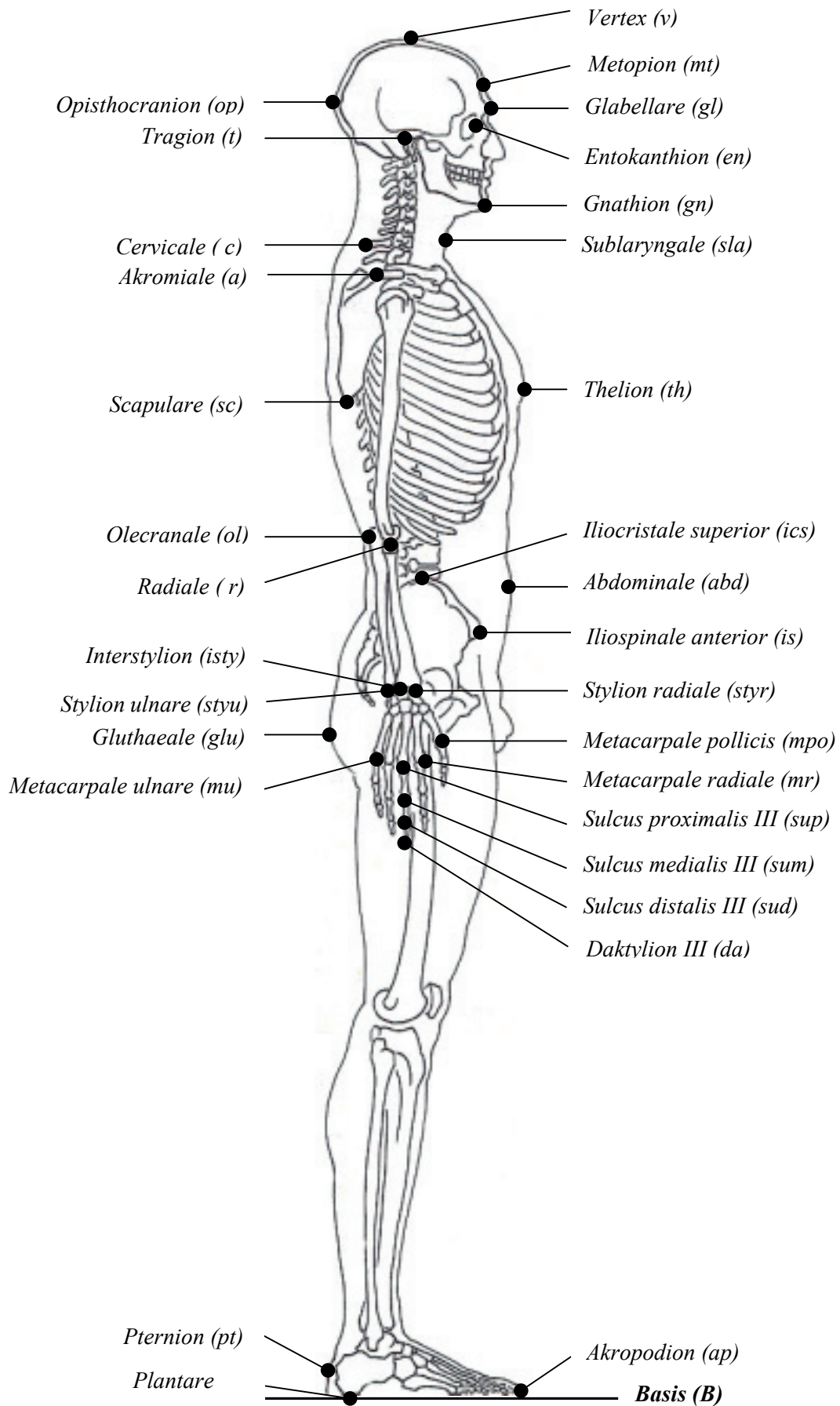


Abb. 2: anthropometrische Messpunkte in der Seitenansicht (Lateralansicht) des Körpers

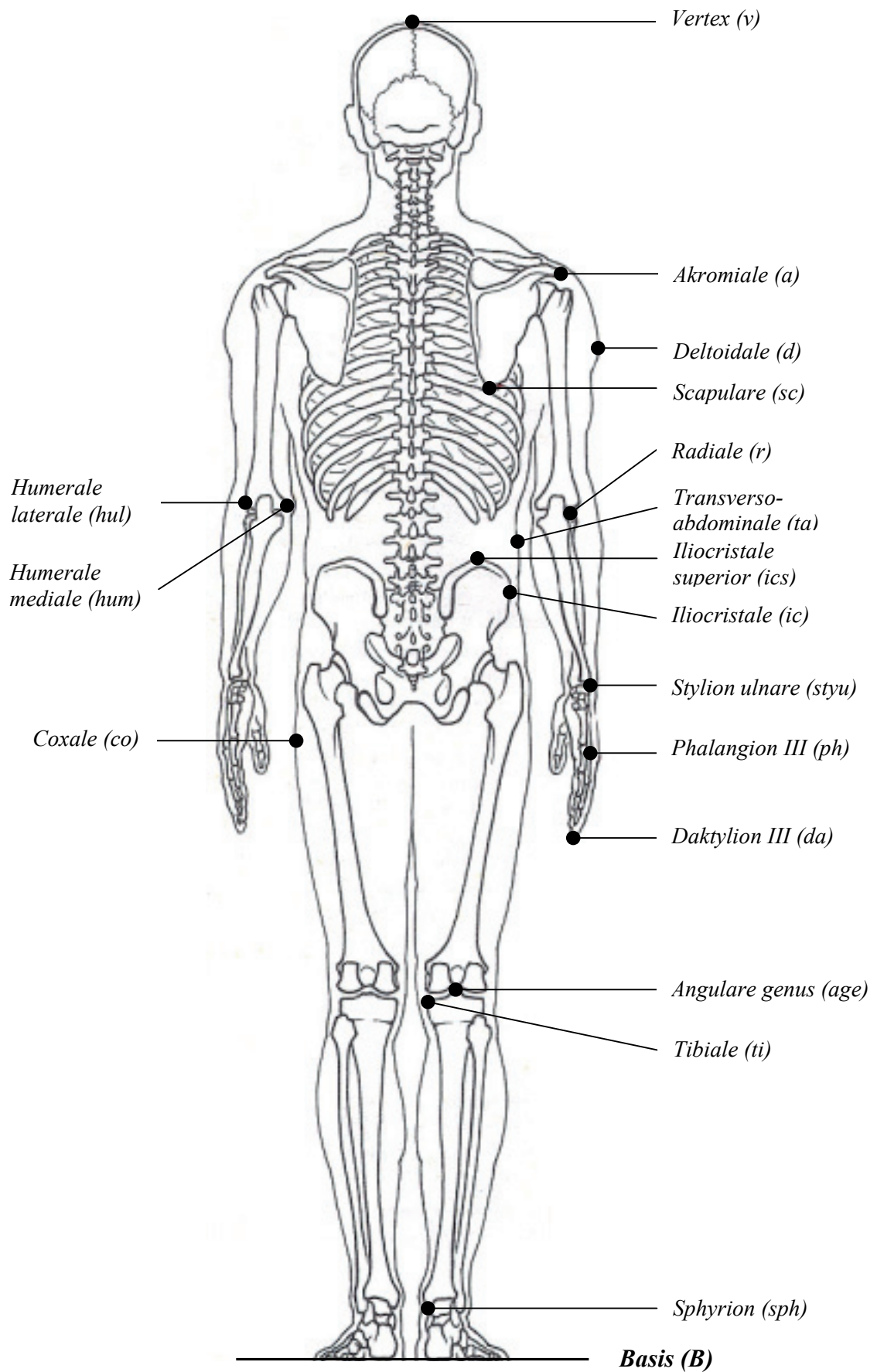


Abb. 3: anthropometrische Messpunkte in der Rückansicht (Dorsalansicht) des Körpers

In Tab. 1 sind die Messstreckenbezeichnungen und Messstreckendefinitionen der untersuchten Körpermaße in alphabetischer Reihenfolge zusammengestellt. Auf diese Weise ist eindeutig nachvollziehbar, um welches Körpermaß es sich jeweils handelt. Durch diese Vorgehensweise sollen Missverständnisse bei der Nutzung der im Ergebnisteil publizierten Perzentilwerte (Tab. 2 – 9) vermieden werden. Die in Tab. 1 verwendeten Kurzbezeichnungen der Messstrecken dienen außerdem in Abb. 4 – 7 dazu, einen Gesamtüberblick über die grobe Lokalisierung der untersuchten Messstrecken am Körper und deren Perzentilwerte zu vermitteln.

Tab. 1-1: Kurzbezeichnungen und Definitionen der untersuchten Körpermaße

Messstreckendefinitionen

Kurzbez.	Messstreckendefinitionen in alphabetischer Folge der Kurzbezeichnung
ala	<u>Additive Armlänge</u> : Additionsmaß: Summe aus Oberarmlänge (oal), Unterarmlänge (ual) und Handlänge (hdl) (<i>a-da</i>)
alf	<u>Funktionelle Armlänge</u> : geradlinige Entfernung von der rechten Achselhöhle (<i>Angulare axillaris anterior</i>) zu dem am weitesten distal (rumpffern) befindlichen Punkt der rechten Mittelfingerspitze (<i>Daktylion III</i>) bei gestreckter Hand (<i>aaa-da</i>)
alp	<u>Projektivische Armlänge</u> : Differenzmaß: akromiale Schulterhöhe (sha) - Reichweite nach unten (rwu) (<i>a-da</i>)
auh	<u>Augenhöhe</u> : vertikale Entfernung von der Standfläche (<i>Basis</i>) zum inneren Augenwinkel (<i>Entokanthion</i>) des rechten Auges (<i>B-en</i>) [B 1.2.2]
auhs	<u>Augenhöhe im Sitzen</u> : vertikale Entfernung von der Sitzfläche (<i>Basis sedens</i>) zum inneren Augenwinkel (<i>Entokanthion</i>) des rechten Auges (<i>BS-en</i>) [B 1.2.32]
bbh	<u>Obere Brustbeinhöhe</u> : vertikale Entfernung von der Standfläche (<i>Basis</i>) zum tiefsten Punkt des hinteren oberen Brustbeinrandes in der Medianebene (Symmetrieebene des Körpers) (<i>Suprasternale</i>) (<i>B-sst</i>) [B 1.2.6]
beb	<u>Bikristale Beckenbreite</u> : geradlinige Entfernung zwischen den beiden am weitesten seitlich vorspringenden Punkten am Außenrand der Oberkante des Darmbeinkamms (<i>Iliocristalia</i>) (<i>ic-ic</i>) [B 1.2.28]
beh	<u>Beckenkammhöhe</u> : vertikale Entfernung von der Standfläche (<i>Basis</i>) zum höchsten Punkt des rechten Darmbeinkamms (<i>Iliocristale superior</i>) (<i>B-ics</i>) [B 1.2.9]
behs	<u>Beckenkammhöhe im Sitzen</u> : vertikale Entfernung von der Sitzfläche (<i>Basis Sedens</i>) zum höchsten Punkt des rechten Darmbeinkamms (<i>Iliocristale superior</i>) (<i>BS-ics</i>) [B 1.2.37]
bkb	<u>Brustkorbbreite</u> : horizontale Entfernung zwischen den beiden am weitesten lateral (seitlich) ausladenden Rippenpunkten in einer Frontalebene in Höhe des unteren knöchernen Brustbeinrandes (<i>Xyphiale</i>) (<i>- xy -</i>) [B 1.2.26]
bkt	<u>Brustkorbtiefe</u> : geradlinige Entfernung vom Unterrand des knöchernen Brustbeins (<i>Xyphiale</i>) zu dem am weitesten dorsal (nach hinten) vorragenden Punkt der Dornfortsatzspitze des in derselben Horizontalebene gelegenen Brustwirbels (<i>- xy -</i>) [B 1.2.18]
bku	<u>Brustkorbumfang</u> : horizontaler Umfang um den Rumpf in Höhe des unteren knöchernen Brustbeinrandes (<i>Xyphiale</i>) (<i>- xy -</i>)
blm	<u>Morphologische Beinlänge</u> : Rechenmaß: Darmbeinstachelhöhe (<i>dbh</i>) - körperhöhenabhängiger Faktor (<i>B-fep</i>)
blp	<u>Projektivische Beinlänge</u> : Differenzmaß: Körperhöhe (kph) - Stammlänge (stl) (<i>B-isch</i>)

Tab. 1-2: Kurzbezeichnungen und Definitionen der untersuchten Körpermaße

Kurzbez.	Messstreckendefinitionen in alphabetischer Folge der Kurzbezeichnung
buh	<u>Horizontaler Brustumfang</u> : horizontaler Umfang um den Rumpf in Höhe der Brustwarzen (bei Kindern und Männern) oder in Höhe der stärksten Vorwölbung der Brustdrüsen nach vorn (bei Frauen) (<i>Thelion</i>) (- <i>th</i> -) [B 1.2.78]
dbh	<u>Darmbeinstachelhöhe</u> : vertikale Entfernung von der Standfläche (<i>Basis</i>) zum tiefsten Punkt des rechten vorderen oberen Darmbeinstachels (<i>Iliospinale anterior</i>) (<i>B-is</i>)
dlf	<u>Funktionelle Daumenlänge</u> : geradlinige Entfernung vom Grund des rechten Daumens (<i>Angulare pollicis</i>) zu dem am weitesten distal (rumpffern) befindlichen Punkt der Daumenspitze (<i>Daktylion I</i>) bei gestrecktem Daumen (<i>apo-da I</i>)
ebb	<u>Ellenbogenbreite</u> : geradlinige Entfernung zwischen den beiden am weitesten auseinanderliegenden Punkten der Epikondylen (Gelenkknorren) des rechten Oberarmknochens (<i>Humeralia</i>) (<i>hum-hul</i>)
ebeb	<u>Ellenbogen-Ellenbogen-Breite</u> : Querdurchmesser durch den Rumpf einschließlich der Oberarme: größte horizontale Entfernung zwischen den am weitesten seitlich vorragenden Punkten des rechten und des linken Ellenbogens (<i>Humeralia laterales</i>) (<i>hul-hul</i>) [B 1.2.27]
ebh	<u>Ellenbogenhöhe</u> : vertikale Entfernung von der Standfläche (<i>Basis</i>) zum tiefsten Punkt des rechtwinklig gebeugten rechten Ellenbogens (<i>Olecranale</i>) (<i>B-ol</i>) [B 1.2.8]
ebhs	<u>Ellenbogenhöhe im Sitzen</u> : vertikale Entfernung von der Sitzfläche (<i>Basis Sedens</i>) zum tiefsten Punkt des rechtwinklig gebeugten rechten Ellenbogens (<i>Olecranale</i>) (<i>BS-ol</i>) [B 1.2.36]
fbp	<u>Projektivische Fußbreite</u> : rechtwinklig zur Fußlängsachse gemessene projektivische Entfernung zwischen dem am weitesten medial (zur Körpermitte) vorragenden Punkt des 1. Mittelfußknochens im Bereich des Großzehengrundgelenks (<i>Metatarsale tibiale</i>) des belasteten rechten Fußes und dem am weitesten lateral (seitlich) vorragenden Punkt des 5. Mittelfußknochens im Bereich des Kleinzehengrundgelenks (<i>Metatarsale fibulare</i>) (<i>mtt-mtf</i>) B [1.2.75]
fh	<u>Fußhöhe</u> : vertikale Entfernung von der Standfläche (<i>Basis</i>) zu dem am weitesten distal (rumpffern) vorragenden Punkt des medialen (zur Körpermitte weisenden) Fußknöchels (<i>Sphyrion</i>) des rechten Fußes (<i>B-sph</i>) [B 1.2.15b]
fl	<u>Fußlänge</u> : geradlinige Entfernung von dem am weitesten nach hinten vorspringenden Punkt der rechten Ferse (<i>Pternion</i>) zu demjenigen Punkt der 1. oder 2. Zehe, der bei belastetem Fuß am weitesten vorsteht (<i>Akropodion</i>) (<i>pt-ap</i>)
frw	<u>Fußreichweite</u> : von der Rückenlehne (<i>Basis Dorsalis Sedens</i>) gemessene horizontale Entfernung von dem am weitesten dorsal (nach hinten) vorragenden Punkt im Bereich des Gesäßes (<i>Gluthaeale</i>) zu dem am weitesten distal (rumpffern) vorragenden Punkt im Bereich der rechten Ferse (<i>Plantare</i>) bei gestrecktem rechtem Bein und rechtwinklig gebeugtem Fuß (<i>glu-pl</i>) [B 1.2.53]
gdhd	<u>Greifdurchmesser der Hand</u> : Innendurchmesser eines aus Zeigefinger und Daumen der rechten Hand gebildeten Ringes, der beim Umfassen eines Messkonus entsteht, wenn die Daumenkuppe gerade noch die Zeigefingerkuppe berührt [B 1.2.67a]
gkkl	<u>Gesäß-Kniekehlen-Länge</u> : von der Rückenlehne (<i>Basis Dorsalis Sedens</i>) gemessene horizontale Entfernung des am weitesten dorsal (nach hinten) vorragenden Punktes im Bereich des Gesäßes (<i>Gluthaeale</i>) zur rechten Kniekehle (<i>Angulare genus</i>). Das Maß entspricht der Sitztiefe (<i>BDS-age</i>) [B 1.2.44]

Tab. 1-3: Kurzbezeichnungen und Definitionen der untersuchten Körpermaße

Kurzbez.	Messstreckendefinitionen in alphabetischer Folge der Kurzbezeichnung
gkl	<u>Gesäß-Knie-Länge</u> : von der Rückenlehne (<i>Basis Dorsalis Sedens</i>) gemessene horizontale Entfernung des am weitesten dorsal (nach hinten) vorragenden Punktes im Bereich des Gesäßes (<i>Gluthaeale</i>) zu dem am weitesten distal (rumpffern) vorragenden Punkt des rechten Knies am Unterrand der Kniescheibe (<i>Patellare</i>) (<i>BDS-pat</i>) [B 1.2.43]
gwob	<u>Bequeme Greifweite nach oben</u> : vertikale Entfernung von der Standfläche (<i>Basis</i>) zu dem am weitesten distal (rumpffern) befindlichen Punkt des proximalen (rumpfnahen) Endes des rechten Mittelfingergrundgliedes (<i>Phalangion III</i>) bei zur Faust geschlossener Hand, gestrecktem Körper und locker nach oben gestrecktem rechtem Arm (<i>B-ph</i>)
gwog	<u>Gestreckte Greifweite nach oben</u> : vertikale Entfernung von der Standfläche (<i>Basis</i>) zu dem am weitesten distal (rumpffern) befindlichen Punkt des proximalen (rumpfnahen) Endes des rechten Mittelfingergrundgliedes (<i>Phalangion III</i>) bei zur Faust geschlossener Hand und straffer Streckung von Körper und rechtem Arm nach oben (<i>B-ph</i>)
gwom	<u>Maximale Greifweite nach oben</u> : vertikale Entfernung von der Standfläche (<i>Basis</i>) zu dem am weitesten distal (rumpffern) befindlichen Punkt des proximalen (rumpfnahen) Endes des rechten Mittelfingergrundgliedes (<i>Phalangion III</i>) bei zur Faust geschlossener Hand, maximal nach oben gestrecktem Körper und rechtem Arm und im Zehenstand (<i>B-ph</i>)
gwos	<u>Greifweite nach oben im Sitzen</u> : vertikale Entfernung von der Sitzfläche (<i>Basis Sedens</i>) zu dem am weitesten distal (rumpffern) befindlichen Punkt des proximalen (rumpfnahen) Endes des rechten Mittelfingergrundgliedes (<i>Phalangion III</i>) bei zur Faust geschlossener Hand, gestrecktem Körper und locker nach oben gestrecktem rechtem Arm (<i>BS-ph</i>)
gwu	<u>Greifweite nach unten</u> : vertikale Entfernung von der Standfläche (<i>Basis</i>) zum distalsten (rumpffernsten) Punkt des proximalen (rumpfnahen) Endes des rechten Mittelfingergrundgliedes (<i>Phalangion III</i>) bei locker nach unten gestrecktem rechtem Arm und zur Faust geschlossener Hand (<i>B-ph</i>)
gww	<u>Greifweite nach vorn</u> : horizontale Entfernung von einer Wand, an die sich die Person mit den Fersen, dem Gesäß und beiden Schulterblättern anlehnt (<i>Basis Dorsalis</i>), zu dem am weitesten distal (rumpffern) befindlichen Punkt des proximalen (rumpfnahen) Endes des rechten Mittelfingergrundgliedes (<i>Phalangion III</i>) bei zur Faust geschlossener Hand und horizontal nach vorn gestrecktem rechtem Arm (<i>BD-ph</i>)
hdb	<u>Direkte Handbreite</u> : an der rechten Hand gemessene geradlinige Entfernung von dem am weitesten lateral (seitlich) vorragenden Punkt des Mittelhandknochens II im Bereich des Zeigefingergrundgelenks (<i>Metacarpale radiale</i>) zu dem am weitesten lateral (seitlich) vorragenden Punkt des Mittelhandknochens V im Bereich des Kleinfingergrundgelenks (<i>Metacarpale ulnare</i>) der straff gestreckten rechten Hand (<i>mr-mu</i>) [B 1.2.639]
hdbd	<u>Handbreite mit Daumen</u> : rechtwinklig zur Handlängsachse gemessene projektivische Entfernung zwischen dem am weitesten lateral (seitlich) vorragenden Punkt des Mittelhandknochens I im Bereich des Daumengrundgelenks (<i>Metacarpale pollicis</i>) und dem am weitesten lateral (seitlich) vorragenden Punkt des Mittelhandknochens V im Bereich des Kleinfingergrundgelenks (<i>Metacarpale ulnare</i>) der rechten Hand (<i>mpo-mu</i>)

Tab. 1-4: Kurzbezeichnungen und Definitionen der untersuchten Körpermaße

Kurzbez.	Messstreckendefinitionen in alphabetischer Folge der Kurzbezeichnung
hdl	<u>Handlänge</u> : geradlinige Entfernung vom Mittelpunkt einer Verbindungslinie dorsal (auf dem Handrücken) zwischen den distalen (rumpffernen) Punkten der beiden Handgelenkknöchel (<i>Interstylion</i>) zu dem am weitesten distal (rumpffern) befindlichen Punkt der rechten Mittelfingerspitze (<i>Daktylion III</i>) der gestreckten rechten Hand (<i>isty-da</i>)
hdu	<u>Handumfang</u> : Umfang um die gestreckte rechte Hand im Bereich der weitesten Ausladung der Mittelhandknochen im Zeigefinger- und Kleinfingergrundgelenk (<i>Metacarpale radiale, Metacarpale ulnare</i>) (- <i>mr-mu</i> -) [B 1.2.65a]
hdud	<u>Handumfang mit Daumen</u> : Umfang um die gestreckte rechte Hand im Bereich der weitesten Ausladung des Daumengrundgelenks (<i>Metacarpale pollicis</i>) (- <i>mpo</i> -)
hfh	<u>Hautfaltendicke Hüfte</u> : Durchmesser am Grund einer Falte aus Haut und Unterhautfettgewebe, die mit Daumen und Zeigefinger im Verlauf des rechten Darmbeinkamms abgegriffen wird. Maß zur Bestimmung des Gesamtkörperfettanteils
hfr	<u>Hautfaltendicke Rücken</u> : Durchmesser am Grund einer Falte aus Haut und Unterhautfettgewebe, die mit Daumen und Zeigefinger direkt unterhalb der rechten Schulterblattspitze abgegriffen wird. Maß zur Bestimmung des Gesamtkörperfettanteils
hft	<u>Hautfaltendicke Trizeps</u> : Durchmesser am Grund einer Falte aus Haut und Unterhautfettgewebe, die mit Daumen und Zeigefinger an der Rückseite des rechten Oberarms vertikal abgegriffen wird. Maß zur Bestimmung des Gesamtkörperfettanteils
hsl	<u>Vordere Halslänge</u> : Differenzmaß: Kinnhöhe (kih) - Obere Brustbeinhöhe (bbh) (<i>sst-gn</i>)
hsu	<u>Halsumfang</u> : senkrecht zur Halsachse verlaufender Umfang um den Hals direkt unterhalb des Kehlkopfes (<i>Sublaryngale</i>) (- <i>sla</i> -) [B 1.2.77]
hueb	<u>Größte Hüftbreite</u> : größte horizontale Entfernung zwischen den beiden am weitesten lateral (seitlich) befindlichen Punkten im Hüftbereich (<i>Coxalia</i>) (- <i>co</i> -) [B 1.2.29]
hueu	<u>Größter Hüftumfang</u> : horizontaler Umfang um den Rumpf in Höhe der stärksten Wölbung des Gesäßes nach hinten (<i>Gluthaeale</i>) (- <i>glu</i> -) [B 1.2.80b]
hwh	<u>Halswirbelhöhe</u> : vertikale Entfernung von der Standfläche (<i>Basis</i>) zu dem am weitesten dorsal (nach hinten) vorspringenden Punkt der Dornfortsatzspitze des 7. Halswirbels (<i>Cervicale</i>) (<i>B-c</i>)
kb	<u>Kniebreite</u> : geradlinige Entfernung zwischen den beiden am weitesten auseinanderliegenden Punkten der Epikondylen (Gelenkknorren) des rechten Oberschenkelknochens (<i>Merion mediale, Merion laterale</i>) bei gebeugtem Knie (<i>mem-mel</i>)
kgh	<u>Kniegelenkhöhe</u> : vertikale Entfernung von der Standfläche (<i>Basis</i>) zu dem am weitesten proximal (rumpfnah) gelegenen Punkt der Medianseite (Innenseite) des rechten Schienbeins (<i>Tibiale</i>) (<i>B-ti</i>)
kih	<u>Kinnhöhe</u> : vertikale Entfernung von der Standfläche (<i>Basis</i>) zur unteren vorderen Kinnschuppe (<i>Gnathion</i>) (<i>B-gn</i>)
km	<u>Körpermasse</u> : Gewicht des unbedeckten Körpers
knh	<u>Kniehöhe</u> : im Sitzen gemessene vertikale Entfernung von der Standfläche (<i>Basis</i>) zum höchsten Punkt an der Oberseite des rechtwinklig zum Unterschenkel gehaltenen rechten Oberschenkels im Bereich der Epikondylen (Gelenkknorren) des Oberschenkels direkt hinter dem Oberrand der Kniescheibe [B 1.2.40]

Tab. 1-5: Kurzbezeichnungen und Definitionen der untersuchten Körpermaße

Kurzbez.	Messstreckendefinitionen in alphabetischer Folge der Kurzbezeichnung
kob	<u>Kopfbreite</u> : größte horizontale Breite des Kopfes in einer senkrecht zur Medianebene (Symmetrieebene des Körpers) liegende Frontalebene, das heißt geradlinige Entfernung der beiden an der Seitenwand des Kopfes in einer Frontalebene am meisten lateral (seitlich) vorragenden Punkte (<i>Eurya</i>) voneinander (<i>eu-eu</i>) [B 1.2.57b]
kobo	<u>Transversaler Kopfbogen</u> : Bogen von einem Ohrpunkt (<i>Tragion</i>) zum anderen über den Scheitel des Kopfes gemessen (- <i>t-t</i> -) [B 1.2.60a]
koh	<u>Ganze Kopfhöhe</u> : projektivische vertikale Entfernung vom höchsten Punkt des Scheitels in der Medianebene (Symmetrieebene des Körpers) (<i>Vertex</i>) zu dem am weitesten nach vorn unten vorragenden Punkt am Unterrand des Unterkiefers in der Medianebene (<i>Gnathion</i>) (<i>v-gn</i>) [B 1.2.54a]
kol	<u>Größte Kopflänge</u> : geradlinige Entfernung von dem in der Medianebene (Symmetrieebene des Körpers) am weitesten vorspringenden Punkt der im unteren Teil der Stirn gelegenen Erhebung zwischen den härenen Augenbrauen (<i>Glabellare</i>) zu dem am weitesten dorsal (nach hinten) vorragenden Punkt des Hinterhauptes in der Medianebene (<i>Opisthocranion</i>) (<i>g-op</i>) [B 1.2.56a]
kou	<u>Kopfumfang</u> : Umfang um den Kopf in Höhe der stärksten dorsalen (hinteren) Ausladung des Hinterhauptes (<i>Opisthocranion</i>) und einem zwischen der stärksten Vorwölbung der beiden Stirnhöcker gelegenen Punkt in der Stirnmitte (<i>Metopion</i>) (- <i>op-mt</i> -) [B 1.2.59a]
kph	<u>Körperhöhe</u> : vertikale Entfernung von der Standfläche (<i>Basis</i>) zum höchsten Punkt des Kopfes in der Medianebene (Symmetrieebene des Körpers) (<i>Vertex</i>) (<i>b-v</i>) [B1.2.1]
ksb	<u>Größte Körpersitzbreite</u> : größte horizontale Entfernung zwischen den am weitesten lateral (seitlich) ausladenden Punkten im Bereich der Oberschenkel und der Hüfte (<i>Coxalia</i>) (- <i>cox</i> -) [B 1.2.45]
mfel	<u>Mittelfingerendgliedlänge</u> : an der Palmarseite (Handtellerseite) gemessene geradlinige Entfernung von der proximalen (rumpfnahen) Beugefurche des rechten Mittelfingerendgelenks (<i>Sulcus distalis III</i>) zu dem am weitesten distal (rumpffern) vorgewölbten Punkt der rechten Mittelfingerspitze (<i>Daktylion III</i>) bei gestreckter Hand (<i>sud-da</i>)
mfgl	<u>Mittelfingergrundgliedlänge</u> : an der Palmarseite (Handtellerseite) gemessene geradlinige Entfernung von der proximalen (rumpfnahen) Beugefurche des rechten Mittelfingergrundgelenks (<i>Sulcus proximalis III</i>) zu der proximalen (rumpfnahen) Beugefurche des Mittelfingermittelgelenks (<i>Sulcus medialis III</i>) bei gestreckter Hand (<i>sup-sum</i>)
mfl	<u>Mittelfingerlänge</u> : geradlinige Entfernung von der proximalen (rumpfnahen) Beugefurche des rechten Mittelfingergrundgelenks (<i>Sulcus proximalis III</i>) zu dem am weitesten distal (rumpffern) vorgewölbten Punkt der rechten Mittelfingerspitze (<i>Daktylion III</i>) bei gestreckter Hand (<i>sup-da</i>) [B 1.2.69]
mfml	<u>Mittelfingermittelgliedlänge</u> : an der Palmarseite (Handtellerseite) gemessene geradlinige Entfernung von der medialen Beugefurche des rechten Mittelfingergrundgelenks (<i>Sulcus medialis III</i>) zur proximalen Beugefurche des rechten Mittelfingerendgelenks (<i>Sulcus distalis III</i>) (<i>sum-sud</i>)

Tab. 1-6: Kurzbezeichnungen und Definitionen der untersuchten Körpermaße

Kurzbez.	Messstreckendefinitionen in alphabetischer Folge der Kurzbezeichnung
mhdd	<u>Distale Mittelhanddicke</u> : vertikale Entfernung von der Auflagefläche der gestreckten Hand zum höchsten Punkt des Handrückens im Bereich des Mittelfingergrundgelenks (<i>Phalangion III</i>) (<i>B-ph</i>)
nl	<u>Nackenlänge</u> : Differenzmaß: Ohrhöhe des Körpers (<i>oh</i>) - Halswirbelhöhe (<i>hwh</i>) (<i>c-t</i>)
oal	<u>Oberarmlänge</u> : geradlinige Entfernung von dem am weitesten lateral (seitlich) vorragenden Punkt der Schulterhöhe des rechten Schulterblatts (<i>Akromiale</i>) zu dem am weitesten proximal (rumpfnah) gelegenen Punkt des Speichenköpfchens (<i>Radiale</i>) (<i>a-r</i>)
oh	<u>Ohrhöhe des Körpers</u> : vertikale Entfernung von der Standfläche (<i>Basis</i>) zu demjenigen Punkt am vorderen Oberrand des rechten Ohrdeckelknorpels, an dem dieser in die Ohrbasis übergeht (<i>Tragion</i>) (<i>B-t</i>) [B 1.2.3]
ohko	<u>Ohrhöhe des Kopfes</u> : Differenzmaß: Körperhöhe (<i>kph</i>) - Ohrhöhe des Körpers (<i>oh</i>) (<i>v-t</i>) [B 1.2.55a]
okt	<u>Oberkörpertiefe</u> : horizontale Entfernung von einer Wand, an die sich die Person mit Fersen, Gesäß und Schulterblättern anlehnt (<i>Basis Dorsalis</i>) zu dem am weitesten ventral (nach vorn) vorspringenden Punkt der rechten Brustwarze bzw. Brust (<i>Thelion</i>) (<i>BD-th</i>) [B 1.2.19]
osd	<u>Oberschenkeldicke</u> : vertikale Entfernung von der Sitzfläche (<i>Basis Sedens</i>) zum höchsten Punkt der Oberfläche des rechten Oberschenkels [B 1.2.39]
oslm	<u>Morphologische Oberschenkellänge</u> : Differenzmaß: Morphologische Beinlänge (<i>blm</i>) - Kniegelenkhöhe (<i>kgh</i>) (<i>fep-ti</i>)
oslp	<u>Projektivische Oberschenkellänge</u> : Differenzmaß: Projektivische Beinlänge (<i>blp</i>) - Kniegelenkhöhe (<i>kgh</i>) (<i>isch-ti</i>)
pd	<u>Pupillardistanz</u> : geradlinige Entfernung der beiden Pupillenmittelpunkte (<i>Pupillaria</i>) voneinander (<i>pu-pu</i>) [B 1.2.58]
rl	<u>Rumpflänge</u> : vertikale Entfernung von der Sitzfläche (<i>Basis Sedens</i>) zu dem am weitesten dorsal (nach hinten) vorspringenden Punkt der Dornfortsatzspitze des 7. Halswirbels (<i>Cervicale</i>) (<i>BS-c</i>) [B 1.2.34]
rwob	<u>Bequeme Reichweite nach oben</u> : vertikale Entfernung von der Standfläche (<i>Basis</i>) zu dem am weitesten distal (rumpffern) befindlichen Punkt der rechten Mittelfingerspitze (<i>Daktylion III</i>) bei lockerer Streckung von rechtem Arm und rechter Hand nach oben (<i>B-da</i>)
rwog	<u>Gestreckte Reichweite nach oben</u> : vertikale Entfernung von der Standfläche (<i>Basis</i>) zu dem am weitesten distal (rumpffern) befindlichen Punkt der rechten Mittelfingerspitze (<i>Daktylion III</i>) bei straffer Streckung von rechtem Arm und rechter Hand nach oben (<i>B-da</i>)
rwom	<u>Maximale Reichweite nach oben</u> : vertikale Entfernung von der Standfläche (<i>Basis</i>) zu dem am weitesten distal (rumpffern) befindlichen Punkt der rechten Mittelfingerspitze (<i>Daktylion III</i>) bei maximaler Streckung von rechtem Arm und rechter Hand nach oben und Zehenstand (<i>B-da</i>)
rwos	<u>Reichweite nach oben im Sitzen</u> : vertikale Entfernung von der Sitzfläche (<i>Basis Sedens</i>) zu dem am weitesten distal (rumpffern) befindlichen Punkt der rechten Mittelfingerspitze (<i>Daktylion III</i>) bei lockerer Streckung von rechtem Arm und rechter Hand nach oben (<i>BS-da</i>)

Tab. 1-7: Kurzbezeichnungen und Definitionen der untersuchten Körpermaße

Kurzbez.	Messstreckendefinitionen in alphabetischer Folge der Kurzbezeichnung
rwu	<u>Reichweite nach unten</u> : vertikale Entfernung von der Standfläche (<i>Basis</i>) zu dem am weitesten distal (rumpffern) befindlichen Punkt der rechten Mittelfingerspitze (<i>Daktylion III</i>) bei Streckung von Arm und Hand nach unten (<i>B-da</i>) [B 1.2.14]
rwv	<u>Reichweite nach vorn</u> : horizontale Entfernung von einer Wand, an die sich die Person mit dem Gesäß und beiden Schulterblättern anlehnt (<i>Basis Dorsalis</i>), zu dem am weitesten distal (rumpffern) befindlichen Punkt der rechten Mittelfingerspitze (<i>Daktylion III</i>) bei horizontaler Streckung des rechten Arms und der Hand nach vorn (<i>BD-da</i>) [B 1.2.49]
sba	<u>Biakromiale Schulterbreite</u> : geradlinige Entfernung der am weitesten lateral (seitlich) vorragenden Punkte der Schulterhöhe des rechten und des linken Schulterblatts (<i>Akromialia</i>) voneinander (<i>a-a</i>) [B 1.2.24]
sbd	<u>Bideltoidale Schulterbreite</u> : horizontale Entfernung zwischen den beiden am weitesten lateral (seitlich) vorgewölbten Punkten der die seitliche Schulterkontur formenden Deltamuskeln (<i>Deltoidalia</i>) (<i>d-d</i>) [B 1.2.23]
sblhs	<u>Schulterblatthöhe im Sitzen</u> : vertikale Entfernung von der Sitzfläche (<i>Basis Sedens</i>) zum tiefsten Punkt des rechten unteren Schulterblattwinkels (<i>Scapulare</i>) (<i>BS-sc</i>)
sha	<u>Akromiale Schulterhöhe</u> : vertikale Entfernung von der Standfläche (<i>Basis</i>) zu dem am weitesten lateral (seitlich) vorragenden Punkt der Schulterhöhe des rechten Schulterblatts (<i>Akromiale</i>) (<i>B-a</i>) [B 1.2.5]
shas	<u>Akromiale Schulterhöhe im Sitzen</u> : vertikale Entfernung von der Sitzfläche (<i>Basis Sedens</i>) zu dem am weitesten lateral (seitlich) vorragenden Punkt der Schulterhöhe des rechten Schulterblatts (<i>Akromiale</i>) (<i>BS-a</i>) [B 1.2.35]
spwa	<u>Spannweite der Arme</u> : maximale horizontale Entfernung zwischen den beiden am weitesten distal (rumpffern) befindlichen Punkten der Mittelfingerspitzen (<i>Daktylia III</i>) voneinander bei maximal seitwärts gestreckten Armen und Händen (<i>da-da</i>)
spwo	<u>Spannweite der Oberarme</u> : maximale horizontale Entfernung der beiden Ellenbogenscheitelpunkte (<i>Olecranalia</i>) voneinander bei seitwärts gestreckten Oberarmen und gebeugten Unterarmen (<i>ol-ol</i>)
sth	<u>Stirnhöhe</u> : Differenzmaß: Körperhöhe (kph) - Augenhöhe (auh) (<i>v-en</i>)
stl	<u>Stammlänge</u> : vertikale Entfernung von der Sitzfläche (<i>Basis Sedens</i>) zum höchsten Punkt des Scheitels in der Medianebene (Symmetrieebene des Körpers) (<i>Vertex</i>) (<i>BS-v</i>) [B 1.2.31]
tu	<u>Tailenumfang</u> : horizontaler Umfang um den Rumpf in Höhe der stärksten Einziehung der Rumpfseitenkontur zwischen Darmbeinkamm und unterem Rippenbogen (<i>- ta-ta -</i>) [B 1.2.80a]
uahdl	<u>Unterarmlänge mit Hand</u> : horizontale Entfernung von dem am weitesten dorsal (hinten) gelegenen Punkt des rechten Ellenbogens (<i>Olecranale</i>) zu dem am weitesten distal (rumpffern) befindlichen Punkt der rechten Mittelfingerspitze (<i>Daktylion III</i>) bei gestreckter Hand (<i>ol-da</i>) [B 1.2.51]
ual	<u>Unterarmlänge</u> : geradlinige Entfernung zwischen dem am weitesten proximal (rumpfnah) gelegenen Punkt des rechten Speichenköpfchens (<i>Radiale</i>) und dem am weitesten distal (rumpffern) gelegenen Punkt des Griffelfortsatzes der Speiche (<i>Styilion radiale</i>) (<i>r-styr</i>)

Tab. 1-8: Kurzbezeichnungen und Definitionen der untersuchten Körpermaße

Kurzbez.	Messstreckendefinitionen in alphabetischer Folge der Kurzbezeichnung
ualf	<u>Funktionelle Unterarmlänge</u> : am rechtwinklig gebeugten rechten Arm bei supinierter (mit dem Handteller nach oben weisender) Hand gemessene horizontale Entfernung von der Ansatzsehne des Zweiköpfigen Armmuskels in der Ellenbeuge (<i>Angulare ulnaris</i>) zu dem am weitesten distal (rumpffern) befindlichen Punkt der rechten Mittelfingerspitze (<i>Daktylion III</i>) bei gestreckter Hand. Unterarm und Hand bilden eine gemeinsame Längsachse (<i>aul-da</i>)
uau	<u>Größter Unterarmumfang</u> : horizontaler Umfang um den nach unter gestreckten rechten Unterarm an der Stelle seiner stärksten Ausladung wenig distal des Ellenbogengelenks (<i>Radioulnare proximale</i>) (- <i>rup</i> -)
ukt	<u>Unterkörpertiefe</u> : horizontale Entfernung von einer Wand, an die sich die Person mit Fersen, Gesäß und Schulterblättern anlehnt (<i>Basis Dorsalis</i>) zu dem am weitesten ventral (nach vorn) vorspringenden Punkt im Bereich des Bauches (<i>Abdominale</i>) (<i>BD-abd</i>)
ukts	<u>Unterkörpertiefe im Sitzen</u> : horizontale Entfernung von der Rückenlehne des Sitzes (<i>Basis Dorsalis Sedens</i>), an die sich die Person mit Gesäß und Schulterblättern anlehnt, zu dem am weitesten ventral (nach vorn) vorgewölbten Punkt im Bereich des Bauches (<i>Abdominale</i>) (<i>BDS-abd</i>)
usfl	<u>Unterschenkellänge mit Fuß</u> : im Sitzen gemessene vertikale Entfernung von der Auflageebene der Füße (<i>Basis</i>) zur Unterseite des gegen den rechten Unterschenkel rechtwinklig angebeugten rechten Oberschenkels unmittelbar hinter der Kniekehle (<i>Angulare genus</i>), das heißt Abstand von der Auflageebene der Füße zur Sitzfläche (<i>B-age</i>) [B. 1.2.41]
usl	<u>Unterschenkellänge</u> : Differenzmaß: Kniegelenkhöhe (<i>kgh</i>) - Fußhöhe (<i>fh</i>) (<i>sph-ti</i>)

Wichtig für die Vergleichbarkeit anthropometrischer Daten ist neben einer eindeutigen Messstreckendefinition die Positionierung der zu messenden Personen in die beiden Grundhaltungen im Stehen oder im Sitzen. Beide Grundhaltungen zielen darauf ab, dass der Körper voll aufgerichtet ist. Im Stehen befinden sich die Füße mit einander berührenden Fersen und leicht divergierenden Vorderfüßen auf einer ebenen horizontalen Standfläche (*Basis*). Knie- und Hüftgelenke sind gestreckt. Die Wirbelsäule ist gerade aufgerichtet. Die Schultern werden nicht hochgezogen. Die Arme hängen locker gestreckt an den Seiten des Körpers herab. Die Hände sind gestreckt. Die Handflächen weisen zum Rumpf. Der Hals ist gestreckt. Dabei ist die Wirbelsäule straff aufgerichtet und der Kopf in der von Martin definierten Ohr-Augen-Ebene ausgerichtet, wobei der Blick geradeaus gerichtet ist und die Oberränder der Ohrdeckelknorpel beider Ohröffnungen (*Tragia*) sowie der tiefste Punkt des unteren knöchernen Augenhöhlenrandes (*Orbitale*) des rechten Auges sich in einer Horizontalebene (*Frankfurter Horizontale*) befinden. Gemessen wird – soweit es sich nicht um Längenmaße der Medianebene (Symmetrieebene des Körpers), Rumpfbreiten oder Rumpftiefen handelt – grundsätzlich an der rechten Körperseite. Bei der Messung von Körpertiefen im Stehen, deren Bezugsebene eine vertikale Fläche ist (*Basis Dorsalis*), steht die zu messende Person in Grundhaltung derart, dass ihre Fersen, das Gesäß und die Schulterblätter an dieser Bezugsebene – beispielsweise einer Wand – fixiert sind. Bei der Grundhaltung im Sitzen ist es wichtig, dass die Oberschenkel bis zu den Kniekehlen voll auf einer ungepolsterten horizontalen Sitzfläche (*Basis Sedens*) aufliegen und Rumpf, Hals und Kopf wie bei der Grundhaltung im Stehen voll aufgerichtet sind. Der Kopf wird auch bei der Grundhaltung im Sitzen in der Frankfurter Horizontalen positioniert. Bei der Messung von Körpertiefen im Sitzen wird die horizontal verschiebbare Rückenlehne eines speziellen anthropometrischen Untersuchungsstuhls so an die zu messende Person herangeführt, dass deren Gesäß und Schulterblätter an dieser *Basis Dorsalis Sedens* fixiert sind. Steht kein Messstuhl zur Verfügung, so kann notfalls anstelle der Rückenlehne ein Messblock verwendet werden, der eine Kantenlänge von mindestens 200 mm haben muss. Die erforderliche volle Aufrichtung des Beckens und die Streckung der Wirbelsäule

können allerdings bei dieser Methode nicht exakt beurteilt werden. Der Untersuchungsstuhl erlaubt außerdem eine genaue individuelle Höheneinstellung der Sitzfläche entsprechend der Unterschenkellänge mit Fuß, einem industrieanthropologisch wichtigen Körpermaß, das die Sitzflächenhöhe kennzeichnet. Für die vorliegende Studie wurde bei beiden Stichproben ein anthropometrischer Untersuchungsstuhl verwendet.

Alle Körpermaße wurden am weitgehend unbedeckten Körper mit standardisierten anthropometrischen Präzisionsinstrumenten der Firma SiberHegner bestimmt (Anthropometer, Tasterzirkel, Gleitzirkel, Maßband, Caliper). Männer trugen eine anliegende Unterhose oder Badehose, Frauen einen Slip und einen Büstenhalter oder einen Bikini. Es kann festgestellt werden, dass sämtliche Messstrecken bei allen Personen exakt nach derselben Messmethodik bestimmt wurden und damit voll vergleichbar sind.

Bei der Berechnung der Ergebnisse wurden die Stichproben stets getrennt voneinander gehalten. Eine einfache Zusammenführung und gemeinsame Auswertung der individuellen Datensätze von 899 Männern und 859 Frauen hätte die säkulare Akzeleration außer Acht gelassen. Entstanden wären für diejenigen Körpermaße, die in beiden Stichproben untersucht wurden, Angaben zum Körperbau junger Erwachsener mit einer Aktualität für etwa 1990. Zur Erzielung aktuellerer Daten wurden die hohen Korrelationen zwischen bestimmten Körpermaßen herangezogen (Greil 1988, – 1989). Sie belegen, dass Körpermaße sich nicht unabhängig voneinander verändern. Alle Längenmaße sind untereinander sehr hoch korreliert. Innerhalb dieser Maßgruppe bestehen nochmals höhere Korrelationen jeweils innerhalb der Ganzkörperlängen, innerhalb der Rumpf- bzw. Stammlängen und innerhalb der Gliedmaßenlängen. Zwischen Längenmaßen einerseits und der Gruppe der Umfangs-, Breiten- und Tiefenmaße bestehen nur verhältnismäßig geringe, teilweise sogar negative lineare Korrelationen. Entsprechend der Tatsache, dass hochgewachsene Menschen im Vergleich zur Gesamtpopulation im Mittel einen relativ flachen Brustkorb haben und kleinwüchsige Menschen häufig einen mehr tonnenförmigen, sind Sagittaldurchmesser des Rumpfes wie die Brustkorbtiefe, aber auch die Unterkörpertiefe mit Längenmaße negativ korreliert: kleine Menschen haben im Mittel mehr Körpermasse zwischen ihrer Rumpfvorderseite und dem Rücken als große. Bei nur geringen Korrelationen zwischen Längenmaßen einerseits und Breiten-, Tiefen- und Umfangsmaßen andererseits sind die letztgenannten untereinander hoch korreliert, wobei nochmals nach Diametern und Umfängen des Oberkörpers und des Unterkörpers unterschieden werden kann. Die in der Stichprobe von 1982 – 1984 untersuchten Körpermaße wurden sowohl einer linearen Korrelationsanalyse unterzogen als auch einer Faktorenanalyse nach der Hauptkomponentenmethode. Aus der Faktorenanalyse resultierten wenige Faktoren mit charakteristischen Leitmaßen, d.h. Körpermaßen, die mit allen anderen Maßen ihres Faktors sehr eng zusammenhängen, von Körpermaßen, die auf anderen Faktoren hoch geladen sind aber relativ unabhängig sind.

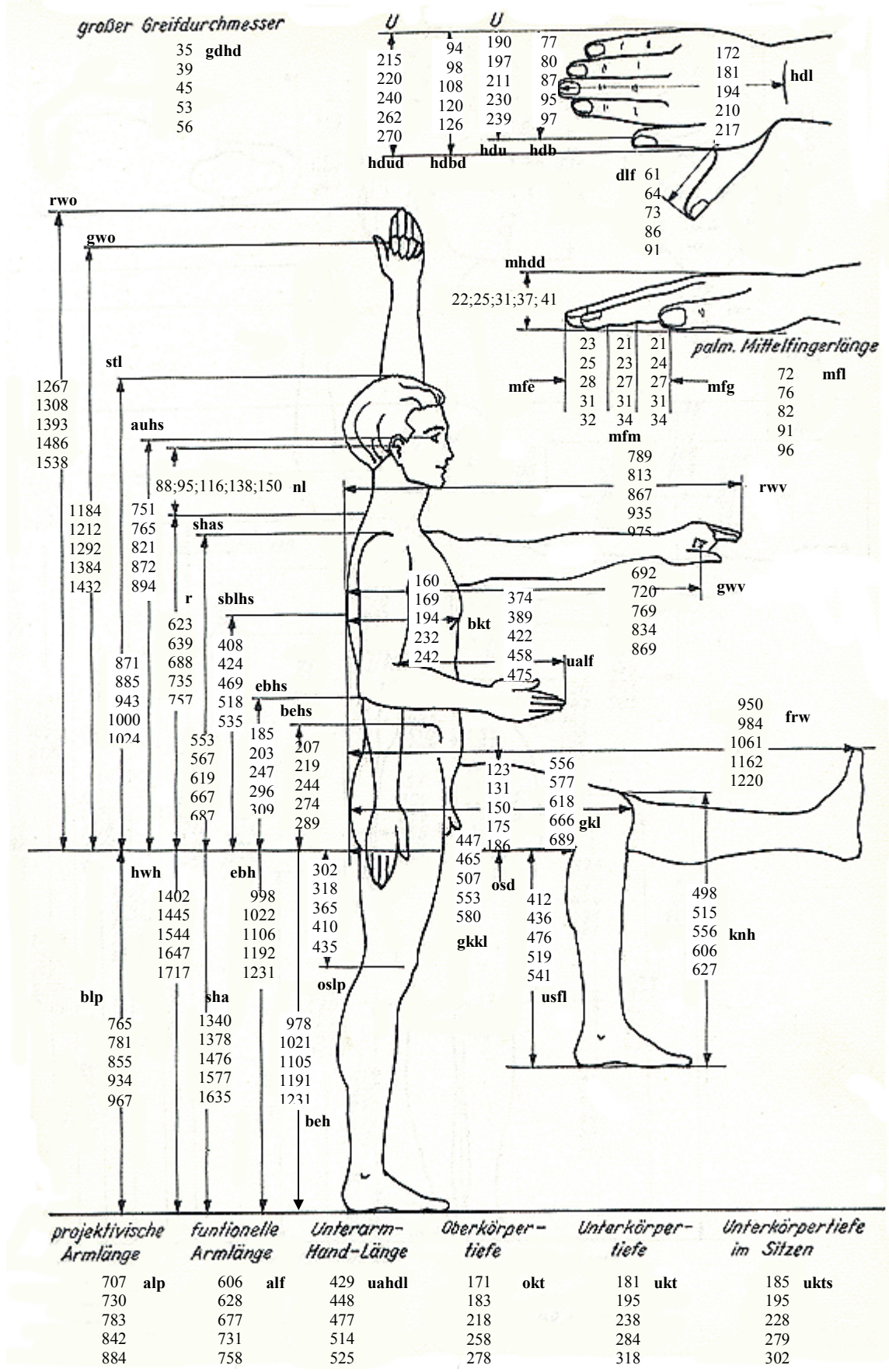


Abb. 5: Lage der untersuchten Messstrecken am Körper und ihre Perzentilwerte 1,5,50,95,99 (von oben nach unten in mm und kg) für junge Männer

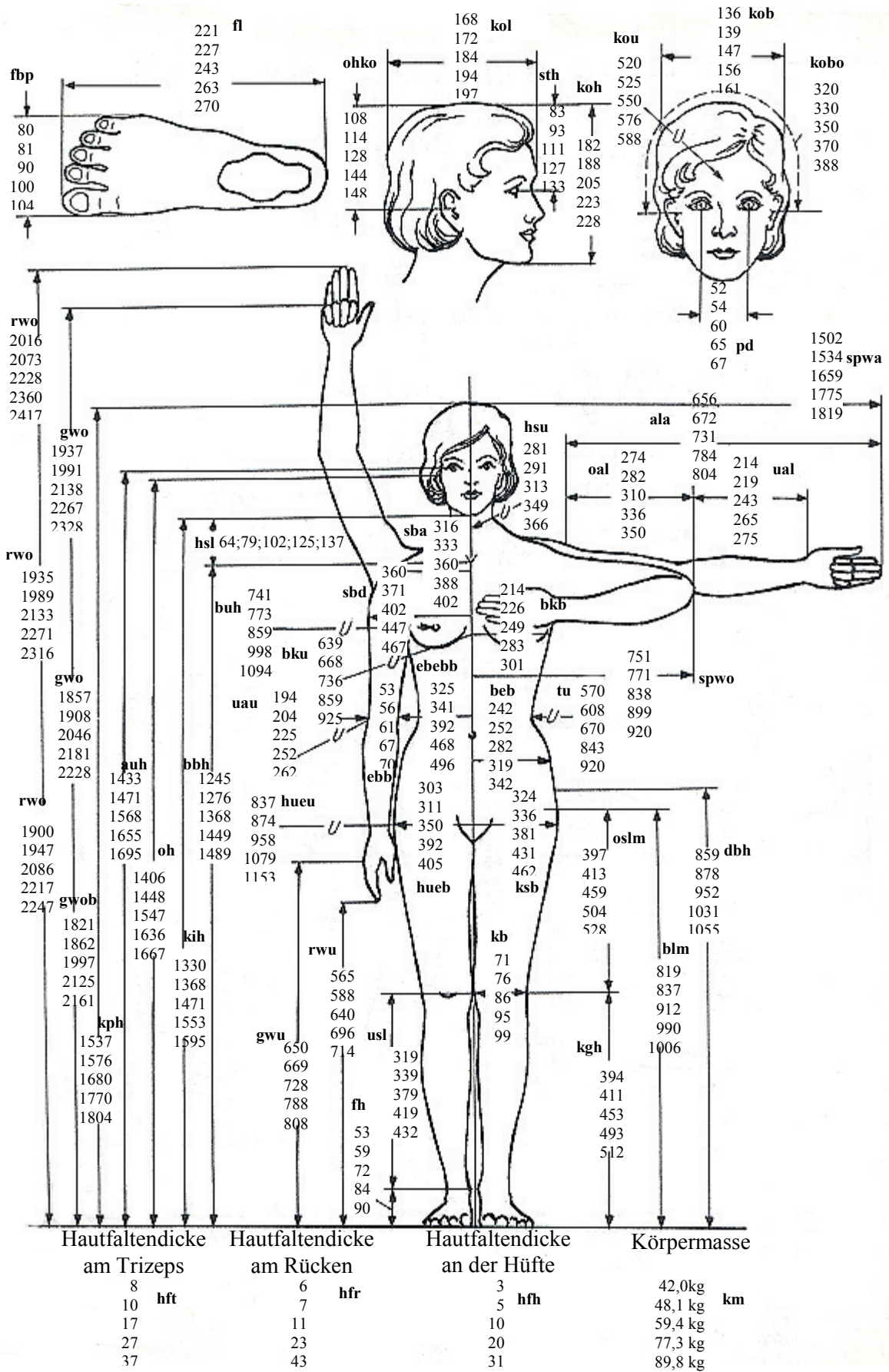


Abb. 6: Lage der untersuchten Messstrecken am Körper und ihre Perzentilwerte 1,5,50,95,99 (von oben nach unten in mm und kg) für junge Frauen

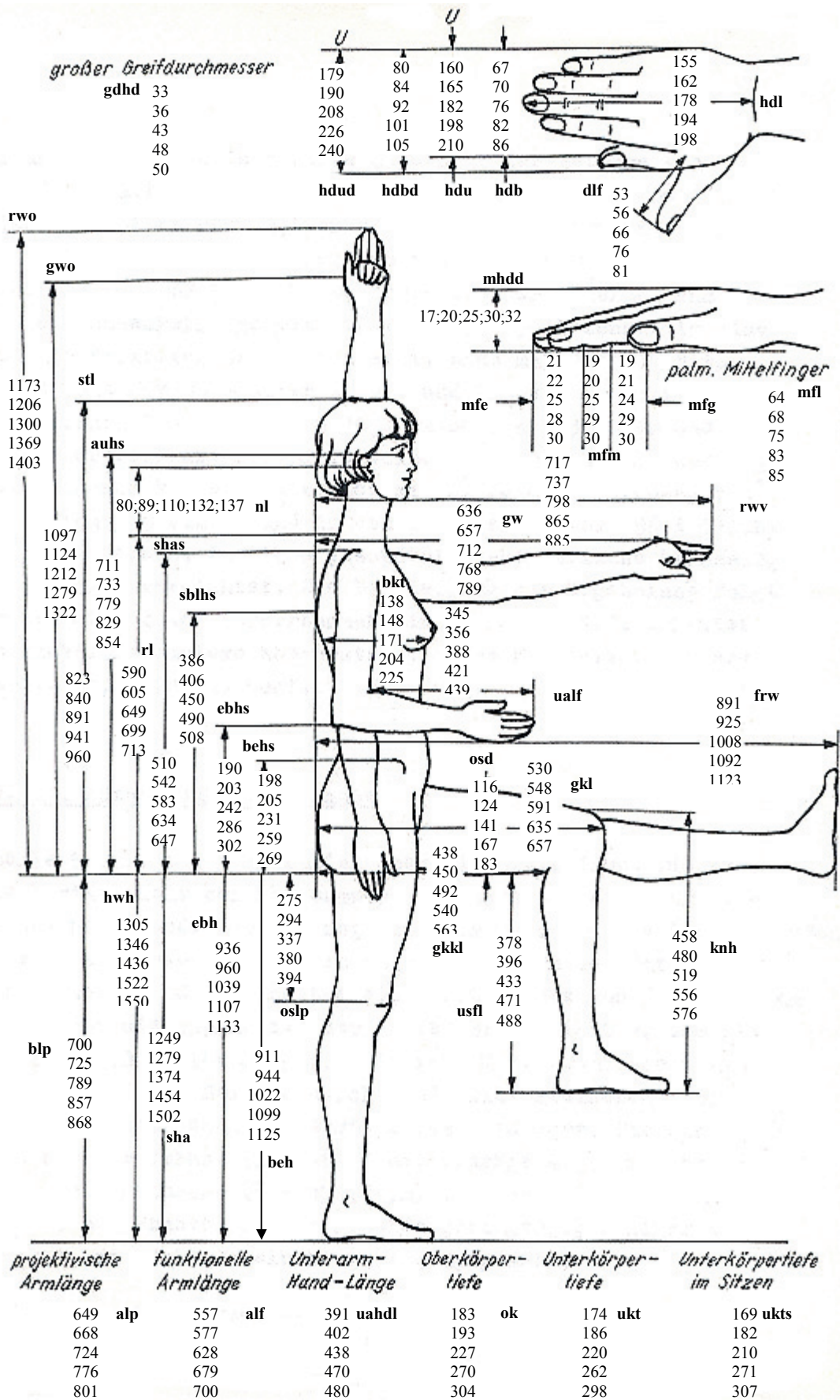


Abb. 7: Lage der untersuchten Messstrecken am Körper und ihre Perzentilwerte 1,5,50,95,99 (von oben nach unten in mm und kg) für junge Frauen

Das Messprogramm der Stichprobe von 1997 – 2000 (452 Männer und 434 Frauen in der hier analysierten Altersgruppe) enthielt wichtige Leitmaße, die auch bei der Stichprobe von 1982 – 1984 bestimmt worden waren. Auf diese Weise konnten für Körperhöhe, Stammlänge, Rumpflänge, projektivische Beinlänge, Unterschenkellänge mit Fuß, horizontalen Brustumfang, Taillenumfang, Hüftumfang (Gesäßumfang), biakromiale Schulterbreite, Brustkorbbreite, Brustkorbtiefe und Hüftbreite aus den Individualwerten beider Stichproben Differenzen und Wichtungsfaktoren berechnet werden. Die Individualwerte der nur in der Stichprobe von 1982 – 1984 untersuchten Körpermaße wurden jeweils mit den Wichtungsfaktoren ihres aus der Faktorenanalyse ableitbaren Leitmaßes belegt und so auf einen zeitlichen Stand von 1997 – 2000 transformiert. Alle weiteren Auswertungen wurden mit den transformierten Individualwerten durchgeführt. Dies sind die unter dem Motto „Mensch 2000“ in den Tabellen 2 – 9 und den Abbildungen 4 – 7 publizierten Perzentilwerte. Die zusätzlich in den Tabellen 2 – 9 angegebenen Prozentwerte (Spalte % KPH) sind Relativwerte zur Körperhöhe. Angegeben ist jeweils der aus den individuellen Relativwerten berechnete Medianwert in Prozent der Körperhöhe. Diese relativen Medianwerte bezeichnen die Körperproportionen. Ein junger Mann kann beispielsweise einen großen Taillenumfang haben, ausgedrückt durch den hohen Absolutwert der Messstrecke Taillenumfang. Wenn er dabei besonders hochwüchsig ist, kann er dennoch in der Proportion, d.h. im relativen Taillenumfang, im Mittel der Verteilung oder darunter liegen.

Ergebnisse

In Tab. 2 für Männer und Tab. 3 für Frauen sind die Perzentilwerte für Reichweiten, Greifweiten, Spannweiten und Armlängen am stehenden Körper für junge Erwachsene im Alter von 20 – 24 Jahren angegeben. Diese Körpermaße beschreiben den Bewegungsraum der Arme und Hände. Sie werden benötigt für die Positionierung von Greif- und Bedienelementen. Die maximale Reichweite nach oben gibt an, in welcher Höhe über der Standfläche Gegenstände bei gestrecktem Zehenstand und maximaler Streckung des gesamten Körpers gerade noch mit der rechten Fingerspitze berührt werden können. Dieses Maß ist entspricht der größtmöglichen Vertikalausdehnung des Körpers. Bei seiner Verwendung muss beachtet werden, dass ein Arm allein weiter nach oben gestreckt werden kann als beide Arme gleichzeitig. Die Altersabhängigkeit der Reich- und Greifweiten nach oben und ihre besonders hohen Werte im jungen Erwachsenenalter beruhen nicht nur darauf, dass Menschen in diesem Alter am größten sind, sondern auch auf der guten Streckbarkeit des jungen Körpers in allen Gelenken. Für alle Greifweiten wird darauf hingewiesen, dass sie im Unterschied zu manchen Literaturangaben (Deutsche Institut für Normung 1986, Jürgens 2000) direkt am Körper ohne Verwendung von Hilfsmitteln gemessen wurden. Die Bestimmung von Greifweiten mit Hilfe eines zu umgreifenden Messstabes ist deshalb problematisch, weil diese Griffachse dem schrägen Verlauf der Fingergrundgelenke folgt. Der Messwert ist dadurch abhängig davon, ob an dem Messstab an der Kleinfingerseite der Hand gemessen wird oder an der Daumenseite. Bei der Benutzung des Mittelfingerknöchels der Hand (*Phalanigon III*) entfällt diese Problematik, weil dieser Messpunkt sich direkt am Körper etwa in der Mitte der schräg verlaufenden Griffachse befindet. Bei der Verwendung der Reichweite und der Greifweite nach vorn ist zu beachten, dass die angegebenen Werte bei Anlehnung der Schulterblätter an eine Vertikalfläche, beispielsweise eine Wand gemessen wurden, um vergleichbar zu sein. Im täglichen Leben bewegt man die Schulter der Greifhand nach vorn, während Arm und Hand gestreckt werden, um einen Gegenstand zu erreichen. Dadurch wird der Aktionsraum nach vorn größer, als in Tab. 2 und Tab. 3 angegeben. Die Ellenbogenhöhe über der Standfläche ist ein wichtiges Bezugsmaß bei der Gestaltung von Steharbeitsplätzen. Sie ist wie die Reichweite und die Greifweite nach unten dem säkularen Geschehen gegenüber relativ stabil, da hierbei Beinlängen und Armlängen etwa gleichermaßen vom säkularen Trend betroffen sind. Die Spannweite der Arme gibt die maximale Breitenausdehnung des Körpers an. Von den drei gemessenen Armlängen hat die additive Armlänge die höchsten Werte. Die projektivische Armlänge ist häufig etwas kleiner als die additive, weil der Arm im Ellenbogengelenk und die Finger in ihren Mittel- und Endgelenken nicht immer voll streckbar sind. Funktionelle Armlänge, Unterarmmlänge mit Hand und funktionelle Unterarmmlänge sind wichtige Konstruktionsmaße.

Tab. 2: Körperstandmaße junger Männer

(Reichweiten, Greifweiten, Spannweiten, Armlängen, Stammlängen, Beinlängen)

Männer: Körperlängenmaße im Stehen**Reichweiten, Greifweiten, Spannweiten, Armlängen (mm, % KPH)**

Maßbezeichnung	Kurzbez.	P 1	P 5	P 50	P 95	P 99	% KPH
Maximale Reichweite nach oben	rwom	2179	2254	2405	2557	2633	133,5
Gestreckte Reichweite nach oben	rwog	2108	2170	2318	2472	2557	128,4
Bequeme Reichweite nach oben	rwob	2054	2098	2249	2395	2486	124,8
Maximale Greifweite nach oben	gwom	2089	2160	2307	2448	2530	128,1
Gestreckte Greifweite nach oben	gwog	2020	2075	2218	2371	2432	123,0
Bequeme Greifweite nach oben	gwob	1955	2003	2150	2296	2387	119,4
Reichweite nach vorn	rwv	789	813	867	935	975	48,3
Greifweite nach vorn	gwv	692	720	769	834	869	42,9
Ellenbogenhöhe über der Standfläche	ebh	998	1022	1106	1192	1231	61,4
Greifweite nach unten	gwu	688	714	776	842	870	43,6
Reichweite nach unten	rwu	602	620	680	741	767	38,2
Spannweite der Arme	spwa	1657	1703	1820	1944	2001	101,0
Spannweite der Oberarme	spwo	839	863	920	990	1021	51,3
Additive Armlänge	ala	729	743	795	859	900	44,3
Projektivische Armlänge	alp	707	730	783	842	884	43,6
Funktionelle Armlänge	alf	606	628	677	731	758	37,6
Oberarmlänge	oal	299	309	339	370	390	18,8
Unterarm-Hand-Länge	uahdl	429	448	477	514	525	26,6
Funktionelle Unterarmlänge	ualf	374	389	422	458	475	23,4
Unterarmlänge	ual	231	245	264	289	299	14,7

Stammlängen, Beinlängen (mm, % KPH)

Maßbezeichnung	Kurzbez.	P 1	P 5	P 50	P 95	P 99	%KPH
Körperhöhe	kph	1651	1696	1802	1911	1988	
Augenhöhe	auh	1534	1578	1678	1781	1855	93,2
Ohrhöhe des Körpers	oh	1517	1557	1662	1765	1829	92,3
Kinnhöhe	kih	1427	1472	1574	1683	1756	87,5
Halswirbelhöhe	hwh	1402	1445	1544	1647	1717	85,8
Akromiale Schulterhöhe	sha	1340	1378	1476	1577	1635	81,8
Obere Brustbeinhöhe	bbh	1342	1374	1465	1564	1620	81,5
Vordere Halslänge	hsl	70	83	108	137	144	6,0
Beckenkammhöhe	beh	978	1021	1105	1191	1231	61,2
Darmbeinstachelhöhe	dbh	922	945	1025	1111	1152	56,9
Morphologische Beinlänge	blm	881	905	978	1060	1102	54,3
Projektivische Beinlänge	blp	765	781	855	934	967	47,5
Morphologische Oberschenkellänge	oslm	420	441	489	538	552	27,1
Projektivische Oberschenkellänge	oslp	302	318	365	410	435	20,3
Kniegelenkhöhe	kggh	431	446	489	539	557	27,2
Unterschenkellänge	usl	345	366	410	457	481	22,8
Fußhöhe	fh	60	66	78	91	95	4,4

Tab. 3: Körperstandmaße junger Frauen
(Reichweiten, Greifweiten, Spannweiten, Armlängen, Stammlängen, Beinlängen)

Frauen: Körperlängenmaße im Stehen

Reichweiten, Greifweiten, Spannweiten, Armlängen (mm, % KPH)

Maßbezeichnung	Kurzbez.	P 1	P 5	P 50	P 95	P 99	% KPH
Maximale Reichweite nach oben	rwom	2016	2073	2228	2360	2417	132,7
Gestreckte Reichweite nach oben	rwog	1935	1989	2133	2271	2316	127,4
Bequeme Reichweite nach oben	rwob	1900	1947	2086	2217	2247	124,4
Maximale Greifweite nach oben	gwom	1937	1991	2138	2267	2328	127,4
Gestreckte Greifweite nach oben	gwog	1857	1908	2046	2181	2228	122,1
Bequeme Greifweite nach oben	gwob	1821	1862	1997	2125	2161	119,1
Reichweite nach vorn	rwv	717	737	798	865	885	47,7
Greifweite nach vorn	gwv	636	657	712	768	789	42,4
Ellenbogenhöhe über der Standfläche	ebh	936	960	1039	1107	1133	61,9
Greifweite nach unten	gwu	650	669	728	788	808	44,1
Reichweite nach unten	rwu	565	588	640	696	714	38,9
Spannweite der Arme	spwa	1502	1534	1659	1775	1819	98,9
Spannweite der Oberarme	spwo	751	771	838	899	920	50,0
Additive Armlänge	ala	656	672	731	784	804	43,6
Projektivische Armlänge	alp	649	668	724	776	801	43,2
Funktionelle Armlänge	alf	557	577	628	679	700	37,4
Oberarmlänge	oal	274	282	310	336	350	18,5
Unterarm-Hand-Länge	uahdl	391	402	438	470	480	26,1
Funktionelle Unterarmlänge	ualf	345	356	388	421	439	23,2
Unterarmlänge	ual	214	219	243	265	275	14,5

Stammlängen, Beinlängen (mm, % KPH)

Maßbezeichnung	Kurzbez.	P 1	P 5	P 50	P 95	P 99	%KPH
Körperhöhe	kph	1537	1576	1680	1770	1804	
Augenhöhe	auh	1433	1471	1568	1655	1695	93,3
Ohrhöhe des Körpers	oh	1406	1448	1547	1636	1667	92,2
Kinnhöhe	kih	1330	1368	1471	1553	1595	87,6
Halswirbelhöhe	hwh	1305	1346	1436	1522	1550	85,7
Akromiale Schulterhöhe	sha	1249	1279	1374	1454	1502	81,9
Obere Brustbeinhöhe	bbh	1245	1276	1368	1449	1489	81,4
Vordere Halslänge	hsl	64	79	102	125	137	6,1
Beckenkammhöhe	beh	911	944	1022	1099	1125	61,0
Darmbeinstachelhöhe	dbh	859	878	952	1031	1055	57,0
Morphologische Beinlänge	blm	819	837	912	990	1006	54,5
Projektivische Beinlänge	blp	700	725	789	857	868	47,1
Morphologische Oberschenkellänge	oslm	397	413	459	504	528	27,5
Projektivische Oberschenkellänge	oslp	275	294	337	380	394	20,0
Kniegelenkhöhe	kgh	394	411	453	493	512	27,0
Unterschenkellänge	usl	319	339	379	419	432	22,7
Fußhöhe	fh	53	59	72	84	90	4,3

Tab. 4: Körperstandmaße junger Männer

(Umfangmaße, Breitenmaße, Tiefenmaße im Stehen, Handmaße, Fußmaße)

Männer: Umfangmaße, Breitenmaße, Tiefenmaße im Stehen, Handmaße, Fußmaße**Umfangmaße, Breitenmaße, Tiefenmaße (mm, % KPH)**

Maßbezeichnung	Kurzbez.	P 1	P 5	P 50	P 95	P 99	% KPH
Halsumfang	hsu	327	342	367	406	425	20,6
Horizontaler Brustumfang	buh	811	836	917	1044	1116	51,4
Brustkorbumfang	bku	767	802	880	995	1095	49,3
Taillenumfang	tu	665	690	775	922	987	43,9
Größter Hüftumfang	hueu	835	870	952	1067	1112	53,3
Größter Unterarmumfang	uau	233	243	264	295	308	14,8
Biakromiale Schulterbreite	sba	353	373	402	435	451	22,4
Bideltoideale Schulterbreite	sbd	407	420	455	497	514	25,3
Brustkorbbreite	bkb	249	259	289	324	344	16,1
Breite über beide Ellenbogen	ebebb	367	394	461	530	562	25,7
Bikristale Beckenbreite	beb	248	261	295	336	356	16,5
Größte Hüftbreite	hueb	302	308	337	372	387	18,8
Brustkorbtiefe	bkt	160	169	194	232	242	10,9
Oberkörpertiefe	okt	171	183	218	258	278	12,2
Unterkörpertiefe	ukt	181	195	238	284	318	13,3
Kniebreite	kb	82	88	96	105	109	5,3
Ellenbogenbreite	ebb	62	66	71	77	79	3,9

Handmaße, Fußmaße (mm, % KPH)

Maßbezeichnung	Kurzbez.	P 1	P 5	P 50	P 95	P 99	% KPH
Handumfang mit Daumen	hdud	215	220	240	262	270	13,5
Handumfang	hdu	190	197	211	230	239	11,9
Greifdurchmesser der Hand	gdhd	35	39	45	53	56	2,6
Handlänge	hdl	172	181	194	210	217	10,8
Funktionelle Daumenlänge	dlf	61	64	73	86	91	4,1
Mittelfingerlänge	mfl	72	76	82	91	96	4,6
Mittelfingergrundgliedlänge	mfgl	21	24	27	31	34	1,5
Mittelfingermittelgliedlänge	mfml	21	23	27	31	34	1,5
Mittelfingerendgliedlänge	mfel	23	25	28	31	32	1,6
Handbreite mit Daumen	hdbd	94	98	108	120	126	6,0
Direkte Handbreite	hdb	77	80	87	95	97	4,8
Distale Mittelhanddicke	mhdd	22	25	31	37	41	1,7
Fußlänge	fl	239	248	267	290	303	14,9
Projektivische Fußbreite	fbp	89	93	102	111	116	5,6

Tab. 5: Körperstandmaße junger Frauen

(Umfangsmaße, Breitenmaße, Tiefenmaße im Stehen, Handmaße, Fußmaße)

Frauen: Umfangsmaße, Breitenmaße, Tiefenmaße im Stehen, Handmaße, Fußmaße**Umfangsmaße, Breitenmaße, Tiefenmaße (mm, % KPH)**

Maßbezeichnung	Kurzbez.	P 1	P 5	P 50	P 95	P 99	% KPH
Halsumfang	hsu	281	291	313	349	366	18,9
Horizontaler Brustumfang	buh	741	773	859	998	1094	51,8
Brustkorbumfang	bku	639	668	736	859	925	44,6
Taillenumfang	tu	570	608	670	843	920	40,9
Größter Hüftumfang	hueu	837	874	958	1079	1153	57,6
Größter Unterarmumfang	uau	194	204	225	252	262	13,5
Biakromiale Schulterbreite	sba	316	333	360	388	402	21,5
Bideltoideale Schulterbreite	sbd	360	371	402	447	467	24,2
Brustkorbbreite	bkb	214	226	249	283	301	14,9
Breite über beide Ellenbogen	ebebb	325	341	392	468	496	23,7
Bikristale Beckenbreite	beb	242	252	282	319	342	16,8
Größte Hüftbreite	hueb	303	311	350	392	405	20,9
Brustkorbtiefe	bkt	138	148	171	204	225	10,3
Oberkörpertiefe	okt	183	193	227	270	304	13,7
Unterkörpertiefe	ukt	174	186	220	262	298	13,2
Kniebreite	kb	71	76	86	95	99	5,1
Ellenbogenbreite	ebb	53	56	61	67	70	3,7

Handmaße, Fußmaße (mm, % KPH)

Maßbezeichnung	Kurzbez.	P 1	P 5	P 50	P 95	P 99	% KPH
Handumfang mit Daumen	hdud	179	190	208	226	240	12,5
Handumfang	hdu	160	165	182	198	210	11,1
Greifdurchmesser der Hand	gdhd	33	36	43	48	50	2,5
Handlänge	hdl	155	162	178	194	198	10,6
Funktionelle Daumenlänge	dlf	53	56	66	76	81	3,9
Mittelfingerlänge	mfl	64	68	75	83	85	4,5
Mittelfingergrundgliedlänge	mfgl	19	21	24	29	30	1,5
Mittelfingermittelgliedlänge	mfml	19	20	25	29	30	1,5
Mittelfingerendgliedlänge	mfel	21	22	25	28	30	1,5
Handbreite mit Daumen	hdbd	80	84	92	101	105	5,5
Direkte Handbreite	hdb	67	70	76	82	86	4,5
Distale Mittelhanddicke	mhdd	17	20	25	30	32	1,5
Fußlänge	fl	221	227	243	263	270	14,6
Projektivische Fußbreite	fbp	80	81	90	100	104	5,4

Tab. 6: Körpersitzmaße und Kopfmaße junger Männer

Männer: Körpermaße im Sitzen, Kopfmaße

Längenmaße (mm, % KPH)

Maßbezeichnung	Kurzbez.	P 1	P 5	P 50	P 95	P 99	% KPH
Reichweite nach oben ü. Sitzfläche	rwos	1267	1308	1393	1486	1538	77,3
Greifweite nach oben ü. Sitzfläche	gwos	1184	1212	1292	1384	1432	71,9
Ellenbogenhöhe über Sitzfläche	ebhs	185	203	247	296	309	13,8
Gesäß-Kniekehlen-Länge	gkkl	447	465	507	553	580	28,2
Gesäß-Knie-Länge	gkl	556	577	618	666	689	34,3
Unterschenkel-Fuß-Länge	usfl	412	436	476	519	541	26,4
Fußreichweite	frw	950	984	1061	1162	1220	59,2

Stammlänge	stl	871	885	943	1000	1024	52,4
Augenhöhe über Sitzfläche	auhs	751	765	821	872	894	45,6
Rumpflänge	rl	623	639	688	735	757	38,2
Nackenlänge	nl	88	95	116	138	150	6,5
Akromiale Schulterhöhe ü. Sitzfläche	shas	553	567	619	667	687	34,3
Schulterblatthöhe über Sitzfläche	sblhs	408	424	469	518	535	26,1
Beckenkammhöhe über Sitzfläche	behs	207	219	244	274	289	13,7
Kniehöhe	knh	498	515	556	606	627	31,0

Breitenmaße, Tiefenmaße (mm, % KPH)

Maßbezeichnung	Kurzbez.	P 1	P 5	P 50	P 95	P 99	% KPH
Unterkörpertiefe	ukts	185	195	228	279	302	12,8
Größte Körpersitzbreite	ksb	312	324	352	403	424	19,8
Oberschenkeldicke	osd	123	131	150	175	186	8,4

Kopfmaße (mm, % KPH)

Maßbezeichnung	Kurzbez.	P 1	P 5	P 50	P 95	P 99	% KPH
Kopfumfang	kou	540	554	579	608	615	32,5
Transversaler Kopfbogen	kobo	335	342	362	390	400	20,5
Ganze Kopfhöhe	koh	200	204	223	239	246	12,5
Stirnhöhe	sth	95	103	121	140	145	6,8
Ohrhöhe des Kopfes	ohko	117	123	137	152	161	7,7
Größte Kopfbreite	kob	142	146	154	164	170	8,7
Pupillardistanz	pd	54	58	63	69	72	3,5
Größte Kopflänge	kol	180	184	195	208	211	11,0

Tab. 7: Körpersitzmaße und Kopfmaße junger Frauen

Frauen: Körpermaße im Sitzen, Kopfmaße

Längenmaße (mm, % KPH)

Maßbezeichnung	Kurzbez.	P 1	P 5	P 50	P 95	P 99	% KPH
Reichweite nach oben ü. Sitzfläche	rwos	1173	1206	1300	1369	1403	77,4
Greifweite nach oben ü. Sitzfläche	gwos	1097	1124	1212	1279	1322	72,1
Ellenbogenhöhe über Sitzfläche	ebhs	190	203	242	286	302	14,7
Gesäß-Kniekehlen-Länge	gkkl	438	450	492	540	563	29,5
Gesäß-Knie-Länge	gkl	530	548	591	635	657	35,3
Unterschenkel-Fuß-Länge	usfl	378	396	433	471	488	25,8
Fußreichweite	frw	891	925	1008	1092	1123	60,2

Stammlänge	stl	823	840	891	941	960	53,2
Augenhöhe über Sitzfläche	auhs	711	733	779	829	854	46,5
Rumpflänge	rl	590	605	649	699	713	38,8
Nackenlänge	nl	80	89	110	132	137	6,5
Akromiale Schulterhöhe ü. Sitzfläche	shas	510	542	583	634	647	34,9
Schulterblatthöhe über Sitzfläche	sblhs	386	406	450	490	508	26,8
Beckenkammhöhe über Sitzfläche	behs	198	205	231	259	269	13,8
Kniehöhe	knh	458	480	519	556	576	30,9

Breitenmaße, Tiefenmaße (mm, % KPH)

Maßbezeichnung	Kurzbez.	P 1	P 5	P 50	P 95	P 99	% KPH
Unterkörpertiefe	ukts	169	182	210	271	307	12,8
Größte Körpersitzbreite	ksb	324	336	381	431	462	22,9
Oberschenkeldicke	osd	116	124	141	167	183	8,5

Kopfmaße (mm, % KPH)

Maßbezeichnung	Kurzbez.	P 1	P 5	P 50	P 95	P 99	% KPH
Kopfumfang	kou	520	525	550	576	588	33,4
Transversaler Kopfbogen	kobo	320	330	350	370	388	21,2
Ganze Kopfhöhe	koh	182	188	205	223	228	12,4
Stirnhöhe	sth	83	93	111	127	133	6,7
Ohrhöhe des Kopfes	ohko	108	114	128	144	148	7,8
Größte Kopfbreite	kob	136	139	147	156	161	8,9
Pupillardistanz	pd	52	54	60	65	67	3,6
Größte Kopflänge	kol	168	172	184	194	197	11,2

Tab. 8: Körpermasse (kg), Hautfaltendicken (mm), Gesamtkörperfett (% Körpermasse) und Fettfreie Körpermasse (% Körpermasse) junger Männer

Männer: Körpermasse, Hautfaltendicken, Körperfett, Fettfreie Körpermasse

Maßbezeichnung	Kurzbez.	P 1	P 5	P 50	P 95	P 99	% KPH
Körpermasse	km	57	60	74	97	110	42,0
Hautfaltendicke Trizeps	hft	2	5	8	15	26	0,48
Hautfaltendicke Rücken	hfr	5	6	9	23	31	0,62
Hautfaltendicke Hüfte	hfh	3	4	8	21	28	0,52
Gesamtkörperfett	gkf	9,0	10,8	15,7	27,0	28,6	
Fettfreie Körpermasse	ffm	71,4	73,0	84,3	89,2	91,0	

Tab. 9: Körpermasse (kg), Hautfaltendicken (mm), Gesamtkörperfett (% Körpermasse) und Fettfreie Körpermasse (% Körpermasse) junger Frauen

Frauen: Körpermasse, Hautfaltendicken, Körperfett, Fettfreie Körpermasse

Maßbezeichnung	Kurzbez.	P 1	P 5	P 50	P 95	P 99	% KPH
Körpermasse	km	42	48	59	77	90	36,0
Hautfaltendicke Trizeps	hft	8	10	17	27	37	1,05
Hautfaltendicke Rücken	hfr	6	7	11	23	43	0,75
Hautfaltendicke Hüfte	hfh	3	5	10	20	31	0,65
Gesamtkörperfett	gkf	20,2	21,3	27,2	36,1	38,3	
Fettfreie Körpermasse	ffm	61,7	63,9	72,8	78,7	79,8	

Von den Standmaßen des Körpers (Tab. 2 für Männer, Tab. 3 für Frauen), ist die Körperhöhe die am häufigsten untersuchte Messstrecke. Sie ist das günstigste Leitmaß für viele Längenmaße und das wohl am häufigsten für die Konstruktion von körpernahen Umweltbereichen herangezogene Körpermaß. Auch säkulare Akzeleration wird vorzugsweise anhand der Körperhöhe analysiert. Gerade bei dieser Messstrecke ist die Beachtung der Körperhaltung von entscheidender Bedeutung. Die eigentliche Beinlänge, d.h. die als morphologische Beinlänge bezeichnete Entfernung von der Standfläche zum Oberrand des Oberschenkelkopfes in der Hüftgelenkpfanne, ist am lebenden Menschen nicht messbar, weil der Oberschenkelkopf sehr tief in der Gelenkpfanne liegt, die Gelenkkapsel zusätzlich durch einen überaus kräftigen Bandapparat gesichert ist und das Hüftgelenk von mehreren Muskeln überspannt wird. Die hier angegebenen Perzentilwerte der morphologischen Beinlänge sind Schätzwerte, denen die Messung der Darmbeinstachelhöhe zu Grunde liegt. Dies gilt auch für die morphologische Oberschenkellänge. Bei beiden Maßen wird ein körperhöhenabhängiger Faktor subtrahiert, der auf Messungen an Leichen zurückgeht (Herm, 1975). Zur Einschätzung der Beinlänge sind außerdem über der Standfläche messbar die Symphysenhöhe (Oberkante der Schambeinfuge), die Schritthöhe oder funktionelle Beinlänge und die Trochanterhöhe (Rollhügelhöhe). Die Messung der Symphysenhöhe und der Schritthöhe werden häufig als Zumutung empfunden und widersprechen dem Grundsatz der Anthropologie, dass bei jeglicher Forschung am Menschen stets die Integrität der Person gewahrt bleiben muss. Die Trochanterhöhe ist am Lebenden nur schwer exakt feststellbar, weil die Trochanteren, d.h. die großen Rollhügel der Oberschenkelknochen, eine Längenausdehnung von mehreren Zentimetern haben und besonders bei Frauen von viel Unterhautfettgewebe überlagert sein können. Als ein leicht zu bestimmendes Maß der Beinlänge wird häufig die projektivische Beinlänge angegeben. Das ist die Differenz aus der Körperhöhe im Stehen und der Körperhöhe im Sitzen (Stammlänge). Die gemessene Schritthöhe und

die als Differenzmaß gebildete projektivische Beinlänge unterscheiden sich in der Regel nicht oder nur um wenige Millimeter, wenn die Schritthöhe exakt gemessen wurde (Greil 1972).

Neben Beinlängenmaßen werden in der Industrie vielfach Höhenmaße im Kniebereich benötigt. Hierfür gibt es mehrere Möglichkeiten. Es kann die Höhe des Ober- oder Unterrandes der Kniescheibe im Stehen gemessen werden (Patellahöhe), die Kniegelenkhöhe, die Unterschenkellänge mit Fuß oder die größte Kniehöhe im Sitzen. Welche Messstrecke gewählt wird, hängt von der Aufgabenstellung ab. Die Kniegelenkhöhe kommt dem Gelenkdrehpunkt am nächsten. Die am Oberrand der Kniescheibe gemessene Patellahöhe liegt hierfür zu hoch oberhalb des Drehpunktes im Kniegelenk. Die im Sitzen gemessene Unterschenkellänge mit Fuß (Tab. 1, Tab. 6, Tab. 7) wird häufig auch als Sitzflächenhöhe oder fälschlich als Sitzhöhe bezeichnet und ist ein wichtiges Konstruktionsmaß für Sitze und Sitzarbeitsplätze. Die größte Kniehöhe im Sitzen bestimmt einen Mindestraumbedarf, beispielsweise wie weit Tischplatten- oder Schubladenunterkanten unter der Tischfläche nach unten ragen dürfen, ohne den Beinraum einzuengen.

Am stehenden Menschen bestimmte Umfangsmaße, Breitenmaße und Tiefenmaße sind in Tab. 4 für Männer und Tab. 5 für Frauen zusammengestellt. Wichtig – insbesondere bei Frauen – ist die Unterscheidung zwischen horizontalem Brustumfang und Brustkorbumfang. Beim Brustumfang werden die Brüste in ihrer größten Ausdehnung mit berücksichtigt. Der Brustkorbumfang wird grundsätzlich unterhalb der Brustvorwölbung in Höhe des Brustbeinunterrandes gemessen. Bei den hier verglichenen Stichproben wurde der horizontale Brustumfang bei Frauen mit einem Büstenhalter gemessen. Das Verhältnis der in Tab. 4 für Männer und in Tab. 5 für Frauen zusammengestellten Perzentilwerte für Umfangs-, Breiten- und Tiefenmaße ist geschlechtsspezifisch. Frauen sind verglichen mit Männern in ihrer Körperform gekennzeichnet durch einen relativ dünnen Hals, schmale Schultern, eine schmale Taille und breite Hüften. Der horizontale Brustumfang der jungen Frauen ist trotz der charakteristischen weiblichen Brustform im Mittel um 58 mm geringer als der gleichaltriger Männer. Bereits im jungen Erwachsenenalter haben Frauen im Mittel eine etwas größere Hüftbreite, eine größere Körpersitzbreite und einen größeren Hüftumfang gegenüber den um 122 mm größeren gleichaltrigen Männern. Geschlechtstypische Körperkonturen kommen auch im Verhältnis der Körpertiefen zueinander zum Ausdruck. Die Oberkörpertiefe ist bei jungen Frauen größer als die Unterkörpertiefe, während bei den Männern der Bauch sich auch im jungen Erwachsenenalter bereits weiter nach vorn wölbt als die Brust.

Kopfmaße wurden bereits durch Rudolf Martin (Knußmann 1988) ausführlich beschrieben. Im Wachstumsverlauf ändern sich die Proportionen des Kopfes in charakteristischer Weise. Im jungen Erwachsenenalter ist der Kopf vor allem durch seine größte Höhe, größte Breite und durch die sogenannte größte Kopflänge gekennzeichnet, die beim stehenden oder sitzenden Menschen eigentlich eine Kopftiefe ist. Bei Verwendung des Kopfumfanges ist auf die Messmethodik zu achten. Es gibt einen größten Kopfumfang in Höhe der Augenbrauen und der stärksten Wölbung des Hinterkopfes nach hinten und einen kleineren Kopfumfang in Höhe des Stirnmittelpunktes. Dieser entspricht der Hutweite und seine Ergebnisse werden hier vorgestellt.

Ebenso wie bei den Kopfmaßen gibt es bei den Hand- und Fingermaßen zahlreiche Variationen. Deshalb muss bei der Verwendung dieser Maße zur Lösung angewandter konstruktiver Fragestellungen die jeweilige Messmethodik, nach der die Daten erhoben wurden, genau beachtet werden.

Körpermasse und Körperzusammensetzung sind in der Regel nicht der Gegenstand industrieanthropologischer Überlegungen. In Tab. 8 für Männer und Tab. 9 für Frauen werden diese Parameter dennoch angeführt, um nochmals darauf hinzuweisen, wie durch die Entwicklung von anthropometrisch ausgewogenen Untersuchungsprogrammen erreicht werden kann, dass neben den primär angestrebten Aussagen aus den Ergebnissen einer einzigen Stichprobe heraus auch wesentliche Erkenntnisse für andere wichtige Bereiche der Anthropologie gewonnen werden können. Personen, die für die Beteiligung an einer anthropometrischen Studie gewonnen werden können, sind in aller Regel dazu bereit, eine Vielzahl an Körpermaßen an ihrer Person bestimmen zu lassen. Wesentlich aufwändiger ist die Organisation und Durchführung mehrerer voneinander getrennter Studien.

Kenntnisse über die Körperzusammensetzung sind wichtig unter dem Aspekt des vorbeugenden Gesundheitsschutzes. Es werden jährlich Millionenbeträge ausgegeben für die Bekämpfung und Heilung von Fettsucht und vermeintlichem oder echtem Übergewicht ohne dass gesicherte Erkenntnisse darüber vorliegen, wie die Körperzusammensetzung der Bevölkerung insgesamt beschaffen ist. Die mehr und mehr verbreiteten sogenannten Fettwagen liefern Ergebnisse, die wissenschaftlichen Kriterien häufig nicht genügen. Eine wesentlich zuverlässigere Bestimmung des Gesamtkörperfettanteils ist über die direkte Messung der Dicke des Unterhautfettgewebes in Form von definierten Hautfettfalten möglich (Trippo 2000). Hier wurden die Hautfaltendicken Trizeps, Rücken und Hüfte zur Kalkulation verwendet. Zum Verständnis der in Tab. 8 und Tab. 9 angegebenen Perzentilwerte für das prozentuale Gesamtkörperfett und für die prozentuale fettfreie Körpermasse, die sich beide zur Gesamtkörpermasse ergänzen, muss berücksichtigt werden, dass beide Perzentilreihen gegenläufig sind. Die mageren Personen mit dem Perzentilwert 1 für das Gesamtkörperfett sind diejenigen, die bei der fettfreien Körpermasse unter P99 erscheinen und umgekehrt. Folglich ergänzen sich nur in der Mittelgruppe (P50) das Gesamtkörperfett und die fettfreie Körpermasse zu 100 %.

Der deutlich niedrigere Gesamtkörperfettanteil der Männer gegenüber den Frauen ist geschlechtsspezifisch und bedeutet nicht, dass die Frauen zu fett sind. Der höhere Fettanteil des weiblichen Körpers hat sich im Verlauf der langen Stammesgeschichte der Menschheit herausgebildet im Zusammenhang mit der Rolle der Frau als Schwangere und Stillende. Die Perzentilwerte in Tab. 8 und 9 belegen, dass junge Erwachsene in Deutschland keineswegs im Mittel zu fett sind. Sie belegen aber auch eine enorme Variabilität des Fettgewebes und damit die Tatsache, dass in der Prävention sowohl mit übergewichtigen als auch mit untergewichtigen jungen Männern und Frauen gerechnet werden muss. Eine einseitige Übergewichtsprävention erscheint auf der Grundlage der Messergebnisse als nicht sinnvoll.

Diskussion

Um einen exakten Vergleich der Perzentilwerte von 1997 – 2000 aus Brandenburg mit denen der DDR-Querschnittstudie von 1982 – 1984 zu ermöglichen, wurden für beide Stichproben die Perzentilwerte der Altersgruppe 20 – 24 Jahre aus den Individualwerten gebildet. Diese Altersgruppe umfasst ein Jahr weniger als die Altersgruppe 20 – 25 Jahre der DIN 33402 (Deutsches Institut für Normung 1986) oder des Handbuchs der Ergonomie (Jürgens 2000). Dadurch können die Perzentilwerte mit den beiden letztgenannten Publikationen nur bedingt verglichen werden. Im Altersbereich 20 – 24 Jahre ergibt sich im Vergleich der Stichproben von 1982 – 1984 (DDR) und 1997 – 2000 (Bundesland Brandenburg) ein klarer Eindruck von den säkularen Veränderungen der Körperform in den letzten beiden Jahrzehnten. Junge Erwachsene sind größer geworden. Bei Männern sind es im Medianwertvergleich 25 mm bei der maximalen Reichweite nach oben, 20 mm bei der Spannweite der Arme und 20 mm bei der Körperhöhe. Bei Frauen sind es 33 mm bei der maximalen Reichweite nach oben, 25 mm bei der Spannweite der Arme und 25 mm bei der Körperhöhe. Damit wird erstmals bei Frauen ein stärkerer säkularer Trend beobachtet als bei Männern. Die Stammlänge hat bei Männern im Medianwertvergleich um 9 mm zugenommen und bei Frauen um 13 mm, die projektivische Beinlänge bei Männern um 9 mm und bei Frauen um 15 mm. Das bedeutet wiederum einen stärkeren säkularen Trend der Längenmaße bei Frauen gegenüber Männern und einen etwa gleich starken säkularen Zuwachs des Stamm-Rumpf-Bereichs und der Beine bei beiden Geschlechtern. Die übrigen in beiden Stichproben untersuchten Körperteillängen bestätigen diese Ergebnisse.

Auch die Körpermasse hat zugenommen, jedoch weniger, als erwartet. Junge Männer haben im Medianwertvergleich um 3,4 kg zugenommen und junge Frauen mit 1,4 kg um weniger als die Hälfte im Vergleich zu den Männern. Bezogen auf die deutliche säkulare Längenzunahme ist die säkulare Gewichtszunahme im jungen Erwachsenenalter als vergleichsweise gering einzuschätzen. Dies deutet darauf hin, dass sich das säkulare Geschehen nicht in einer gleichmäßigen Zunahme aller Körpermaße ausdrückt, sondern in einem Trend zum Hoch-Schlank-Wuchs. Dies wird durch einen Vergleich der Umfangsmaßen bestätigt. Der Taillenumfang hat im Mittel bei jungen Männern um 17 mm und bei jungen Frauen um 22 mm abgenommen. Der Hüftumfang hat demgegenüber zugenommen, jedoch nur

gering: bei Männern um 6 mm und bei Frauen um 8 mm. Interessanterweise ist auch die Dicke der Unterhautfettgewebsschicht bei den Teilnehmern und Teilnehmerinnen an der Brandenburger Studie etwas dünner als bei der Vergleichsstichprobe aus der DDR. Insgesamt bedeutet dies deutliche Zunahmen in den Längenmaßen gegenüber keinen oder nur verhältnismäßig geringen Zunahmen bei den Korpulenzmaßen.

Ein Vergleich der Brandenburger Studie mit den Angaben des Handbuchs der Ergonomie unter dem Aspekt der säkularen Akzeleration ist auch deshalb nur bedingt möglich, weil nach Angabe des Verfassers (Jürgens 2000) dort der ausländische Bevölkerungsanteil in die Untersuchungen einbezogen, jedoch nicht näher definiert wurde. Eine zusätzliche Auswertung und wissenschaftliche Bearbeitung dieses wertvollen Datenfundus getrennt nach den einzelnen untersuchten Bevölkerungsanteilen wird deshalb an dieser Stelle sowohl aus wissenschaftlicher als auch aus ökonomischer Intention dringend empfohlen. Bei einem Vergleich der hier vorgestellten Ergebnisse mit den Medianwerten der Altersgruppe 20 – 25 Jahre des Handbuchs der Ergonomie fällt auf, dass die dort angegebenen Werte bei Längenmaßen unter denen dieser Studie liegen, während Umfangsmaße und Breitenmaße bei Männern teilweise und bei Frauen deutlich darüber liegen. Die 14 mm kleineren Männer der internationalen Stichprobe des Handbuchs der Ergonomie haben im Vergleich zu der Brandenburger Stichprobe einen 17 mm größeren horizontalen Brustumfang, einen 23 mm geringeren Taillenumfang, einen 8 mm größeren Hüftumfang, 7 mm breitere Schultern, 4 mm schmalere Becken, aber 21 mm breitere Hüften. Die 20 mm kleineren Frauen haben im Vergleich mit der Brandenburger Stichprobe einen 81 mm größeren horizontalen Brustumfang, einen 75 mm größeren Taillenumfang, einen 15 mm größeren Hüftumfang, 10 mm breitere Schultern, 26 mm breitere Becken, aber nur 3 mm breitere Hüften. Das lässt vermuten, dass in Deutschland lebende Ausländer im Vergleich zu der deutschen Bevölkerung breitschultriger sind, jedoch eine deutlich schmalere Taille haben und dass Ausländerinnen im oberen Rumpfbereich wesentlich korpulenter sind als deutsche Frauen, auf ihrem breiteren knöchernen Becken aber wenig Fettgewebe abgelagert haben. Derartige Unterschiede sind aus biologischer Sicht schwer nachvollziehbar.

Anthropometrische Untersuchungen sind zeit- und kostenintensiv. Sie erfordern von allen Beteiligten ein hohes Maß an Ausdauer und von den Untersuchern zusätzlich ein hohes Maß an Gründlichkeit. Zudem wird es zunehmend schwieriger, Personen zu finden, die sich freiwillig als Probanden an anthropometrischen Studien beteiligen. Die Empfindlichkeit der Bevölkerung gegenüber der Feststellung von Körpermesswerten hat seit der öffentlichen Diskussion der Rasterfahndung deutlich zugenommen. Es ist deshalb wünschenswert, bei zukünftigen Studie die Untersuchungsprogramme so abzustimmen, dass bei industrieanthropologischer Zielstellung humanbiologisch wichtige Körpermaße mit einbezogen werden und bei humanbiologischer Zielstellung industrieanthropologisch wichtige Körpermaße. Auf der Grundlage der Leitmaße aus beiden Bereichen können dann mit ihnen hoch korrelierende andere Körpermaße, von denen ältere Daten vorliegen, zumindest zwischenzeitlich bis zu einer grundlegenden neuen Erhebung mit hinreichender Genauigkeit aktualisiert werden. Vor allem ist es notwendig, alle Individualdaten sorgfältig zu konservieren, damit die Möglichkeit erhalten bleibt, einzelne Gruppen jederzeit auch gesondert analysieren zu können, beispielsweise Gleichaltrige aus verschiedenen Jahrzehnten, Stadt- und Landbewohner, Angehörige verschiedener Berufsgruppen, oder die Deutschen in Deutschland.

Literatur

Deutsches Institut für Normung (Hrsg.) (1986): DIN 33402 Körpermaße des Menschen. Beuth – Verlag, Köln.

Flügel B., Greil H., Sommer K. (1986): Anthropologischer Atlas. Grundlagen und Daten. Edition Wötzel, Frankfurt/Main.

Greil H. (1972): Der Körperbau von Männern und Frauen aus der Deutschen Demokratischen Republik – Konstitutionsbiologische Ergebnisse einer 1967 für die Bekleidungsindustrie durchgeführten Querschnittuntersuchung. Math.-Nat. Diss., Humboldt-Univ. Berlin.

Greil H. (1988): Der Körperbau im Erwachsenenalter. Diss. B. (Habilitationsschrift), Med. Fak. HU Berlin.

Greil H. (1989): Mehrdimensionale Variabilität von Körperbaumaßen im Erwachsenenalter. Wiss. Z. Humboldt-Univ. Berlin, R. Med. 37, 212-221.

Greil H. (2001): Wie weit sind wir der DIN 33402 entwachsen? Brandenburgische Umwelt Berichte 10, 7-22

Herm P. (1975): Vorschlag zur Korrektur der Beinlängen-Messung bei anthropometrischen Längsschnittuntersuchungen. Ärztl. Jugendkd. 66, 160-167.

Jürgens H. W. (2000): Körpermaße. Stand 1999. In: Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung (Hrsg.): Handbuch der Ergonomie, 2. Aufl. Bd. 3 Teil B: Ergonomische Datensammlung. Hanser, München.

Knußmann R. (Hrsg. 1988): Anthropologie. Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen. Bd. I, 1. Teil. Gustav Fischer, Stuttgart – New York.

Küchmeister G, Helbig K., Jürgens H. W. (1990): Körpermaße 18-40jähriger Männer. Forschungsbericht aus der Wehrmedizin. Dokumentations- und Fachinformationszentrum der Bundeswehr, Bonn.

Martin R. (1924): Richtlinien für Körpermessungen und deren statistische Verarbeitung mit besonderer Berücksichtigung von Schülermessungen. J. F. Lehmanns Verlag München.

Trippo U. (2000): Körperbau, Körperzusammensetzung und Ernährungsgewohnheiten bei Erwachsenen in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht. Dissertationsschrift, Math.-Nat. Fakultät der Universität Potsdam

Anschrift der Autorin:

Prof. Dr. Holle Greil
FG Humanbiologie
Institut für Biochemie und Biologie
Universität Potsdam
Lennéstr. 7a
14471 Potsdam
greil@rz.uni-potsdam.de

Gruppenspezifische Anthropometrie in der ergonomischen Gestaltung

K.Nagel

Einleitung

Die ergonomische Anpassung eines Arbeitsplatzes an eine Zielpopulation erfordert eine Vielzahl von Informationen. Neben der Kenntnis der technischen Gegebenheiten oder einem Profil der ausübenden Tätigkeiten ist es besonders wichtig, die körpermaßlichen Eigenschaften der Personen zu kennen, für die ein Arbeitsplatz ergonomisch gestaltet werden soll, damit z. B. Abmessungen und Verstellrichtungen angepasst werden können.

Allgemeine Datensammlungen geben ein sehr präzises Abbild über die Körpermaße der Gesamtbevölkerung. Für die Gestaltung eines spezialisierten Arbeitsplatzes ist es aber wünschenswert, hier auch mit detaillierteren Daten arbeiten zu können.

Über die Körpermaße spezieller Berufsgruppen ist bislang nur vereinzelt gearbeitet worden. Eine anwendbare Datensammlung über die Körpermaße von LKW- und Busfahrern im bundesdeutschen Raum liegt bislang nicht vor.

Die Untersuchung der Berufsgenossenschaft Fahrzeughaltungen hat hier eine Datengrundlage geschaffen, um die speziellen anthropometrischen und demographischen Eigenschaften dieser Fahrergruppe in der ergonomischen Gestaltung von Fahrzeugen künftig besser berücksichtigen zu können.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sollen vor allem Hinweise darauf geben

- inwieweit sich die Gruppe der betrachteten LKW- und Busfahrer von der Gesamtbevölkerung unterscheidet,
- in welchen Körpermaßen sie sich von der Gesamtbevölkerung unterscheidet,
- und welche Konsequenzen sich daraus für die ergonomische Gestaltung des Fahrerarbeitsplatzes ergeben.

Stichprobe

Insgesamt wurden im Laufe des gesamten Projektes 1012 anthropometrische Untersuchungen durchgeführt.

Nach Abschluß der Voruntersuchung (26 Untersuchungen) und der Reihenuntersuchungen ergaben sich folgende Stichprobengrößen:

Stichprobe	Anzahl der Probanden
gemischte Stichprobe: Reisebusfahrer(innen)	423 (419 Männer, 4 Frauen)
gezielte Stichprobe: Busfahrerinnen	68 Frauen
LKW-Fahrer	495 Männer

Der geringe Anteil an Frauen (ca. 1%) in der gemischten Stichprobe „Reisebusfahrer(innen) gesamt“ ließ es als sinnvoll erscheinen, gezielt eine reine Stichprobe von busfahrenden Frauen zusammenzustellen, die eine Individuenstärke hat, die allgemeine Aussagen möglich macht.

Bei den gemessenen Frauen in dieser gesonderten Stichprobe handelt es sich allerdings vielfach um Fahrerinnen, die in ihren Betrieben sowohl im Linien- als auch im Reisebus-Verkehr eingesetzt werden.

Um repräsentative Aussagen zu erhalten wurde bei der Datenerhebung auch eine mögliche regional bedingte Streuung der Körpermaße berücksichtigt (Abb. 1).

Die Daten der anthropometrischen Untersuchungen wurden getrennt für die Fahrergruppen aufbereitet und in Form von Perzentilwerten für die praktische Anwendung zur Verfügung gestellt. Für jede Fahrergruppe wurden die ergonomisch relevanten Werte des 5., 50. Und 95. Perzentils errechnet. Da bei der vorliegenden Stichprobe nicht mit Sicherheit von einer Normalverteilung ausgegangen werden kann, wurden empirische Perzentile ermittelt.

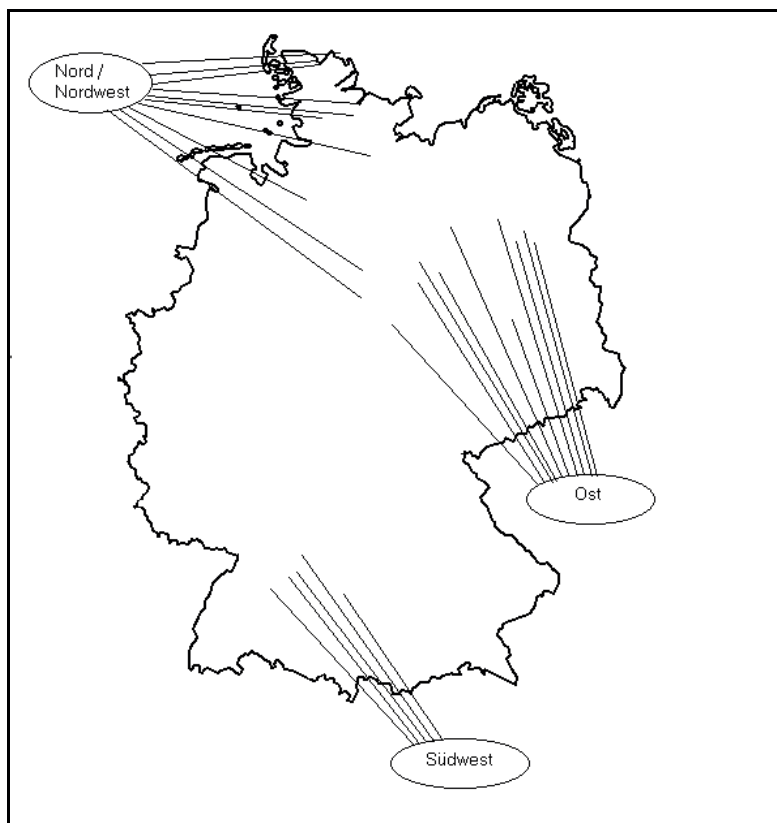


Abb. 1: Meßorte der anthropometrischen Reihenuntersuchung

Ergebnisse

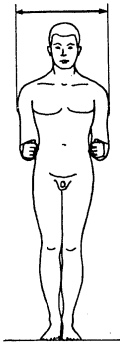

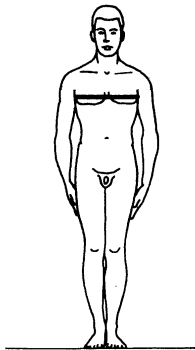
LKW-Fahrer im Vergleich mit der Gesamtbevölkerung

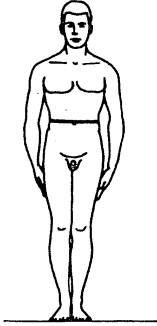

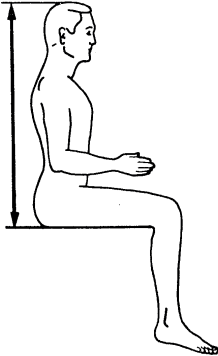
Exemplarisch für die Anthropometrie spezieller Fahrer sollen hier die LKW-Fahrer betrachtet werden. Nach den Ergebnissen der Stichprobe weichen LKW-Fahrer in Deutschland in acht Körpermaßen von der männlichen Gesamtbevölkerung ab. Diese Abweichungen sind nicht durchgehend bei allen Perzentilwerten eines Körpermaßes und auch nicht mit einheitlichem Ausmaß festzustellen.

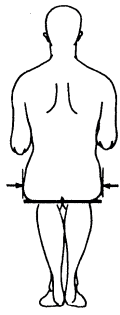
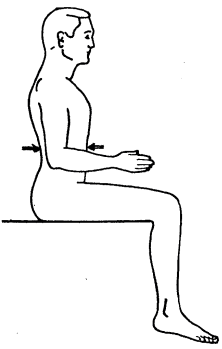
Werden die Differenzwerte in der folgenden Tab. 1 zusammengefaßt, so ergibt sich im Hinblick auf den Körperbautyp bei dieser Berufsgruppe im Vergleich mit der Gesamtbevölkerung das folgende Bild:

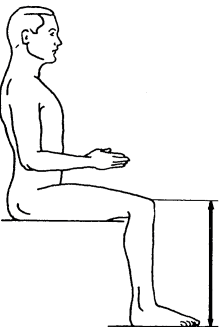
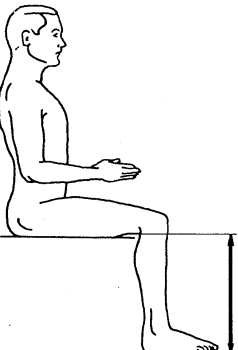
- LKW-Fahrer weisen hinsichtlich der Körperhöhen, der Länge der oberen Extremitäten, Fuß-, Hand- und Fingermaße keine ergonomisch relevanten Unterschiede zur Gesamtbevölkerung auf.
- LKW-Fahrer haben insgesamt (d.h. über die gesamte Verteilung des Maßes und der Perzentilwerte P5, P50 und P95) ein erheblich höheres Körpergewicht als die Vergleichsgruppe.
- LKW-Fahrer weisen bei Umfangsmaßen am Rumpf erheblich höhere Maße auf, entsprechend sind die Werte der Schulterbreite, Ellenbogenbreite, Sitzbreite und Körpertiefe abdominal vergleichsweise höher.
- LKW-Fahrer zeigen eine Tendenz zu vergleichsweise größeren Stammlängen und geringeren Beinmaßen (Kniehöhe, Unterschenkellänge), was im Zusammenhang mit der Körperhöhe auf das Auftreten von Proportionsverschiebungen zum sog. „Sitzriesen“ hinweist.

Tab. 1: Vergleich der Körpermaße von LKW-Fahrern mit der männlichen Gesamtbevölkerung. Dargestellt werden jeweils nur die abweichenden Maße

Körpermaß	Positive Abweichungen der LKW-Fahrer von der Gesamtbevölkerung [mm]			
	P5	P50	P95	
Schulterbreite 			+24	
Ellenbogenbreite 	+50	+51	+93	+
Brustumfang 	+14	+52	+108	

Körpermaß	Positive Abweichungen			
	P5	P50	P95	
Taillenumfang 	+18	+80	+133	
Gesäßumfang 			+35	+
Stammlänge 		+15	+15	

Körpermaß	Positive Abweichungen			
Sitzbreite 			+12	+
Körpertiefe 		+18	+49	
Körpermaß	Positive Abweichungen			
	P5	P50	P95	
	[kg]			
Körpergewicht	+2,9	+8,0	+18,6	

Körpermaß	Negative Abweichungen der LKW-Fahrer von der Gesamtbevölkerung [mm]		
	P5	P50	P95
Kniehöhe 	-13	-16	
Unterschenkellänge 	-13		

Die Aufstellung von Perzentilen für jedes einzelne Körpermaß stellt einen ersten grundlegenden Schritt dar. Auf diese Weise kann die Maßverteilung innerhalb einer betrachteten Gruppe beschrieben werden. In der ergonomischen Gestaltung können mit diesen Werten Einzelaspekte der Gestaltung, wie Verstellbereiche und Freiräume, bearbeitet werden. In der Praxis werden für die CAD-Umgebung häufig Menschmodelle eingesetzt, die Repräsentanten für bestimmte Prüfgrößen darstellen (5. Perzentil Frau, 95. Perzentil Mann).

Die aktuell ermittelten Körpermaße der Lkw- und Busfahrer ermöglichten die Erstellung von speziellen Typen des Menschmodells RAMSIS, die sich von denjenigen, die aus der Gesamtbevölkerung ermittelt wurden, deutlich unterscheiden. Die zur Gesamtbevölkerung abweichenden Maße werden hier auch visuell erfassbar und die Auswirkungen vor allem der höheren Umfangsmaße lassen sich leicht erschließen.

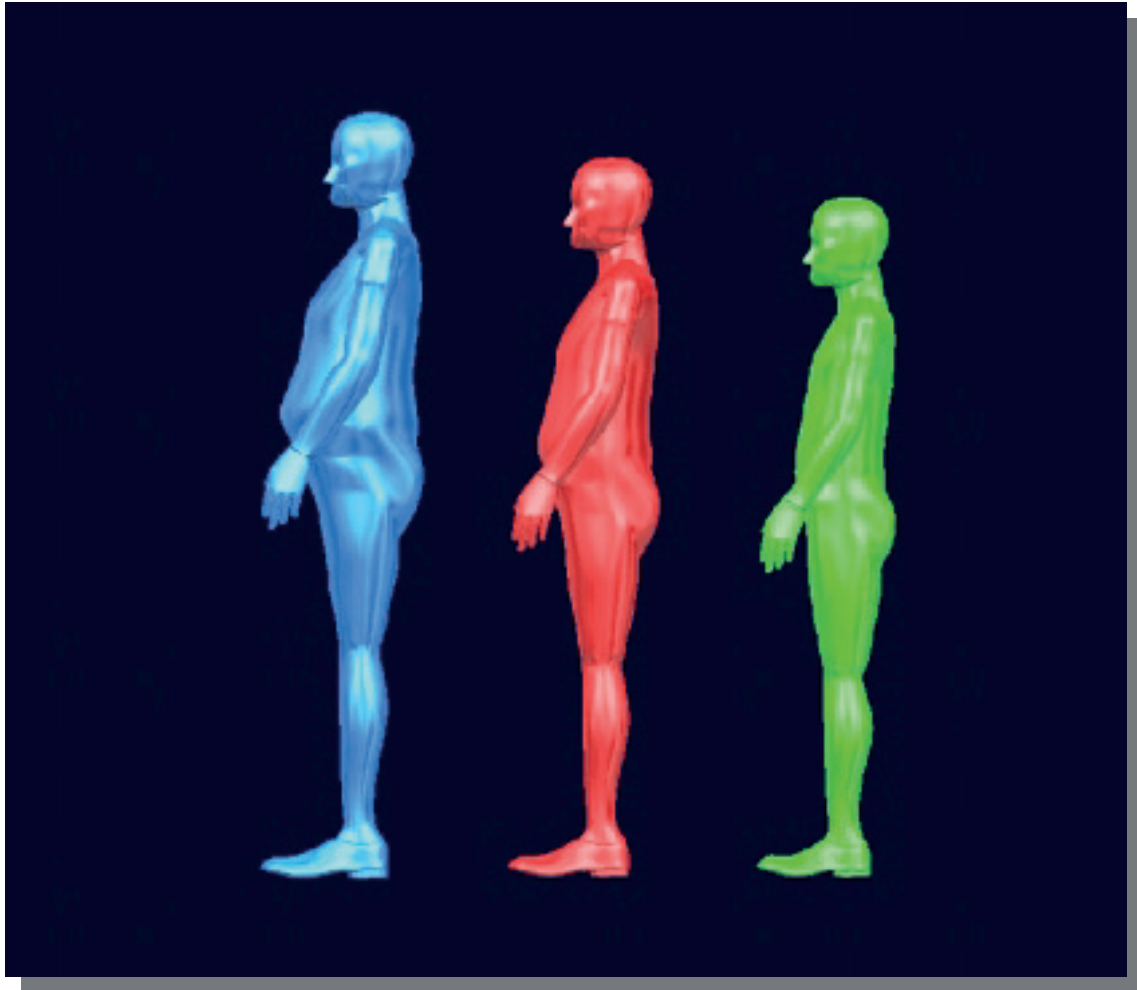


Abb. 2: Ramsis-Typ LKW-Fahrer (Perzentile 95, 50 und 5, männlich)

Diese „künstliche“ Zusammenstellung der Maße berücksichtigt dabei jedoch nicht die individuelle Perzentilstreuung des Menschen. Ein normales Individuum besitzt praktisch nie die gleichen Perzentilwerte für alle relevanten Körpermaße, auch wenn bestimmte Maße deutlich korrelieren. Die Unterschiedlichkeit der Kombination von Maßen wird am Phänomen der sog. Sitzriesen und Sitzzwerge deutlich, die bei gleicher Körperhöhe deutlich unterschiedliche Stamm- und Beinlängen besitzen können.

Die Kenntnis der individuellen Kombinationen der Maße der gemessenen Personen ermöglicht hier aber, durch weitergehende statistische Analysen, zusätzlich die Erstellung realistischerer Modellmenschen, die zwar in der ergonomischen Prüfung noch nicht standardmäßig eingesetzt werden, die aber eher die natürliche Perzentilstreuung repräsentieren könnten.

Anschrift der Autorin:

Dipl.-Biol. Katja Nagel
DaimlerChrysler AG
FTK/A 059-HPC X 606
71059 Sindelfingen
katja.nagel@daimlerchrysler.com

Wachstum und Variabilität im Körperbau und ihre Berücksichtigung bei industriellen Größensystemen

H. Greil

Einleitung

Die Qualität von Industrieprodukten, mit denen der Körper oder Körperteile des Nutzers häufig oder langfristig in Berührung kommen, kann erhöht werden durch eine menschlich maßgerechte und funktionsgerechte Gestaltung. Dies erfordert bei vielen Produkten aus der körpernahen Umwelt des Menschen die Fertigung in unterschiedlichen Größen oder die Berücksichtigung von Verstellbarkeitsbereichen. Die Aufnahme jeder neuen Größe in das Sortiment verursacht jedoch Kosten sowohl bei der Produktion als auch bei der Lagerhaltung. Es ist deshalb das Ziel des Herstellers, mit möglichst wenigen dem Körper gut angepassten Größen oder möglichst geringen zweckmäßigen Verstellbarkeitsbereichen die Bedürfnisse einer maximalen Anzahl von Nutzern bzw. Käufern zufrieden zu stellen.

Eine effektive Größengestaltung erfordert Kenntnisse über die Variabilität einzelner Körpermerkmale, beispielsweise einzelner Körpermaße. Sie erfordert darüber hinaus auch Kenntnisse über die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Merkmalen. Beispielsweise wissen Anthropologen, dass hochwüchsige Erwachsene trotz ihrer großen Körperhöhe im Durchschnitt weniger wiegen als kleine oder dass Armlängenmaße und Beinlängenmaße sehr hoch miteinander korreliert sind, beide Maßgruppen aber relativ unabhängig von der Rumpflänge variieren. Derartiges Wissen muss erworben, dokumentiert, aktualisiert und dem Konstrukteur und Hersteller in geeigneter Weise zugänglich gemacht werden, damit es bei der Entwicklung von Größensystemen genutzt werden kann. Voraussetzung für diesen Wissenserwerb ist die Messung des menschlichen Körpers und seiner Leistungen und Funktionen nach den Kriterien der wissenschaftlichen Anthropometrie. Industrieanthropologische Körpermessungen und die Entwicklung darauf aufbauender Größensysteme müssen bestimmten Kriterien genügen, wenn die oben gestellten Ziele erreicht werden sollen.

Qualitätskriterien für Größensysteme körpernaher Industrieprodukte

Qualitätskriterien für anthropometrisch fundierte Größensysteme körpernaher Industrieprodukte sind:

Stichprobenumfang und Stichprobenzusammensetzung:

Da die anthropometrischen Merkmale niemals an allen Personen bestimmt werden können, die als potentielle Nutzer des Produkts in Frage kommen, werden die Merkmale, beispielsweise die

Körpermaße, an den Personen einer Stichprobe bestimmt. Diese Stichprobe muss für die potentielle Nutzerpopulation im Rahmen der erforderlichen Genauigkeit repräsentativ sein. Es ist nicht immer notwendig, für die Gestaltung eines Produktes spezielle Messungen durchzuführen. Nicht selten sind Problemlösungen in Zusammenarbeit mit Industrieanthropologen unter Nutzung der in anthropometrischen Datenbanken gespeicherten individuellen Datensätze und deren Spezialauswertung möglich oder es können mit Hilfe dieser Datensätze wichtige Vorentscheidungen getroffen werden.

Körpermessungen und Messdatenkontrolle:

Unabhängig davon, ob neue Körpermessungen notwendig sind oder nicht, kann in gegenseitiger Beratung zwischen Produktgestaltern und Anthropologen erarbeitet werden, welche Körpermaße produktrelevant sind und damit unbedingt mit ausreichender Zuverlässigkeit bekannt sein müssen.

Stehen keine oder nur ein Teil der zur Problemlösung nutzbaren Individualdaten zur Verfügung, so kann – wiederum in gegenseitiger Beratung zwischen Produktgestaltern und Industrieanthropologen – entschieden werden, ob vollständige Neuuntersuchungen notwendig sind, oder ob in einer anthropologischen Datenbank gespeicherte Individualdaten aktuell genug sind, um mitgenutzt zu werden. Da eine gezielte Neuauswertung vorhandener Daten unter speziellen industriellen Zielstellungen häufig bereits eine große Hilfe bei der Produktgestaltung ist, soll an dieser Stelle an alle Untersucher und Verantwortlichen für anthropometrische Daten appelliert werden, Individualdatensätze generell in abrufbarer Form zu konservieren. Wenn neue Körpermessungen notwendig sind, so sind eine gründliche anthropometrische Ausbildung der Untersucher und die Kontrolle ihrer Messergebnisse unerlässlich. Fehlersuche und Fehlerbereinigung sind wichtige Bestandteile einer anthropometrischen Studie. Die Fehlersuche erfolgt zunächst anhand der Variabilität von Einzelwerten. Es hat sich bewährt, grundsätzlich sämtliche Messwerte manuell zu überprüfen, die außerhalb eines Bereichs von $\xi \pm 4 s$ liegen. Im Anschluss an diese Filterung empfiehlt sich eine Messwertüberprüfung anhand logischer Ketten. Da bei einem Menschen beispielsweise die Unterarmlänge kürzer ist als die Oberarmlänge oder die Brustkorbtiefe geringer als die Brustkorbbreite, können diese Proportionen als Prüfkriterien eingesetzt werden. Eine statistische Grundauswertung und erforderliche Spezialauswertungen sollten grundsätzlich nur an fehlerbereinigten Daten durchgeführt werden, da grobe Fehler zu völligen Fehlinterpretationen führen können.

Bestimmung von Perzentilwerten der untersuchten Merkmale:

In der Regel werden Produkte nicht allein an einen „mittleren Menschen“ angepasst, sondern an männliche und/oder weibliche Personen eines mehr oder weniger streng definierten Altersbereichs. Wichtig für jede maßlich am Nutzer orientierte Produktgestaltung sind deshalb Kenntnisse über die Variabilität der produktrelevanten Körpermaße. Die Variabilität von Körpermaßen ist sehr unterschiedlich. Rumpfdurchmesser und Rumpfumfänge variieren stärker als die Körperhöhe und Körperteillängen. Es kommt hinzu, dass bei vielen Körpermaßen, insbesondere bei Maßen der Korpulenz, die Bandbreite der Einzelwerte nicht symmetrisch um den Mittelwert verteilt ist und damit keine Normalverteilung im mathematischen Sinn vorliegt. In einem solchen Fall geben das arithmetische Mittel (ξ) und die Standardabweichung (s) nicht die wahre Verteilung der Einzelwerte an. Verteilungsunabhängige statistische Größen sind deshalb zur Berechnung von Mittelwerten und Variabilitätskriterien von Körpermaßen besser geeignet. Sie entsprechen stets der Realität, wenn sie aus genügend tragfähigen Stichproben stammen. Bewährt hat sich die Berechnung von Häufigkeitswerten, d.h. von empirischen Perzentilwerten. Sie zeigen jeweils den Messwert an, der von einem definierten Prozentsatz der gemessenen Menschen maximal erreicht wird: Um 1989 waren nach den Ergebnissen einer gesamtdeutschen Stichprobe (Stichprobe D 89 bei Greil 2001) in Deutschland 1 % der Frauen im Alter zwischen 18 – 64 Jahre 149,1 cm groß oder kleiner, 5 % waren 152,9 cm groß oder kleiner, 50 % waren 166,7 cm groß oder kleiner, 95 % waren 174,8 cm groß oder kleiner

und 99 % waren 178,3 cm groß oder kleiner. Die Perzentilwerte 1, 5, 50, 95, 99 einzelner Körpermaße werden mit der Zielstellung ihrer Nutzung in der Industrie häufig zur Kennzeichnung der Größenbereiche sehr klein, klein, mittel, groß und sehr groß benutzt und gemeinsam mit einer Abbildung, der Messstreckendefinition, der Messmethode und dem zu verwendenden Messinstrument publiziert (Abb. 1).

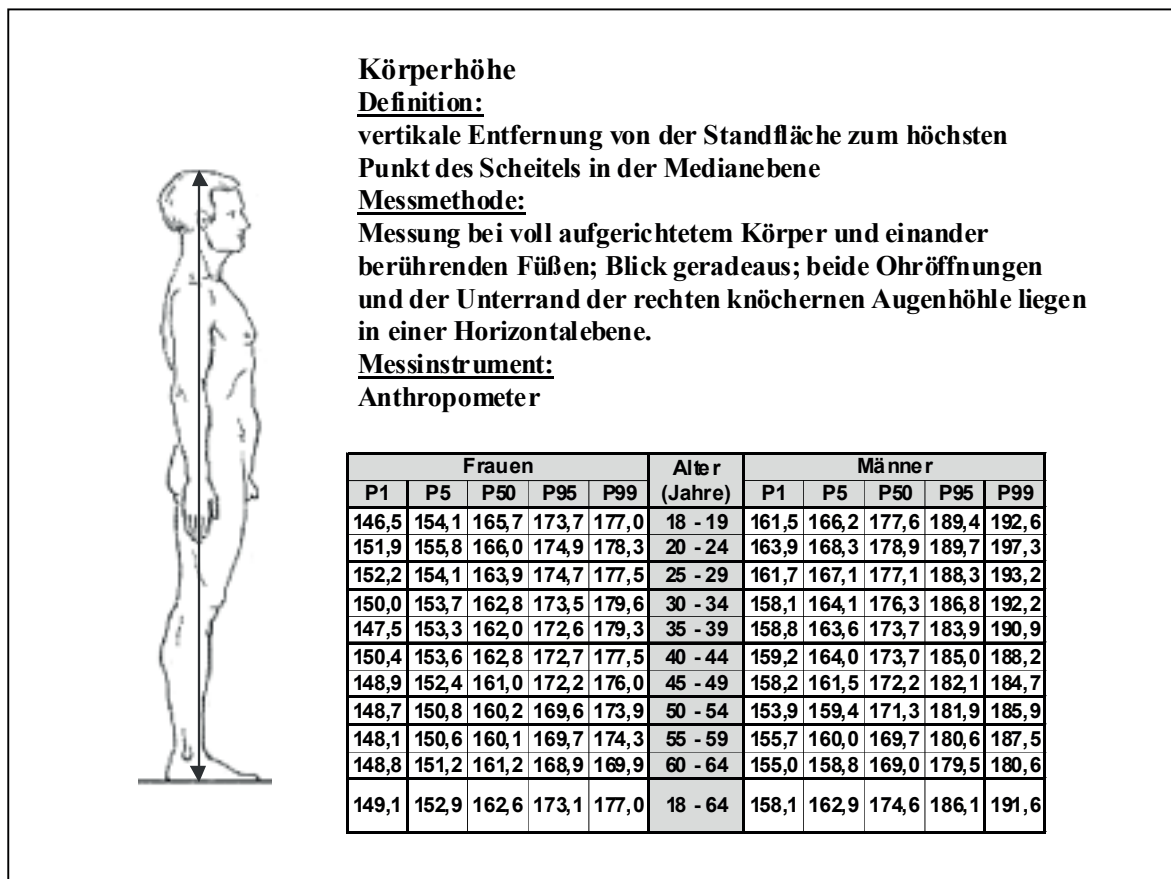


Abb. 1: Definition, Messmethode und Perzentilwerte der Körperhöhe

Bestimmung von Häufigkeiten in definierten Merkmalsbereichen bei einzelnen Körpermaßen:

Auch bei eindimensionalen Größensystemen, d.h. wenn zur Festlegung einer Größe nur Informationen über eine einzige Messstrecke benötigt werden, reichen drei oder fünf Perzentilwerte für ein Konstruktionsvorhaben häufig nicht aus. Wesentlich ist darüber hinaus die Frage, wie viele potentielle Nutzer oder Käufer in einzelnen Größenbereichen vorkommen. Dabei sollen diese Größenbereiche möglichst genau angegeben werden können, beispielsweise für jeden Zentimeter. Es interessiert beispielsweise in der Baufahrzeugindustrie die Frage, auf wieviel Prozent der als Nutzer eines passgerecht produzierten Produktes in Frage kommenden Bevölkerungsgruppe als Käufer verzichtet wird, wenn der Verstellbarkeitsbereich für einen Baufahrzeugsitz um einen oder um drei Zentimeter geringer ist. Dies ist eine Frage der Verteilungsdichte der einzelnen Messwerte von Körpermaßen, die bei der Produktgestaltung wesentlich berücksichtigt werden müssen. Bei dem angeführten Beispiel ist die Verteilungsdichte der Fußreichweite von Bedeutung, d.h. der Entfernung zwischen dem am weitesten nach hinten ausladenden Punkt im Bereich des Gesäßes und der Fußsohle im Fersenbereich bei voll gestrecktem Bein. Besonders häufig wird die Verteilungsdichte der Messwerte der Körperhöhe benötigt.

Die größte Verteilungsdichte der Individualwerte eines Körpermaßes liegt stets in der Mitte der Verteilungskurve. Einen Eindruck von der Normalverteilungskurve der Körperhöhe gibt Abb. 2.

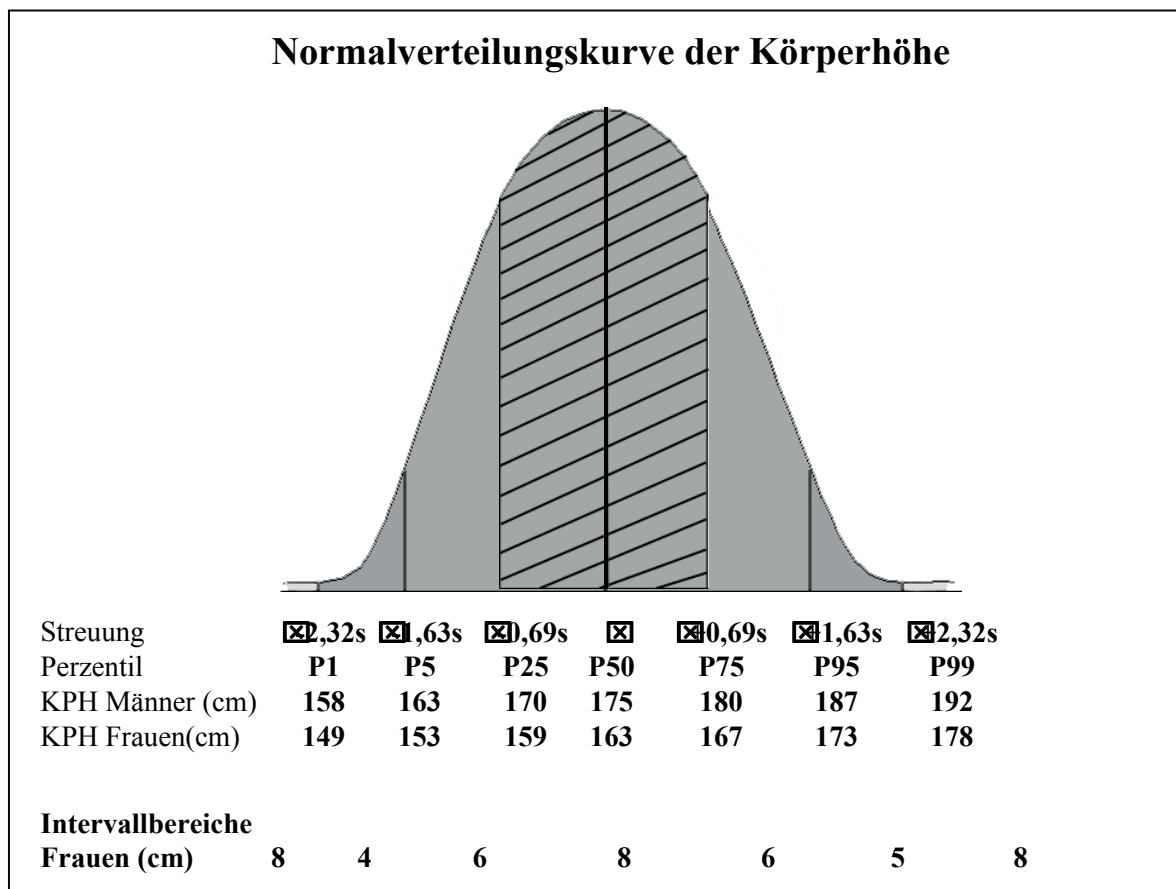


Abb. 2: Verteilungskurve (Dichtekurve) der Körperhöhe

Die Hälfte der Frauen (P25 – P75) hat eine Körperhöhe innerhalb des Achtzentimeterintervalls zwischen 159 cm und 167 cm. Bei Männern liegt dieser Hälftenspielraum zwischen 170 cm (P25) und 180 cm (P75). An den Verteilungsrändern werden mit einem Intervallbereich von 8 cm aber nur jeweils 1 % der Personen erfasst, die im weiblichen Geschlecht noch kleiner sind als 149 cm bzw. noch größer als 178 cm und im männlichen Geschlecht noch kleiner als 158 cm bzw. noch größer als 192 cm. Bei normalverteilten Körpermaßen wie der Körperhöhe, bei denen das arithmetische Mittel ξ und das Häufigkeitsmittel P50 identisch sind und die Verteilungsdichte unter der Kurve und damit die Verteilungskurve selbst symmetrisch sind, kann man mit parametrischen statistischen Verfahren definierte kumulative Häufigkeiten berechnen. In Abb. 3 wird dies für die Körperhöhen von Männern und Frauen in den Altersbereichen 18 – 64 Jahre, 18 – 39 Jahre und 40 – 64 Jahre gezeigt. Zur Erklärung der Handhabung kumulativer Häufigkeitstabellen ist die Körperhöhenmarke 170 cm herausgegriffen. 87,6 % der Frauen im Altersbereich 18 – 64 Jahre, aber nur 25,6 % der Männer im selben Altersbereich sind 170 cm groß oder kleiner bzw. nur 12,4 % der Frauen aber 74,4 % der Männer sind größer als 170 cm. Bei einer getrennten Betrachtung von jüngeren (18 – 39 Jahre) und älteren (40 – 64 Jahre) Erwachsenen wird deutlich, dass für eine jüngere Zielgruppe mit größeren Häufigkeiten im Bereich größerer Körperhöhen gerechnet werden muß, Produkte für ältere Käufer jedoch mit kleineren Körperhöhen passgerechter gestaltet werden können. Diese Erkenntnis ist nicht neu. Von praktischem Interesse ist jedoch die Möglichkeit, mit Hilfe von kumulativen Häufigkeiten relativ genau kalkulieren zu können, wie sich die Häufigkeiten einzelner bei der Produktgestaltung zu berücksichtigender Körpermaße in beliebigen Größenbereichen verhalten. Besonders wichtig sind

dabei in der Regel die Randbereiche der Verteilung. Während sich im gesamten untersuchten Altersbereich (18 – 64 Jahre) im Einzentimeterbereich von 162,0 cm bis 163,0 cm 4,6 % aller Frauen mit ihrer Körperhöhe befinden, sind es im Dreizentimeterbereich von 182,0 cm bis 185,0 cm insgesamt nur 0,1 % (Abb. 3, linke Spalte). In demselben Körperhöhenbereich befinden sich aber 7,3 % der gleichaltrigen Männer (Abb. 3, 2. Spalte von links). 99,8 % der Frauen haben eine Körperhöhe zwischen 144 cm und 182 cm. Nur jeweils 0,1 % sind noch kleiner oder noch größer. 99,8 % der Männer haben eine Körperhöhe zwischen 152 cm und 198 cm. Nur jeweils 0,1 % sind noch kleiner oder noch größer. Kumulative Häufigkeitstabellen erlauben somit, Aussagen darüber zu treffen, wieviel Prozent einer Bevölkerung oder einer Bevölkerungsgruppen maßlich berücksichtigt werden, wenn ein bestimmter Größenbereich in die Produktgestaltung einbezogen wird. Ebenso ist es möglich zu kalkulieren, wieviel Prozent unberücksichtigt bleiben, wenn bei der Projektierung eines Produktes ein definierter Größenbereich nicht mit einbezogen wird.

cm	Frauen 18-64	Männer 18-64	Frauen 18-39	Männer 18-39	Frauen 40-64	Männer 40-64	cm
142	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	142
143	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	143
144	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	144
145	0,2	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	145
146	0,2	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	146
147	0,3	0,0	0,2	0,0	0,4	0,0	147
148	0,5	0,0	0,4	0,0	0,7	0,0	148
149	0,9	0,0	0,4	0,0	1,5	0,0	149
150	1,5	0,0	0,7	0,0	2,3	0,1	150
151	2,2	0,0	1,2	0,0	3,5	0,1	151
152	3,4	0,1	1,7	0,1	5,4	0,1	152
153	5,3	0,1	3,0	0,1	7,9	0,1	153
154	7,7	0,2	4,6	0,1	11,2	0,3	154
155	10,9	0,3	7,1	0,1	15,4	0,6	155
156	13,7	0,4	9,3	0,1	18,7	0,7	156
157	18,0	0,6	12,9	0,3	24,0	1,1	157
158	22,3	0,9	16,0	0,4	29,5	1,5	158
159	27,4	1,5	20,7	0,7	35,0	2,4	159
160	33,4	2,0	26,0	0,9	41,8	3,5	160
161	39,9	2,9	32,1	1,2	49,0	5,0	161
162	46,1	3,9	37,6	1,7	55,9	6,6	162
163	52,7	5,1	44,1	2,3	62,7	8,7	163
164	58,9	6,9	50,2	3,2	69,0	11,6	164
165	64,4	9,1	55,7	4,3	74,4	15,2	165
166	70,0	11,5	61,7	5,5	79,7	19,2	166
167	75,0	13,9	67,5	7,1	83,7	22,4	167
168	79,3	17,0	72,9	9,3	86,7	26,7	168
169	83,3	20,9	77,9	12,2	89,6	32,0	169
170	87,6	25,2	83,5	15,3	92,3	37,6	170
171	90,4	30,0	87,0	19,3	94,2	43,6	171
172	92,9	35,2	90,4	23,8	95,7	49,6	172
173	94,8	40,4	92,9	28,4	96,9	55,7	173
174	96,2	45,9	94,9	33,1	97,6	62,2	174
175	97,3	51,6	96,4	39,0	98,4	67,6	175
176	98,3	57,1	97,5	44,9	99,2	72,6	176
177	99,0	62,6	98,5	50,6	99,5	77,7	177
178	99,3	67,5	98,9	56,3	99,8	81,8	178
179	99,6	73,2	99,3	63,3	100,0	85,6	179
180	99,7	78,3	99,5	69,7	100,0	89,1	180
181	99,8	82,3	99,6	74,8	100,0	91,9	181
182	99,9	85,6	99,8	79,0	100,0	94,0	182
183	99,9	88,3	99,9	82,7	100,0	95,5	183
184	99,9	90,9	99,9	86,3	100,0	96,7	184
185	100,0	92,9	99,9	89,2	100,0	97,7	185
186	100,0	94,7	99,9	91,8	100,0	98,5	186
187	100,0	96,1	100,0	93,9	100,0	98,9	187
188	100,0	96,9	100,0	95,1	100,0	99,2	188
189	100,0	97,6	100,0	96,1	100,0	99,6	189
190	100,0	98,3	100,0	97,1	100,0	99,9	190
191	100,0	98,9	100,0	98,0	100,0	99,9	191
192	100,0	99,1	100,0	98,4	100,0	99,9	192
193	100,0	99,4	100,0	99,0	100,0	100,0	193
194	100,0	99,5	100,0	99,1	100,0	100,0	194
195	100,0	99,7	100,0	99,4	100,0	100,0	195
196	100,0	99,7	100,0	99,5	100,0	100,0	196
197	100,0	99,8	100,0	99,6	100,0	100,0	197
198	100,0	99,9	100,0	99,6	100,0	100,0	198
199	100,0	99,9	100,0	99,9	100,0	100,0	199
200	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	200

Körperhöhe: kumulative Häufigkeit

cm	Frauen 18-64	Männer 18-64	Frauen 18-39	Männer 18-39	Frauen 40-64	Männer 40-64	cm
170	87,6	25,6	83,5	15,3	92,3	37,6	170
170	12,4	74,4	16,5	84,7	7,7	62,4	170

Abb. 3: Kumulative Häufigkeit der normalverteilten Körperhöhe

Bei Körpermaßen, deren Einzelwerte keiner Normalverteilung folgen – das sind viele Breiten- und Tiefenmaße und fast alle Körperumfänge – können parametrische Verfahren nicht eingesetzt werden. Sie führen zu falschen Ergebnissen. Es muss nach nichtparametrischen Verfahren gesucht werden, um richtige kumulative Häufigkeitstabellen aufstellen zu können. Diese Verfahren sind weitaus komplizierter als die parametrischen. Sie können in der Praxis erst angewendet werden, seit es schnelle Rechenanlagen mit ausreichend Speicherplatz gibt. Ein geeignetes Verfahren zur kumulativen Häufigkeitsberechnung bei nicht normalverteilten Körpermaßen ist die Kerndichteschätzung, deren Rechenweg in Abb. 4 wiedergegeben ist. Die Kerndichteschätzung ermöglicht sowohl die Berechnung definierter Perzentile als auch die Berechnung kumulativer Häufigkeiten.

Berechnung von Häufigkeiten bei nicht normalverteilten Merkmalen durch Kerndichteschätzung

Stichprobe: 9107 Testpersonen
 Alter: 18 – 64 Jahre
 Geschlecht: 6047 Männer + 3060 Frauen

Kerndichteschätzung

$$f_{\lambda}(x) = \frac{1}{n\lambda} \sum_{i=1}^n K_0\left(\frac{x - x_i}{\lambda}\right)$$

wenn λ = stichprobenspezifische Bandbreite
 und Q = interquartiler Wertebereich
 und c = Dichtegenauigkeit

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt[5]{n}} * Q * c$$

bei $K_0(t)$ = Kerndichte des NV-Modells



$$K_0(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2}$$

Abb. 4: Kerndichteschätzung zur Berechnung von Häufigkeiten bei nicht normalverteilten

In Abb. 5 ist dargestellt, wie bei industrieanthropologischen Tafelwerken Körpermaßwerte zur Nutzung bei der Konstruktion körpernaher Industrieprodukte sowohl für definierte Perzentile (P1, P5, P50, P95, P99) als auch für definierte skalierte Größenbereiche (28 cm – 53 cm) im Einzentimeterintervall publiziert werden können.

Größte Körpersitzbreite
Definition:
 horizontale Entfernung zwischen den am weitesten seitwärts ausladenden Punkten im Bereich der Oberschenkel und der Hüfte
Messmethode:
 Messung bei voll auf der Sitzfläche aufliegenden Oberschenkeln. Unterschenkel hängen frei herunter und berühren einander.
Messinstrument:
 Stangenzirkel

cm	Frauen		Männer		Frauen		Männer		cm
	18-64	18-64	18-39	18-39	40-64	40-64	40-64	40-64	
28,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	28,0	
29,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	29,0	
30,0	0,0	0,3	0,0	0,5	0,0	0,1	0,1	30,0	
31,0	0,1	1,0	0,1	1,5	0,0	0,4	0,4	31,0	
32,0	0,5	2,9	0,4	4,6	0,5	0,7	0,7	32,0	
33,0	1,6	6,8	1,8	10,5	1,3	2,0	2,0	33,0	
34,0	4,1	14,6	5,5	20,9	2,4	6,7	6,7	34,0	
35,0	8,0	27,7	10,8	36,5	4,8	16,6	16,6	35,0	
36,0	15,1	44,2	20,2	53,3	9,3	32,8	32,8	36,0	
37,0	24,0	60,7	32,1	69,1	14,7	50,1	50,1	37,0	
38,0	35,2	74,7	44,3	79,9	24,6	68,1	68,1	38,0	
39,0	47,0	85,3	57,3	88,1	35,1	81,9	81,9	39,0	
40,0	57,6	92,3	67,6	93,5	46,1	90,9	90,9	40,0	
41,0	68,4	96,1	77,4	96,2	58,0	95,9	95,9	41,0	
42,0	77,1	97,8	84,5	97,7	68,6	97,9	97,9	42,0	
43,0	83,5	99,0	89,6	98,9	76,4	99,1	99,1	43,0	
44,0	88,8	99,6	92,9	99,7	84,0	99,6	99,6	44,0	
45,0	92,7	99,8	95,7	99,8	89,2	99,9	99,9	45,0	
46,0	95,5	99,9	97,3	99,9	93,3	99,9	99,9	46,0	
47,0	97,3	99,9	98,5	99,9	95,9	99,9	99,9	47,0	
48,0	98,6	100,0	99,1	99,9	98,0	100,0	100,0	48,0	
49,0	99,4	100,0	99,5	100,0	99,2	100,0	100,0	49,0	
50,0	99,7	100,0	99,8	100,0	99,5	100,0	100,0	50,0	
51,0	99,9	100,0	99,9	100,0	99,8	100,0	100,0	51,0	
52,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	100,0	100,0	52,0	
53,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	100,0	100,0	53,0	

Frauen					Alter (Jahre)	Männer				
P1	P5	P50	P95	P99		P1	P5	P50	P95	P99
30,6	33,1	36,8	42,2	46,3	18-19	29,6	30,4	33,6	37,9	43,6
32,2	33,4	37,9	42,8	46,9	20-24	31,1	32,3	35,1	40,1	42,2
33,0	34,1	38,6	44,8	47,6	25-29	31,2	32,7	36,2	40,0	42,1
33,1	34,5	39,2	46,0	48,9	30-34	32,0	33,1	36,2	41,2	43,7
32,5	34,2	39,1	45,2	48,1	35-39	32,2	33,3	36,7	41,1	43,4
31,8	34,6	39,6	45,6	47,6	40-44	32,7	33,8	36,9	40,6	42,7
32,7	35,0	39,9	46,3	48,2	45-49	32,1	33,5	37,1	40,7	43,5
33,8	35,5	40,9	46,5	48,4	50-54	32,4	33,5	36,9	40,8	42,1
32,7	35,4	41,0	47,6	50,1	55-59	33,1	33,8	37,1	40,9	42,8
33,3	36,1	40,3	46,8	47,6	60-64	32,9	34,2	37,1	40,8	44,1
32,7	34,3	39,2	45,7	48,3	18-64	31,1	32,7	36,3	40,6	43,1

Abb. 5: Definition, Messmethode, Perzentilwerte und kumulative Häufigkeiten bei der größten Körpersitzbreite

Das Beispiel betrifft die größte Körpersitzbreite, ein Maß, dass bei der Planung der Breite von Sitzen von Bedeutung ist und bei dem die Verteilungskurve stark asymmetrisch ist und keiner Normalverteilung folgt. Im Unterschied zur Körperhöhe ist die größte Körpersitzbreite bei Frauen größer als bei Männern. Sitze, die zur Benutzung sowohl durch Männer als auch durch Frauen projiziert werden, müssen in ihrer Breite also nach den Werten der Frauen ausgelegt werden.

Berücksichtigung der säkularen Akzeleration:

Einmal bestimmte Körpermaße behalten nur für einen gewissen Zeitraum ihre Gültigkeit, weil der Körperbau von Bevölkerungen sich durch Migration und säkulare Akzeleration im Laufe der Zeit verändert. Dies gilt sowohl für das Kindes- und Jugendalter als auch für das Erwachsenenalter. Für Größensysteme, in denen Körperlängen als Hauptmaße eingesetzt werden, sind die säkulare Veränderung der Körperhöhe und der Körperlängen im Verhältnis zur Körperhöhe von Bedeutung. Dies wird in Abb. 6, Abb. 7 und Abb. 8 für den Altersbereich 6 – 19 Jahre im Zusammenhang mit der Projektierung von Schulgestühl dargestellt. Im Zehnjahresvergleich zwischen 1989 und 1999 (Untersuchungsjahre 1987 – 1991 und 1997 – 2000) hat die Körperhöhe 6 Jahre alter Jungen im Mittel um 4,2 cm zugenommen, die der Mädchen um 3,0 cm. 19 Jahre alte Jungen und Mädchen waren 1999 1,4 cm größer als 10 Jahre zuvor. Da sich auch die Zeitspanne, in der Mädchen entwicklungsbedingt im Mittel größer sind als gleichaltrige Jungen, vorverlagert hat, handelt es sich um eine echte Akzeleration im Sinne einer Wachstumsbeschleunigung. Wichtig für die Projektierung von Schulgestühlmaßen sind nicht nur die Veränderungen der Mittelwerte, sondern auch Veränderungen der Variabilität und der Häufigkeitsverteilung. Aus den Körperhöhenkurven in Abb. 7 geht hervor, dass die Spannweite der Körperhöhe im Schulalter sich zumindest bei Jungen nicht oder kaum verändert hat. Die Erhöhung der Mittelwerte resultiert offenbar daraus, dass bei gleicher Variabilität sowohl kleinwüchsige Jungen mit Körperhöhenwerten unterhalb des 10. Perzentils als auch hochwüchsige Jungen mit Körperhöhenwerten oberhalb des 90. Perzentils größer geworden sind. Diese Verschiebung der Körperhöhe nach oben in allen Perzentilbereichen bei Beibehaltung der ursprünglichen Variabilität ist auch bei Mädchen zu beobachten.

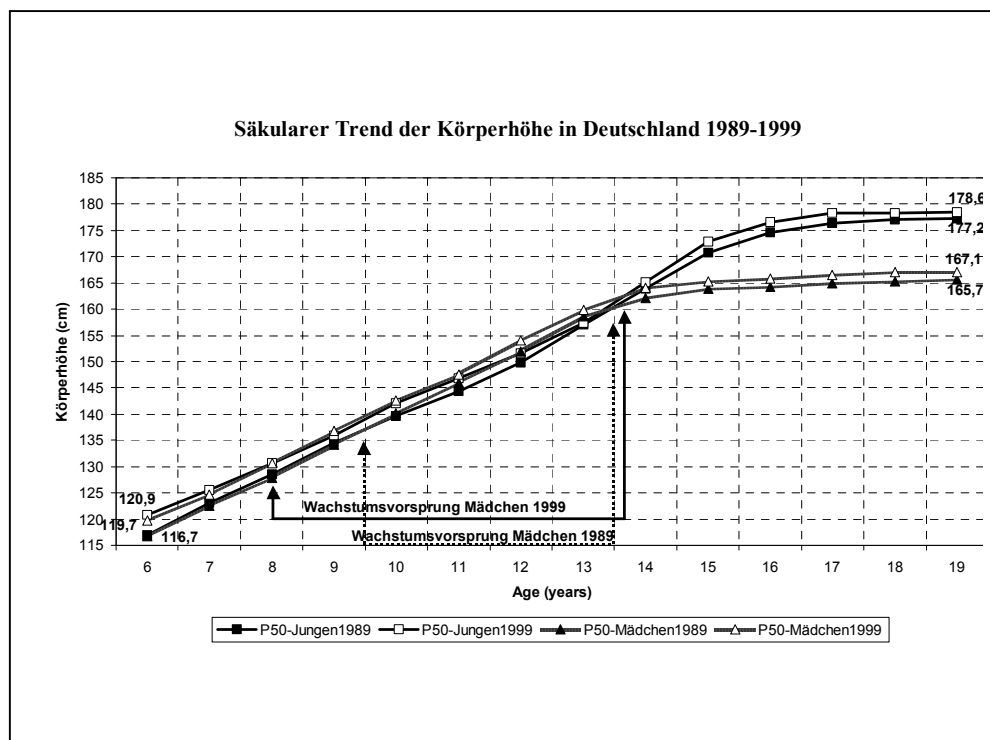


Abb. 6: Säkularer Trend der Körperhöhe in Deutschland

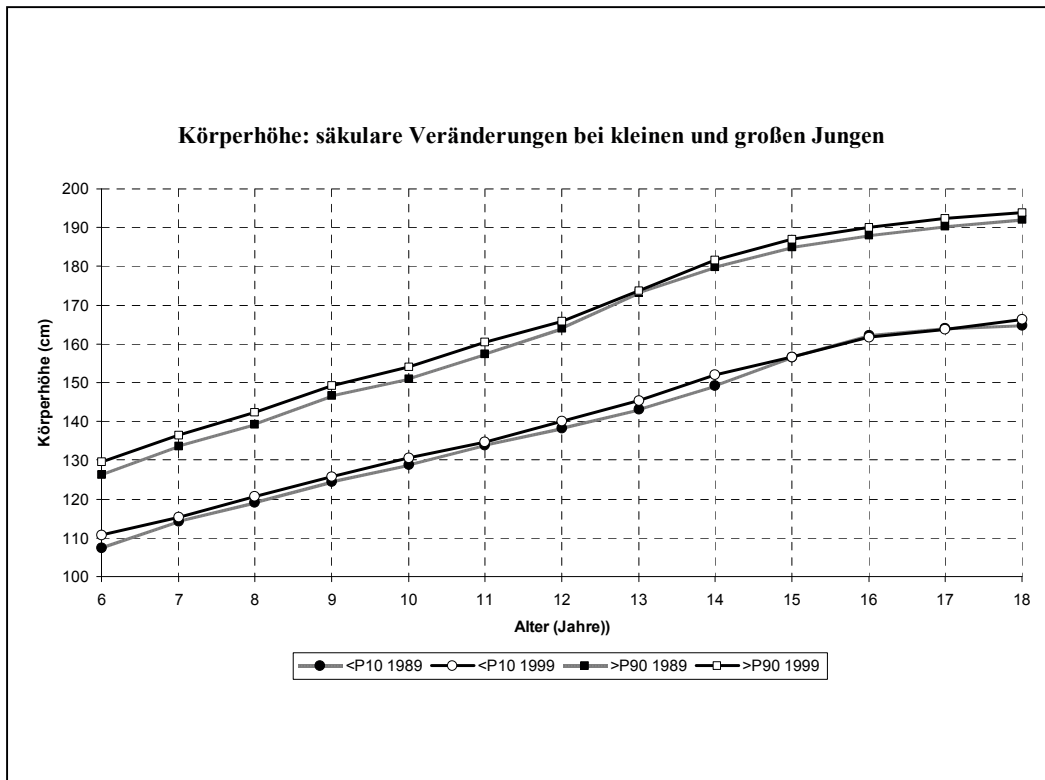


Abb. 7: Säkulare Veränderungen der Körperhöhe bei klein- und hochwüchsigen Jungen

Häufigkeitsverteilung und Altersspannweite der Körperhöhe (KPH) in einer Schülerpopulation (Alter: 5 1/2 - 18 1/2 Jahre)

Unter Berücksichtigung von relativer Beinlänge (BLPR) und relativer Kniegelenkhöhe (KGH)

G	KPH cm	n %	Alter min - max Jahre	BLPR		KGR	
				\bar{x} % KPH	min - max % KPH	\bar{x} % KPH	min - max % KPH
1	<112,5	0,59	6 - 7	44,9	39,96 - 47,89	27,94	25,05 - 32,04
2	112,5 - <127,5	14,82	6 - 11	45,85	41,88 - 53,40	27,55	24,38 - 31,77
3	127,5 - <142,5	25,70	6 - 13	46,97	41,04 - 53,85	28,02	21,32 - 31,86
4	142,5 - <157,5	26,74	7 - 18	47,89	43,31 - 54,71	28,36	25,29 - 30,84
5	157,5 - <172,5	22,31	10 - 18	47,91	43,86 - 55,72	28,06	24,38 - 35,50
6	172,5 - <187,5	9,20	12 - 18	48,18	44,90 - 51,31	28,02	25,67 - 33,88
7	187,5 - <202,5	0,64	15 - 18	48,54	46,63 - 50,53	28,31	26,59 - 30,42

Abb. 8: Häufigkeitsverteilung und Altersspannweite der Körperhöhe auf die Größen (G) von Schulgestühl bei einer Schülerpopulation
Unter Berücksichtigung der relativen Beinlänge und der relativen Kniegelenkhöhe

Schulgestühl wird bei dem in Abb. 8 gegebenen Beispiel in Anpassung an die Körperhöhe projiziert mit einer Rasterbreite von 15 Körperhöhenzentimetern beginnend bei Größe 1 für Kinder, die kleiner sind als 112,5 cm. Diese Größe betrifft nur 6 und 7 Jahre alte Jungen und Mädchen mit einem prozentualen Anteil an der Gesamtschülerpopulation von 0,6 %. Schulgestühlgröße 2 für den Körperhöhenbereich 112,5 cm – 127,5 cm betrifft den Altersbereich 6 – 11 Jahre mit einem prozentualen Anteil an der Gesamtschülerpopulation von 14,8 %. Auch bei der 3. Stuhlgröße für den Körperhöhenbereich 127,5 cm – 142,5 cm gibt es bereits Schulanfänger, für die diese Stuhlgröße angemessen ist. Der Altersbereich für diese Stuhlgröße reicht von 6 bis zu 13 Jahren. Der Altersbereich für Stuhlgröße 4 (Körperhöhe 142,5 cm – 157,5 cm) reicht von 7 bis zu 18 Jahren. Bei Größe 5 (Körperhöhe 157,5 cm – 172,5 cm) sind es 10 bis 18 Jahre, bei Größe 6 (Körperhöhe 172,5 cm – 187,5 cm) 12 – 18 Jahre und bei Größe 7 (Körperhöhe 187,5 cm – 202,5 cm) 15 – 18 Jahre. Diese Stuhlgröße ist nur für 0,64 % der Schülerpopulation angemessen. In der Abbildung sind den Körperhöhenbereichen der Schüler und Schülerinnen Längenproportionsmaße zugeordnet. Dies ist wichtig, weil sich gerade während des Schulalters die Längenproportionen des Körpers beträchtlich ändern. Arme und Beine wachsen intensiver als der Rumpf. Bei den jüngsten Schulkindern beträgt die mittlere Beinlänge nur 44,9 % der Körperhöhe. Bei den ältesten sind es 48,5 %. Entsprechend verändert sich die relative Kniegelenkhöhe. Sie nimmt von 27,9 % in der jüngsten Gruppe im Altersverlauf zu bis zu 28,3 % in der ältesten Gruppe. Es muss deshalb bei der Projektierung von Schulgestühl nicht nur bedacht werden, dass Kinder wachsen, sondern auch, dass ihre Beine (und Arme) stärker wachsen als der Rumpf. Wichtig ist auch die Beachtung der Überlappungsbereiche der Körpermaße in den einzelnen Gruppen. Dies bedeutet, dass auch bei optimal gestalteten Stühlen in keiner Klassenstufe die Bestuhlung mit nur einer einzigen Größe ausreicht. Es müssen immer neben den mittelgroßen Kinder auch die kleinen und die großen berücksichtigt werden. Die Erkenntnis, dass Menschen, auch Kinder, eine große Variabilität im Körperbau aufweisen und eine darauf abgestimmte körpernahe Umwelt benötigen, sollte stets Vorrang haben vor dem Ordnungssinn von Hausmeistern, die einen Klassenraum mit nur einer Möbelgröße bestücken möchten.

Berücksichtigung der mehrdimensionale Variabilität von Körpermaßen:

Wie bereits in der Einleitung festgestellt, verändern sich Körpermaße nicht unabhängig voneinander. Die Einzelmaße sind untereinander mehr oder weniger hoch korreliert. Dadurch entstehen hinsichtlich der Körperform charakteristische Körperbautypen oder Wuchstendenzen. An einem Verteilungspol der mehrdimensionalen Variabilität befinden sich relativ kleine Menschen, die aber im Durchschnitt schwerer und breiter und damit korpulenter gebaut sind als der Durchschnitt. Am anderen Verteilungspol befinden sich hochwüchsige aber relativ leichtgewichtige und schlanke Menschen. Nicht selten ist Korpulenz mit Kurzbeinigkeit gekoppelt. Korpulente Menschen mit proportionsmäßig langem Rumpf und kurzen Gliedmaßen, die wegen dieser Proportion auch als Sitzriesen bezeichnet werden, haben im Mittel auch kurze Reich- und Greifweiten und eine kurze Unterschenkellänge. Ihre Körpersitzbreite, ihre Rumpftiefen, alle Rumpfumfänge und auch ihr Körpergewicht liegen jedoch im Mittel sehr hoch, höher als die entsprechenden Mittelwerte der Gesamtbevölkerung. Am entgegengesetzten Verteilungspol befinden sich relativ große Menschen mit nicht nur absolut, sondern auch proportionsmäßig langen Beinen und Armen. Diese großen und langbeinigen Menschen sind aber in ihrer Körpersitzbreite, in den Rumpftiefen und Umfangsmaßen im Mittel deutlich schlanker als die Durchschnittsbevölkerung. In Abb. 9 für Männer und Abb. 10 für Frauen sind aus den Ergebnissen einer mehr als 6000 Personen umfassenden Stichprobe aus den Jahren 1982 – 1984 die Mittelwerte des Körpergewichts (der Körpermasse) und 10 ergonomisch wichtiger Körpermaße für die Körperbautypen klein+korpulent+kurzbeinig (KKK), mittelwüchsig (MMM) und groß+schlank+langbeinig (GSL) dargestellt. Die nur 160,5 cm großen KKK – Männer wiegen im Mittel 82,9 kg und sind entsprechend dick. Ihre Körpersitzbreite beträgt 37,8 cm. Die 190,3 cm großen GSL – Männer wiegen im Mittel nur 73,6 kg und sind entsprechend schlank. Ihre Körpersitzbreite beträgt im Mittel nur 35,3 cm. Die nur 151,5 cm großen KKK – Frauen wiegen im Mittel 73,2 kg und sind entsprechend dick. Ihre Körpersitzbreite beträgt im Mittel 41,6 cm. Die 174,4 cm großen GSL – Frauen wiegen im Mittel nur 59,9 kg und sind entsprechend schlank. Ihre Körpersitzbreite beträgt im Mittel nur 37,9 cm.

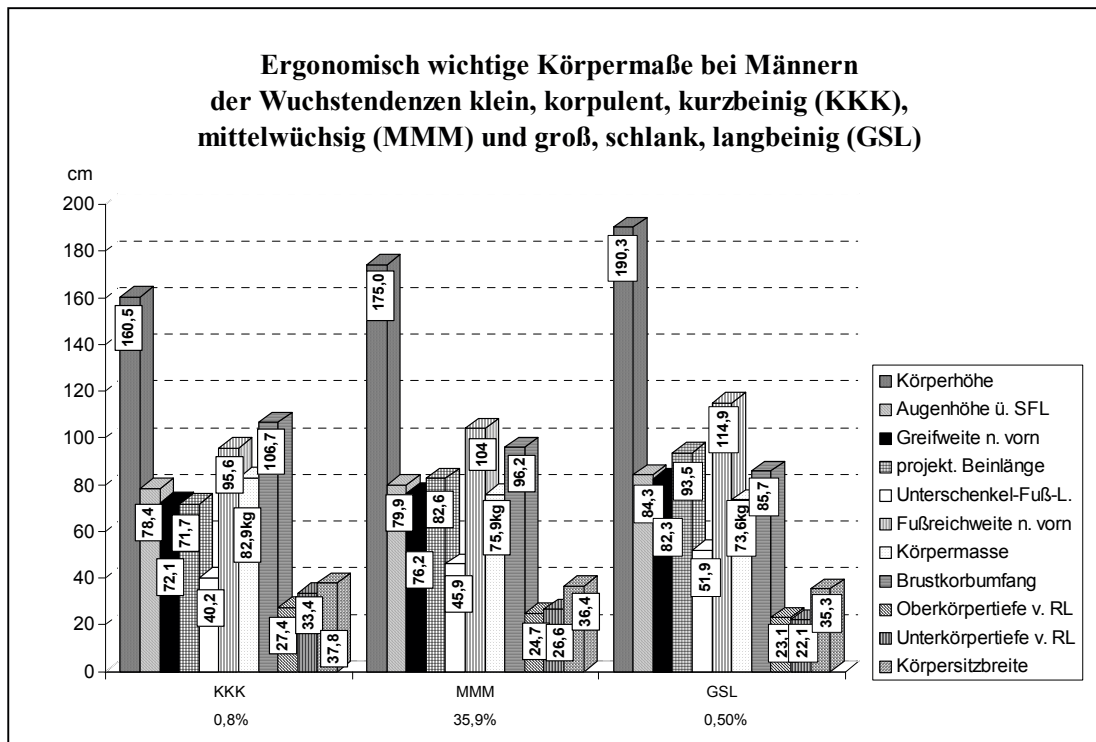


Abb. 9: Mehrdimensionale Variabilität ergonomisch wichtiger Körpermaße bei Männern in den Typengruppen klein+korpulent+kurzbeinig (KKK), mittelwüchsig (MMM) und groß+schlank+langbeinig (GSL)

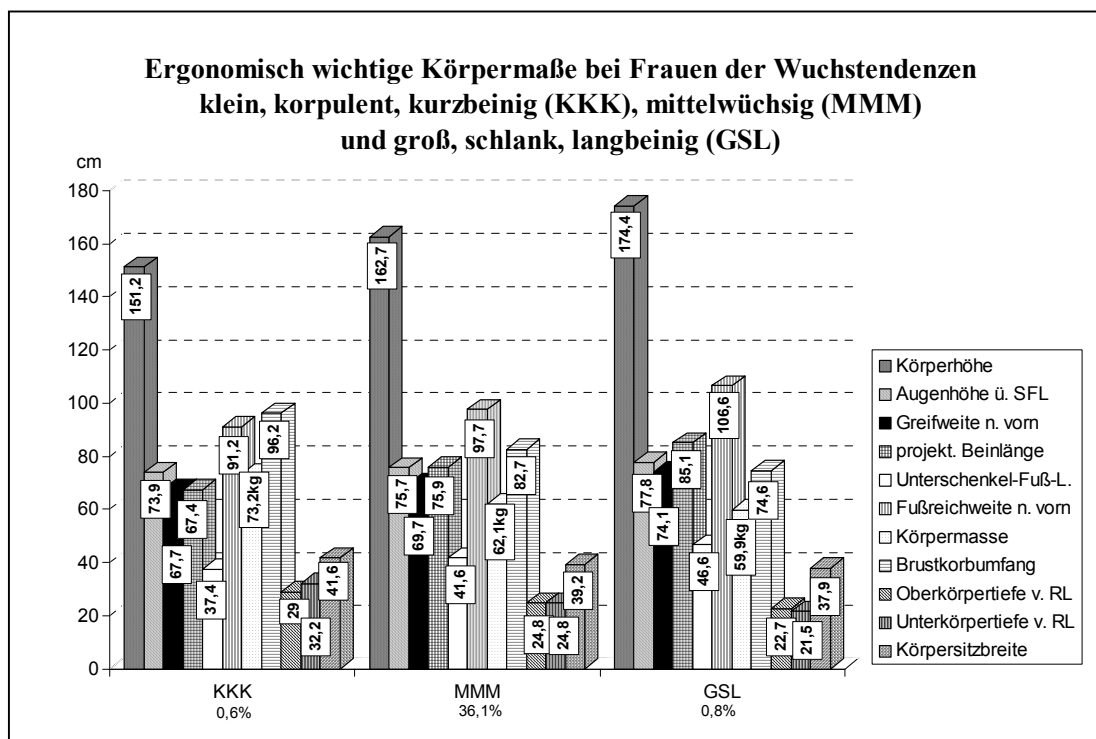


Abb. 10: Mehrdimensionale Variabilität ergonomisch wichtiger Körpermaße bei Frauen in den Typengruppen klein+korpulent+kurzbeinig (KKK), mittelwüchsig (MMM) und groß+schlank+langbeinig (GSL)

Mehrdimensionale Größensysteme:

Bei vielen mehrdimensionalen Größensystemen für Industrieprodukte wird die multivariate Veränderlichkeit im Körperbau, d.h. die unterschiedliche Abhängigkeit einzelner Körpermaße voneinander prinzipiell in die Konstruktion einbezogen. Es wird berücksichtigt, dass Menschen in der Regel nicht um so korpulenter sind, je größer ihre Körperhöhe ist. Bekannt ist dies für Bekleidungsgrößensysteme. Bei der Konstruktion von Bekleidung muss, wenn diese eine gute Passform haben soll, berücksichtigt werden, dass Körpermaße nicht gleichmäßig und nicht unabhängig voneinander variieren, sondern dass es unterschiedliche Körperbautypen gibt. Leider entsprechen die heute in Deutschland eingeführten prinzipiell richtigen Bekleidungsgrößensysteme nicht immer der Realität des Körperbaus der potentiellen Käufer und Käuferinnen. Dies kann in Abb. 11, Abb. 12 und Abb. 13 am Beispiel eines weit verbreiteten Größensystems für Damenoberbekleidung (DOB) analysiert werden.

Bekleidungsgrößensystem DOB						
KFH <157cm	KFH 157-165cm	KFH 165-172cm	KFH >172cm	EUH	TU	HÜ
EK	K	N	L	(cm)	(cm)	(cm)
185	18	36	72	82-85	66-69	92-95
195	19	38	76	86-89	70-73	96-98
205	20	40	80	90-93	74-77	99-101
215	21	42	84	94-97	78-81	102-104
255	22	44	88	98-102	82-85	105-108
	23	46	92	103-107	86-90	109-112
	24	48	96	108-113	91-95	113-116
	25	50	100	114-119	96-102	117-121
	26	52	104	120-125	103-108	122-126

Abb. 11: Beispiel eines mehrdimensionalen Bekleidungsgrößensystems für Damenoberbekleidung (DOB)

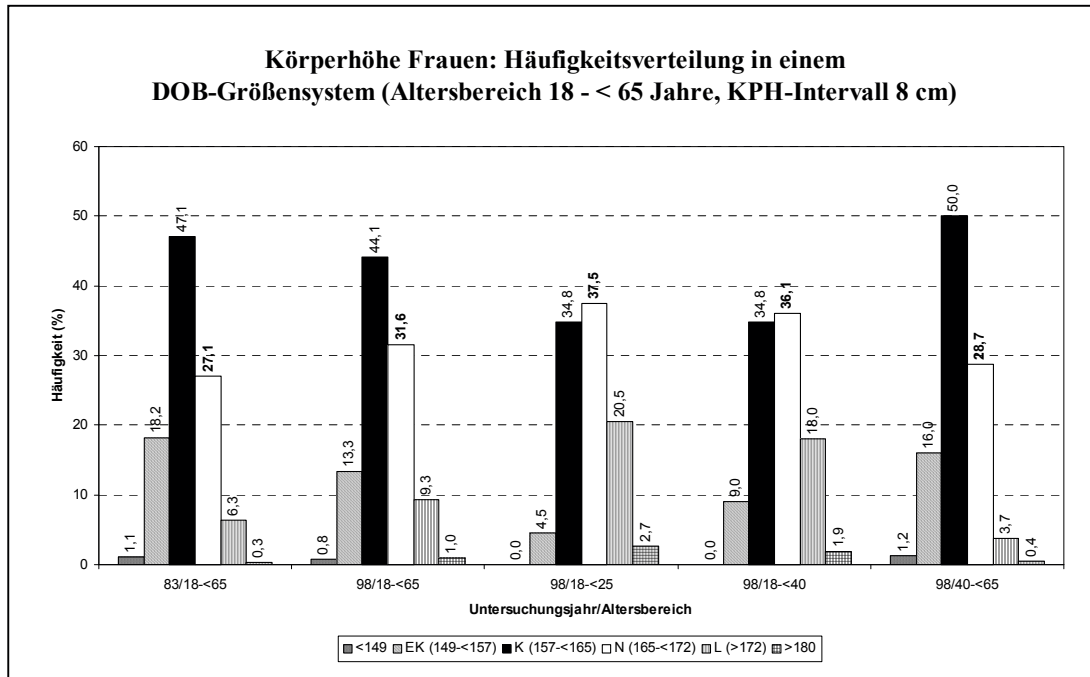


Abb. 12: Häufigkeitsverteilung der Körperhöhe von Frauen in den Größengruppen eines Damenoberbekleidungs-systems: extraklein (EK), klein (K), normal (N) und groß (L)

Passform der Hauptmaße in der N-Reihe (KPH 165 - < 172)

Vergleich der Körpermaße zu den Mittelwerten eines gültigen Größensystems

Größe	Mittlerer Brustumfang (cm)				Mittlerer Taillenumfang				Mittlerer Hüftumfang			
	Katalog	18-65	18-25	40-65	Katalog	18-65	18-25	40-65	Katalog	18-65	18-25	40-65
36	84,0	84,0	84,0	85,1	68,0	67,0	66,5	71,7	94,0	94,0	92,6	93,2
38	88,0	88,1	88,5	88,0	72,0	70,1	68,3	74,2	97,5	96,0	94,3	97,5
40	92,0	91,9	91,4	92,1	76,0	73,5	71,0	76,7	100,5	98,0	96,8	100,2
42	96,0	95,2	95,5	95,7	80,0	77,1	75,0	84,4	103,5	100,1	99,0	102,7
44	100,5	100,1	99,5	100,2	84,0	83,0	77,1	86,2	107,0	103,0	101,1	103,3
46	105,5	104,8	105,0	105,0	88,5	87,0	88,5	91,9	111,0	106,5	110,5	108,2
48	111,0	110,0	108,0	110,0	93,5	95,5	96,2	97,3	115,0	112,0	107,0	110,8
50	117,0	116,6	117,5	116,0	99,5	99,3	97,4	103,7	119,5	117,0	112,0	114,6
52	123,0	123,1	123,3		106,0	109,5	112,0		124,5	118,7		120,1

Sehr gute Passform nach dem Brustumfang in allen Größen und Altersgruppen

Taillenumfang gesamt bei schlanken Größen zu weit, bei großen zu eng bei jungen Frauen bis 5 cm zu weit bei älteren Frauen bis 6 cm zu eng

Hüftumfang gesamt ab Größe 38 zu weit, bei jungen Frauen mit zunehmender Korpulenz bis zu 7,5 cm bei älteren Frauen bis 4,9 cm

Abb. 13: Passform der Hauptmaße des im Text analysierten Bekleidungsgrößensystems in der Körperhöhengruppe N

In Abb. 11 wird zunächst das einem aktuellen Katalog entnommene Größensystem für Damenoberbekleidung vorgestellt. Als Hauptmerkmal für alle Längenmaße fungiert die Körperhöhe (KPH). Sie ist das 1. Hauptmaß oder die 1. Dimension des Größensystems. Ausgehend von einer kalkulierten mittleren Körperhöhe von 168 cm wird mit einem Bereich von ± 4 cm eine mittlere Körperhöhengruppe gebildet, die Gruppe N (normal). Im Anschluss an die N-Gruppe nach unten wird für den Körperhöhenbereich zwischen 165 cm und 157 cm eine Körperhöhengruppe K (klein) gebildet und im Anschluss an diese eine Körperhöhengruppe EK (extra klein) für Kundinnen, die kleiner sind als 157 cm. Für Kundinnen mit einer Körperhöhe von mehr als 172 cm wird im Anschluss an die Mittelgruppe nach oben eine Körperhöhengruppe L (large) gebildet. Das 2. Hauptmaß ist der horizontale Brustumfang (BUH). Als 3. Hauptmaß fungieren je nach Sortiment der Taillenumfang oder der größte Hüftumfang. Die einzelnen Bekleidungsgrößen werden so gebildet, dass innerhalb der Körperhöhengruppen nach dem Brustumfang gruppiert wird. Innerhalb dieser zweidimensionalen Größen werden in Abhängigkeit von dem zu produzierenden Produkt der Taillenumfang oder der Hüftumfang als weiteres Gruppierungsmerkmal eingeführt. Wenn ein Bekleidungsgrößensystem auf Körpermessungen an einer repräsentativen Stichprobe beruht, kann im Anschluss an die Größenbildung nach den Hauptmaßen die prozentuale Belegung der einzelnen Gruppen der Stichprobe berechnet werden. Nach dem Ergebnis dieser prozentualen Häufigkeitsbelegung, die bei einer repräsentativen Stichprobe mit ausgewiesener Wahrscheinlichkeit den Häufigkeiten in der Bevölkerung entspricht, kann dann entschieden werden, welche Bekleidungsgrößen in die Produktion übernommen werden sollen. In Abb. 11 sind in den Spalten der Körperhöhengruppen die Bekleidungsgrößenbezeichnungen in Abhängigkeit von den drei Umfangsmaßen angegeben: Ausgewählt wurden im EK – Bereich 5 Größen (185 – 255), im K – Bereich 9 Größen (18 – 26), im N – Bereich 9 Größen (36 – 52) und im L – Bereich 9 Größen (72 – 104). Dieses mehrdimensionale Hauptmaßprinzip ist bewährt. Eine gute Passform für einen hohen Prozentsatz der potentiellen Käuferinnen kann allerdings nur dann erreicht werden, wenn dem System aktuelle Körpermaße, deren Korrelationen untereinander und ihre Häufigkeitsverteilungen zu Grunde liegen.

Nach der Entwicklung des Hauptmaßsystems können alle übrigen Maße, die für die Schnittkonstruktion benötigt werden, unter Ausnutzung ihrer korrelativen Abhängigkeiten von den Hauptmaßen über Regressionsgleichungen den Hauptmaßen der einzelnen Bekleidungsgrößen zugeordnet werden. Dabei werden die hohen Korrelationen innerhalb der Längenmaße benutzt, um Körperteillängen wie Rückenlänge (Entfernung von der Dornfortsatzspitze des 7. Halswirbels bis zur Taillenhöhe), funktionelle Armlänge (Entfernung von der Achselhöhle bis zum daumenseitigen Handknöchel) und funktionelle Beinlänge (Schrittlänge) der Körperhöhe zuzuordnen. Umfangs- und Breitenmaße des Oberkörpers wie Halsansatzumfang (Kragenweite), laterale Schulterbreite (Entfernung vom Halsansatzpunkt zur Scheitellinie der seitlichen Schulterkontur) oder Abstand zwischen den Brustwarzen, werden dem Brustumfang zugeordnet, Breiten- und Umfangsmaße des Unterkörpers dem Hüftumfang.

Es erscheint sinnvoll, wenn die Gruppierung nach dem 1. Hauptmaß, hier nach der Körperhöhe, so vorgenommen wird, dass die größte Verteilungsdichte dieses Körpermaßes als Normalbereich ausgewiesen wird. Dies ist bei dem analysierten Beispiel nicht der Fall. In Abb. 12 sind die Häufigkeiten aufgezeichnet, mit denen nach den Ergebnissen von anthropometrischen Untersuchungen, die wissenschaftlichen Kriterien gerecht werden, Frauen unterschiedlicher Altersgruppen in den in Abb. 11 vorgestellten Körperhöhengruppen des untersuchten Damenoberbekleidungssystems vorkommen. Von den Frauen einer für die neuen Bundesländer repräsentativen anthropometrischen Querschnittstudie aus den Jahren 1982 – 1984 (mittleres Untersuchungsjahr 83) im Alter zwischen 18 und 65 Jahren entfallen 19,3 % auf die KPH – Gruppe „extra klein“ (davon 1,1 % unterhalb der unteren Passformgrenze dieser Gruppe), 47,1 % auf die KPH – Gruppe „klein“, nur 27,1 % auf die KPH – Gruppe „normal“ und 6,3 % auf die KPH – Gruppe „large“. 0,3 % liegen über der oberen Passformgrenze. In der Normalgruppe, in der bei weitem das breiteste Warensortiment und die größten Stückzahlen produziert werden, befanden sich zu Beginn der achtziger Jahre nur etwa halb soviel Frauen wie in der K – Gruppe. In den folgenden Säulendiagrammen der Abbildung wird gezeigt, wie die Häufigkeitsverteilung der Frauen auf die KPH – Gruppen des Größensystems aktuell beschaffen ist. Die Körperhöhendaten entstammen einer

Stichprobe, die in den Jahren 1997 – 2000 untersucht wurde (Stichprobe BBG 97 - 00 bei Greil 2001). Es werden neben dem Gesamaltersbereich zwischen 18 und 65 Jahren auch die Altersbereiche 18 bis <25 Jahre, 18 bis <40 Jahre und 40 bis <65 Jahre analysiert. Die Tendenz zur Überschätzung der Körperhöhe macht sich auch bei dieser akzelerierten Stichprobe bemerkbar, wenn auch nicht mehr so ausgeprägt wie bei der weiter zurückliegenden Stichprobe vom Beginn der achtziger Jahre. Auch heute gibt es, bezogen auf den Gesamaltersbereich, mehr Frauen, die ihrer Körperhöhe entsprechend beim Kauf von K – Größen eine bessere Passform erreichen als beim Kauf von Normalgrößen als es Frauen im angegebenen "Normalbereich" gibt. Die Körperhöhenverteilung der älteren Frauen von heute entspricht ungefähr der Gesamtverteilung, wie sie vor etwa 20 Jahren vorlag. Ältere Frauen werden durch dieses Größensystem mithin besonders schlecht bedient. Einzig in der Gruppe der ganz jungen Frauen (18 - <25 Jahre) ist die Belegung der als normal eingestuften Größengruppe etwas höher als die der K – Gruppe).

In Abb. 13 wird die für die Normalgruppe beispielhaft die Passform innerhalb des Hauptmaßsystems untersucht. Für Frauen im Körperhöhenbereich zwischen 165 cm und 172 cm ergibt sich nach dem Brustumfang in allen Bekleidungsgrößen und für alle Altersbereiche eine sehr gute Passform. Der projektierte Taillenumfang erweist sich bei den schlanken Größen (36 – 40) als eher zu weit. Dies trifft besonders für junge Frauen zu, die im Mittel in dieser Körperhöhengruppe einen 5 cm geringeren Taillenumfang haben als den im Größensystem projektierten. Demgegenüber liegt der reale Taillenumfang der älteren Frauen bis zu 6 cm über dem projektierten. Noch schlechter als beim Taillenumfang ist in der N – Gruppe die Passform nach dem Hüftumfang. Er ist ab Bekleidungsgröße 38 zu groß projektiert. Diese Fehlprojektierung nimmt mit steigender Korpulenz zu. Bei der Bekleidungsgröße 50 liegen die gemessenen Hüftumfänge im Mittel für den Gesamaltersbereich um 2,5 cm unter dem projektierten, bei jungen Frauen sind es 7,5 cm unter dem projektierten Hüftumfang. Bei älteren Frauen sind es 4,9 cm.

Anthropometrische Menschmodelle als Hilfsmittel bei der Größenbildung:

Da anthropometrische Einzeldaten allein bei weitem nicht immer für die Lösung der bei der Projektierung und Konstruktion auftretenden anthropologischen Fragen ausreichen und wissenschaftliche anthropometrische Datenbanken vom Laien kaum selbständig gehandhabt werden können, wurden 3D – Simulationen des menschlichen Körpers entwickelt. Sie erlauben die Einschätzung einzelner Körpermaße im anthropometrischen Gesamtzusammenhang des Körperbaus. Mit derartigen Modellen kann bereits in einer frühen Projektierungsphase geprüft werden, wie passgerecht ein Produkt für potentielle Nutzer ist. Verbreitet als 3D-Modelle sind "mittlere Menschen", häufig "mittlere Männer", die als Typ nur grobe Anhaltspunkte geben können. Sie verkörpern die Mittelwerte der implementierten Körpermaße. Die Problematik anderer Typen besteht darin, dass sie nicht selten als sogenannte Perzentilmenschen auftreten: als Konglomerat desselben Perzentils der implementierten Messstrecken. Bei einem als "kleiner Mann" geltenden P 5 – Mann – Modell setzt sich bei Modellen dieser Art das 3D – Modell aus den P 5 – Werten der einzelnen Körpermaße von Männern zusammen, bei einem P – 95 – Frau – Modell aus den P 95 – Werten der einzelnen Körpermaße von Frauen usw.. Die in Wirklichkeit existierende mehrdimensionale biologische Variabilität des Körperbaus bleibt unberücksichtigt. Bei dem 3D – Modell RAMSIS wurde ein anderer Weg gegangen. Dieses Modell kann in verschiedenen Typen abgerufen werden, die den real vorkommenden Körperbautypen entsprechen. Die Variabilität bewegt sich nicht von einem Pol "klein in allen Körpermaßen" zu einem Pol "groß in allen Körpermaßen", sondern folgt der in der Humanbiologie bekannten Variationsreihe von einem niedrig – breitwüchsigen zu einem hoch – schlankwüchsigen Pol. In Abb. 14 steht in der Variante des PCMan RAMSIS der Typ klein+korpulent+kurzbeinig neben dem Typ groß+schlank+langbeinig. Deutlich erkennbar sind nicht nur die Größenunterschiede, sondern auch die Proportionsunterschiede. Da Körperbautypen bei diesem Modell auch frei wählbar sind, kann es leicht den anthropometrischen Gegebenheiten spezieller Nutzergruppen angepasst werden (Nagel 2001). Das Konstruktionswerkzeug RAMSIS wurde auf der anthropometrische Datengrundlage der Stichprobe DDR 82 – 84 entwickelt (Greil

2001). Seine Anwendungsmöglichkeiten sind vielfältig und werden durch die Aufnahme neuer Daten, die über Körpermaße inzwischen weit hinausgehen, ständig erweitert.

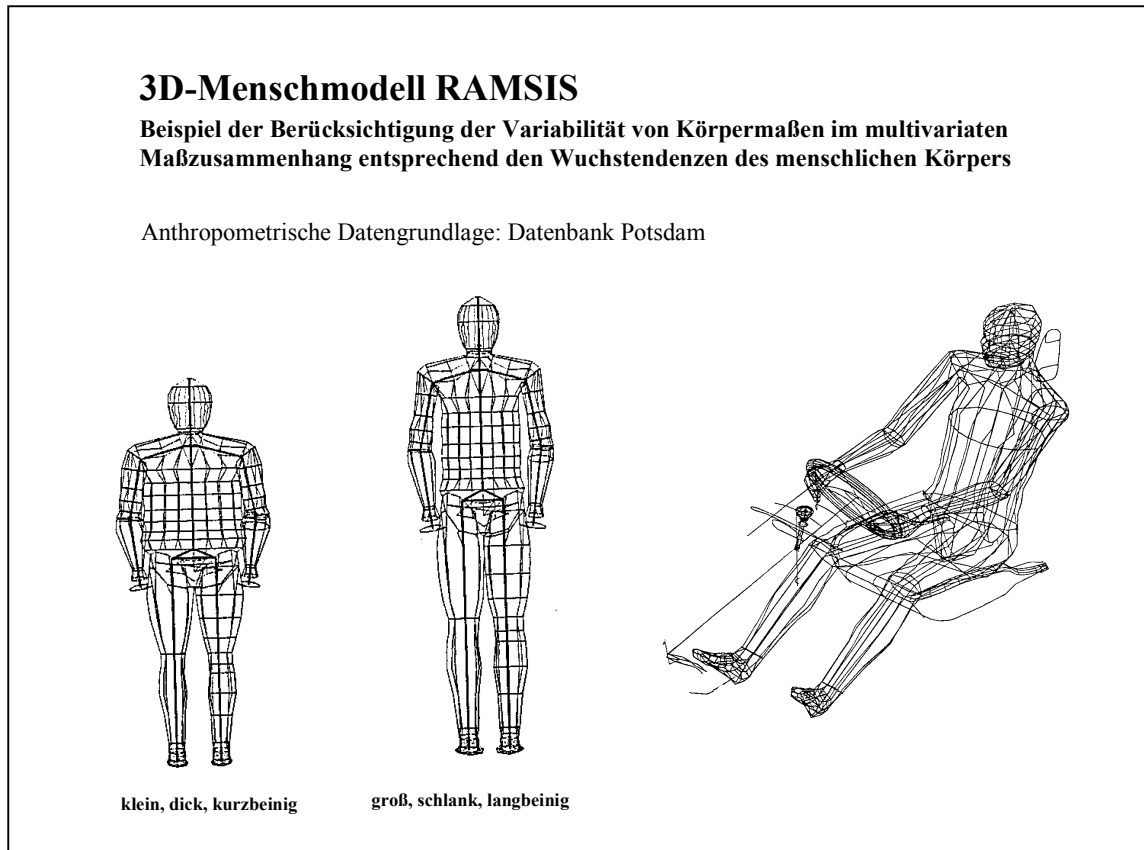


Abb. 14: 3D-Menschmodell RAMSIS in den Typen klein+korpulent+kurzbeinig, groß+schlank+langbeinig und mittelwüchsig (v. l. n. r.)

Literatur

Greil H. (1995): Anthropometrische Grundlagen zur körperbautypspezifischen Gestaltung von rechnergestützten Mensch-Modellen. In: Gärtner K.-P.: Anthropometrische Cockpitgestaltung. Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt, Bonn, 47-60.

Greil H. (2001): Wie weit sind wir der DIN 33402 entwachsen? BUB 10, 7-22.

Nagel K (2001): Gruppenspezifische Anthropometrie in der ergonomischen Gestaltung. BUB 10, 54-61

Anschrift der Autorin:

Prof. Dr. Holle Greil
FG Humanbiologie
Institut für Biochemie und Biologie
Universität Potsdam
Lennéstr. 7a
14471 Potsdam
greil@rz.uni-potsdam.de

Strategien bei der Handhabung von Verschlüssen im Kleinkind- und Vorschulalter

V. Noth, H. Greil, E. Lange, Ch. Scheffler,

Einleitung

Produkte des täglichen Bedarfs, die zur Nutzung durch Kinder vorgesehen sind, weisen eine große Mannigfaltigkeit an Verschlüssen auf. Diese haben teilweise Sicherheitsfunktion und sollen nur durch Bezugspersonen zu öffnen und zu schließen sein, wie etwa Sicherheitsverschlüsse an Fahrzeuggurten. Diese Art von Verschlüssen schützt das Kind nur so lange, wie es sie nicht allein öffnen kann. Die Konstruktion anderer Verschlüsse, vorzugsweise an Bekleidung, ist darauf abgestimmt, dass die Verschlüsse in möglichst jungem Alter selbständig betätigt werden können, damit das Kind lernt, sich eigenhändig auszuziehen und anzukleiden und vergleichbare Alltagssituationen mehr und mehr eigenständig zu meistern. Bereits Kleinkinder und in besonderem Maße Vorschulkinder lernen in täglicher Auseinandersetzung mit ihrer körpernahen Umwelt, die unterschiedlichsten Verschlüsse an Bekleidungsstücken und anderen Gegenständen zu handhaben. Im Gegensatz zu der weiten Verbreitung sowohl von Sicherheitsverschlüssen als auch von Verschlüssen, deren selbständige Handhabung möglichst früh realisierbar sein soll, gibt es kaum wissenschaftlichen Ansprüchen genügende Untersuchungen darüber, in welchem Alter Kinder welche Verschlüsse handhaben können, welche altersabhängigen Erfolgsquoten dabei erzielt werden und welche Bewegungsmuster zur Aufgabenlösung eingesetzt werden.

Die Handhabung von Verschlüssen ist sowohl eine kognitive als auch eine motorische Leistung, die erlernt werden muss. Dies geschieht vor allem im Kleinkind- und Vorschulalter. Mehr oder weniger sinnvolle Bewegungsmuster bei der Handhabung von Verschlüssen können Hinweise auf den kognitiven Entwicklungsstand eines Kindes liefern. Parallel zur kognitiven Entwicklung verläuft die Entwicklung der Motorik der Hände ebenfalls zu einem wesentlichen Anteil während des Kleinkind- und Vorschulalters. Der motorische Entwicklungsstand eines Kindes ist wie sein kognitiver Entwicklungsstand altersabhängig und wird von der Umwelt beeinflusst. Neben Kognition und motorischen Fähigkeiten und Fertigkeiten sind die ebenfalls altersabhängigen Körperkräfte, insbesondere die Hand- und Fingerkräfte, entscheidend dafür, welche Bewegungsmuster ein Kind anwendet, wenn es die Aufgabe gestellt bekommt, einen bestimmten Verschluss zu öffnen oder zu schließen.

Die Arbeitsgruppe der Professur Humanbiologie an der Universität Potsdam gehört zu den wenigen universitären Gruppen in Deutschland, in denen industrieanthropologisch gearbeitet wird. Die hier vorgestellten Ergebnisse zu Bewegungsmustern bei der Handhabung von Verschlüssen im Kleinkind- und Vorschulalter sind Teil einer längerfristigen und noch nicht abgeschlossenen Studie „Alters- und

Geschlechtsspezifisch von körperlichem / motorischem Entwicklungsstand und von Funktionen der Aufmerksamkeit“.

Stichprobe und Methode

Alle Untersuchungen wurden im April 2001 in Kindertagesstätten der Stadt Potsdam durchgeführt. Probanden waren 90 Jungen und Mädchen im Alter zwischen 2 ½ bis 6 ½ Jahren. Zur altersspezifischen Auswertung der Ergebnisse wurde die Stichprobe in Ganzjahresgruppen gegliedert, wobei, wie in der Anthropologie üblich, jeweils der Geburtstag als mittleres Alter der Gruppe benutzt wurde. Somit sind beispielsweise in der jüngsten Gruppe Kinder im Alter zwischen 2 ½ und 3 ½ Jahren vertreten und in der ältesten Gruppe Kinder im Alter zwischen 5 ½ und 6 ½ Jahren. Abb. 1 zeigt die prozentuale Altersverteilung der Stichprobe.

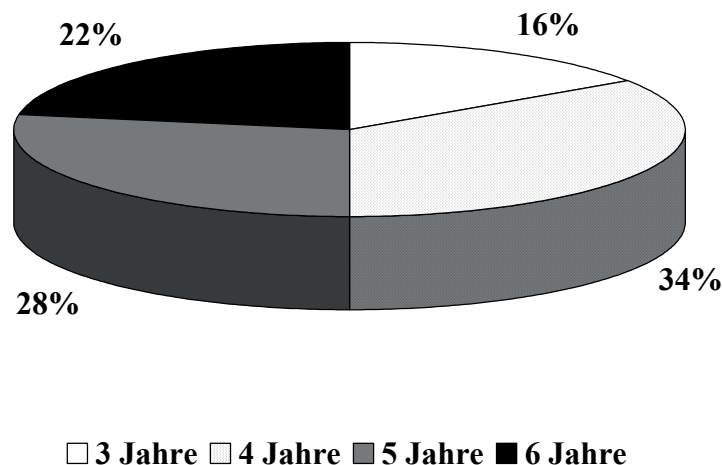


Abb. 1: Prozentuale Altershäufigkeiten innerhalb der Stichprobe

An jedem Kind wurden zur Einschätzung des körperlichen Entwicklungsstandes 8 Körpermaße nach den Richtlinien von Rudolf Martin (Knußmann 1988) und den Messvorschriften des Anthropologischen Atlas (Flügel et al. 1986) bestimmt: Körpermasse, Taillenumfang, Körpersitzbreite, Körperhöhe, Stammlänge, Unterschenkel­länge mit Fuß, Großer Greifdurchmesser der Hand, Kreisförmige Durchgreifgröße. Für die folgende Analyse wurden diese Körpermaße lediglich verwendet, um sicherzustellen, dass alle Probanden altersgerecht entwickelt waren. Eine detaillierte anthropometrische Analyse wird in anderem Zusammenhang vorgenommen (Noth 2001).

Zur Einschätzung der altersspezifischen motorischen manuellen Fähigkeiten und Fertigkeiten in Alltagssituationen wurde jedem Kind die Aufgabe gestellt, die folgenden 8 unterschiedlichen standardisierten Verschlüsse, von denen jeweils 2 auf eine Holzleiste von 9 x 38 cm Kantenlänge montiert waren, in der folgenden Reihenfolge jeweils zunächst zu öffnen und anschließend wieder zu schließen:

1. 14 cm langer kleiner Reißverschluss mit entsprechend kleinem Griffteil und 5mm breitem Zähnchenstreifen bei geschlossenem Zustand, nicht aushakbar (KR) und 3 kleine Druckknöpfe mit einem Durchmesser von 10 mm (KD)

2. Sicherheitssteckverschluss von 25 mm Breite, wie er bei Kinderfahrradsitzen verwendet wird, (SV) und 3 große Druckknöpfe mit einem Durchmesser von 20 mm (GD)
3. 17 cm langer aushakbarer Anorakreißverschluss mit entsprechend großem Griffteil und 6 mm breitem Zähnenstreifen bei geschlossenem Zustand, aushakbar (AR) und 3 kleine Knöpfe mit einem Durchmesser von 14 mm (KK)
4. 3 große Knöpfe mit einem Durchmesser von 20 mm (GK) und zwei Stoffteile mit Metallösen, durch die ein Schnürband (Schnürsenkel) in einfacher Kreuzschnürung für die Kinder im Alter von 3 und 4 Jahren gezogen war. Die älteren Kinder (5 und 6 Jahre) erhielten die Aufgabe, dieses Schnürband einzufädeln. Beim Schnürband wurden das Verschließen durch Knoten und durch das Binden einer Schleife für alle Kinder als getrennte Aufgabe gestellt und gewertet. Von den Kindern im Alter von 3 und 4 Jahren, die das Schnürband eingefädelt vorgelegt bekamen, sollte lediglich das Öffnen von Knoten und Schleife vorgenommen werden.

Bei allen genannten 8 Verschlüssen waren jeweils 2 mehrlagige und durch Futter verstärkte Stoffteile mit den darauf angebrachten Verschlusssteilen derart auf die Leiste montiert, dass genügend Platz zur Manipulation der Verschlüsse blieb (Abb. 2). Zusätzlich wurden ein Fahrradhelm mit typischem Sicherheitssteckverschluss (SV) und ein 21 mm breiter Ledergürtel mit Metallschnalle, beweglichem Dorn und Lochungen angeboten mit den Aufgaben, den Fahrradhelm mit geöffnetem Verschluss aufzusetzen und den Verschluss bei aufgesetztem Helm zu schließen bzw. den geöffnet gereichten Gürtel um den Rumpf zu legen und mit der Schnalle zu schließen. Auf diese Weise konnte insgesamt die Handhabung von 11 Verschlussarten beobachtet und analysiert werden. Auf die Testung von Klettverschlüssen wurde bewusst verzichtet, da im Vorversuch deutlich geworden war, dass auch Dreijährige diese mühelos öffnen und schließen können. Den Kindern wurde vor Versuchsbeginn erklärt, dass wir wissen möchten, wie gut sie unterschiedliche Verschlüsse aufmachen und wieder zumachen können. Zur Aufgabenlösung wurde ihnen nacheinander in der genannten Reihenfolge jeweils ein Verschluss angeboten und die entsprechende Aufgabe (Verschluss öffnen / Verschluss schließen / Helm aufsetzen / Gürtel umbinden) gestellt. Bei diesen Tätigkeiten wurden sie mit einer Videokamera gefilmt. Die Filme wurden im anthropometrischen Labor analysiert. Hier werden als ein erster Auswertungsschritt lediglich die altersspezifischen Erfolgs- und Misserfolgsraten analysiert. Die Studie wird fortgesetzt. Zeitanalysen bleiben einer späteren Auswertung vorbehalten.

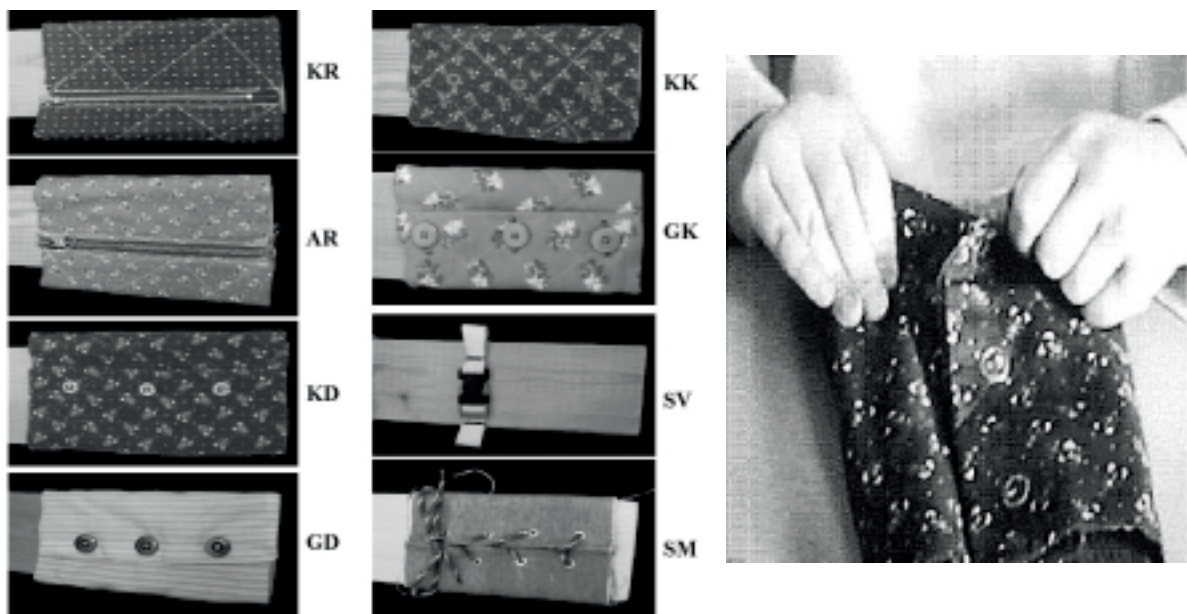


Abb. 2: Geprüfte Verschlüsse und Handhabungsbeispiel

Ergebnisse

Vergleich der Erfolgs- / Misserfolgsraten beim Öffnen und Verschließen aller getesteten Verschlüsse

Wie erwartet, nimmt die Erfolgsrate beim Öffnen und Schließen der geprüften Verschlüsse von einer Altersgruppe zur nächst älteren zu, während die Variabilität der Bewegungsmuster, d.h. die Anzahl der ausprobierten Lösungswege bei der Betätigung der Verschlüsse abnimmt. Die Bewegungsmuster sind in Abhängigkeit von der Verschlussart unterschiedlich. Die geringste Variabilität wurde mit nur 2 Bewegungsmustern bei der Handhabung des kleinen Reißverschlusses beobachtet, die höchste mit 24 unterschiedlichen Bewegungsmustern bei dem Verschließen von Druckknöpfen. Unabhängig vom Alter und von der Vielfalt der eingesetzten Bewegungsmuster sind in Abb. 3 im Überblick für den gesamten untersuchten Altersbereich die prozentualen Erfolgsraten beim Öffnen und beim Schließen der einzelnen Verschlussarten dargestellt. Es zeigt sich, dass mit Beginn des Schulalters noch nicht alle Kinder in der Lage waren, die vorgelegten Verschlüsse richtig und erfolgreich zu benutzen. Eine Erfolgsrate von 100 % konnte bei keinem Verschluss festgestellt werden, vergleichsweise hoch (96 %) lag sie jedoch beim einfachen nicht aushakbaren (kleinen) Reißverschluss. Weit über die Hälfte aller Kinder (67 - 79 %) gelang das Öffnen und Schließen der großen und kleinen Druckknöpfe, der kleinen Knöpfe sowie das Anlegen des Gürtels. Knapp über die Hälfte der Kinder konnte die großen Knöpfe erfolgreich auf- und zuknöpfen und den Knoten machen. Eine geringe Erfolgsrate (unter 35 %) war bei der Handhabung des Sicherheitssteckverschlusses, des aushakbaren Anorakreißverschlusses, des Fahrradhelmverschlusses sowie beim Binden der Schleife erkennbar.

Untersuchte Verschlüsse

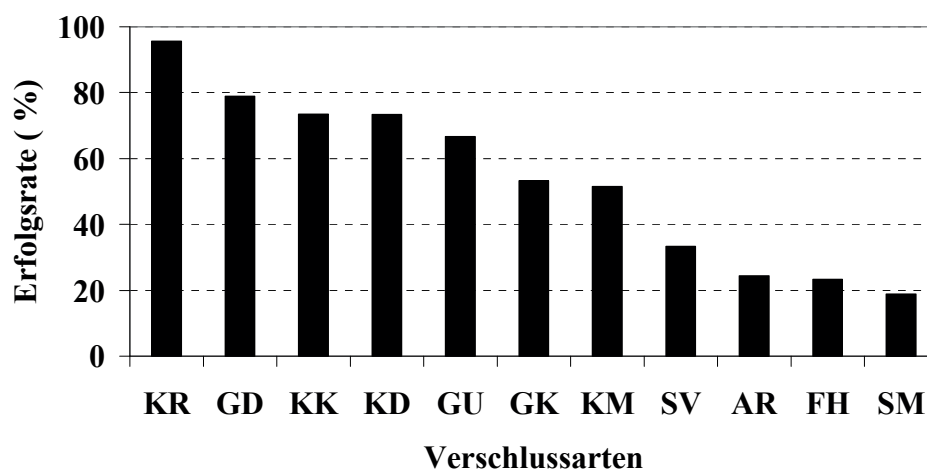


Abb. 3: Erfolgsrate aller Kinder (n=90) beim Öffnen und Verschließen der Verschlüsse

KR = Kleiner Reißverschluss, GD = Großer Druckknopf, KK = Kleine Knöpfe, KD = Kleine Druckknöpfe, GU = Gürtel (umschnallen), GK = Große Knöpfe, KM = Schnürband (Knoten machen), SV = Sicherheitsverschluss, AR = Anorakverschluss, FH = Fahrradhelmverschluss, SM = Schnürband (Schleife binden)

Erfolgs- / Misserfolgsrate und Strategie beim Handhaben der Reißverschlüsse

Die Gegenüberstellung der Erfolgs- bzw. Misserfolgsrate beider Reißverschlussarten zeigt deutlich den unterschiedlichen Schweregrad beim Öffnen und Verschließen. Während der nicht aushakbare kleine Reißverschluss von fast allen Kindern der vier Altersstufen mit geringer Variabilität des Bewegungsmusters erfolgreich bedient wurde, war die Erfolgsquote beim Verschließen des

aushakbaren Anorakreißverschluss vergleichsweise gering. Lediglich den Kindern im Alter von 6 Jahren gelang zum überwiegenden Teil (55 %) das erfolgreiche Öffnen und Verschließen. Das Öffnen des Anorakreißverschlusses, das als motorisches Können den Pinzettengriff voraussetzt und nur wenig Muskelkraft erfordert, wurde von fast allen Kindern erfolgreich realisiert (Abb. 4). Die hohe Misserfolgsrate beim Einhaken und Verschließen des großen Reißverschlusses lässt vermuten, dass hierbei eine ausgereifte Feinmotorik sowie das Wissen um einen erfolgreichen Lösungsweg und ausreichend Übung erforderlich sind. Diese Voraussetzungen entwickeln sich nach den Ergebnissen der Studie erst im Alter von 5 und 6 Jahren. Die Variabilität der Bewegungsmuster bei der Handhabung eines Anorakreißverschlusses ist im Vergleich zu anderen Verschlüssen gering. Das Auf- und Zuziehen wurde von den Kindern mit einem Pinzettengriff von Daumen und Zeigefinger realisiert. Lediglich die Hand, die für das Bedienen der Reißverschlüsse genommen wurde, variierte.

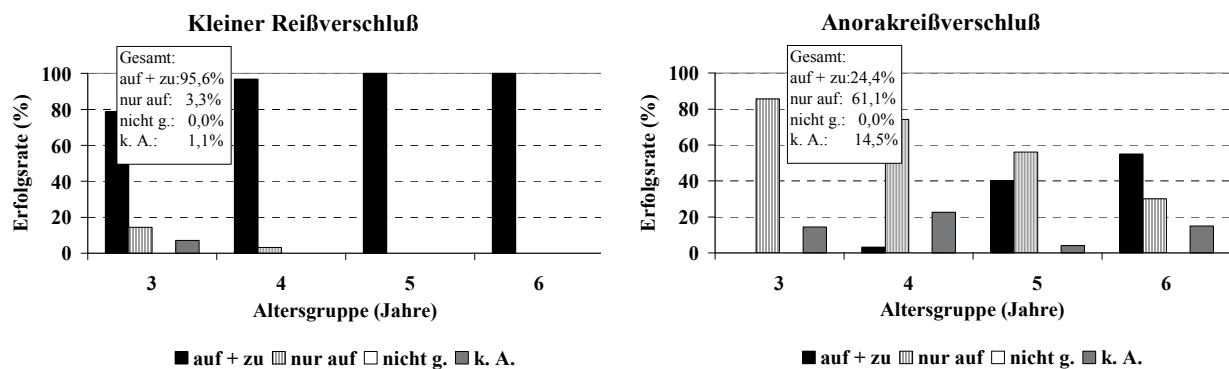


Abb. 4: Erfolgs-, Misserfolgsrate beim Öffnen und Verschließen der Reißverschlüsse

Erfolgs- / Misserfolgsrate und Strategie beim Handhaben der Druckknöpfe

Auf die Gesamtzahl der Kinder bezogen ist die Erfolgsrate beim Öffnen und Schließen der Druckknöpfe mit 73,3 % (kleine Druckknöpfe) bzw. 78,9 % (große Druckknöpfe) relativ hoch. Altersbezogen kann nur eine geringe Anzahl der dreijährigen Kinder diese Knöpfe erfolgreich bedienen: 14,3 % der Kinder dieser Altersstufe sind erfolgreich beim Öffnen und Schließen der kleinen Druckknöpfe, 28,6 % bei der Handhabung der großen Druckknöpfe. (Abb. 5)

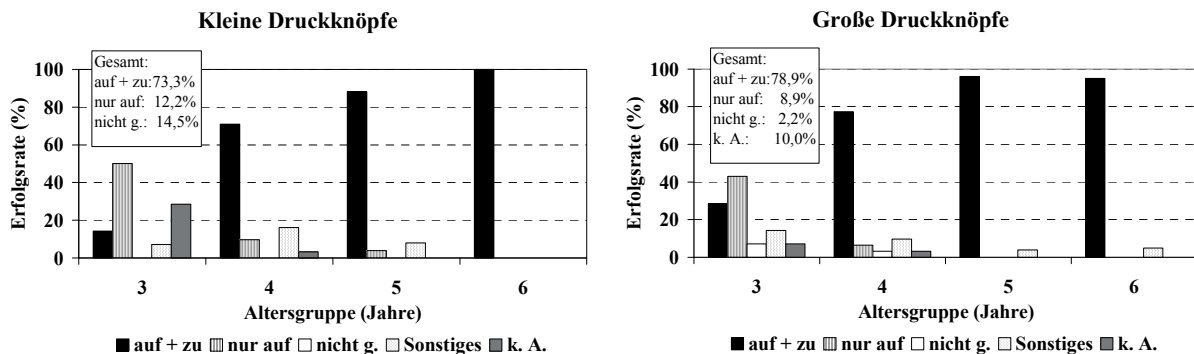


Abb. 5: Erfolgs-, Misserfolgsrate beim Öffnen und Verschließen der Druckknöpfe

Ein Vergleich der Erfolgsrate beider Druckknopfarten zeigt, dass es tendenziell in den ersten drei Altersgruppen mehr Kinder gibt, die alle drei großen Druckknöpfe erfolgreich auf- und zuknöpfen können, als die kleinen, während in der ältesten Altersgruppe das Gegenteil der Fall ist: hier liegt die Erfolgsrate beim Öffnen und Verschließen aller kleinen Druckknöpfe bei 100 % gegenüber nur 95 % bei den großen Druckknöpfen. Die großen Druckknöpfe erfordern für das erfolgreiche Öffnen und Schließen mehr Kraft, jedoch weniger feimotorisches Können. Dreijährige Kinder besitzen anscheinend schon die nötige Kraft zum Bedienen der großen Druckknöpfe, ihnen fehlt jedoch manchmal noch das feimotorische Können zur Bedienung der kleinen Druckknöpfe. Die Misserfolgsrate bei der Handhabung der großen Druckknöpfe (7,1 %) ist im Vergleich zur Misserfolgsrate der kleinen Druckknöpfe (0 %) in der ersten Altersstufe wiederum relativ hoch (Abb. 6).

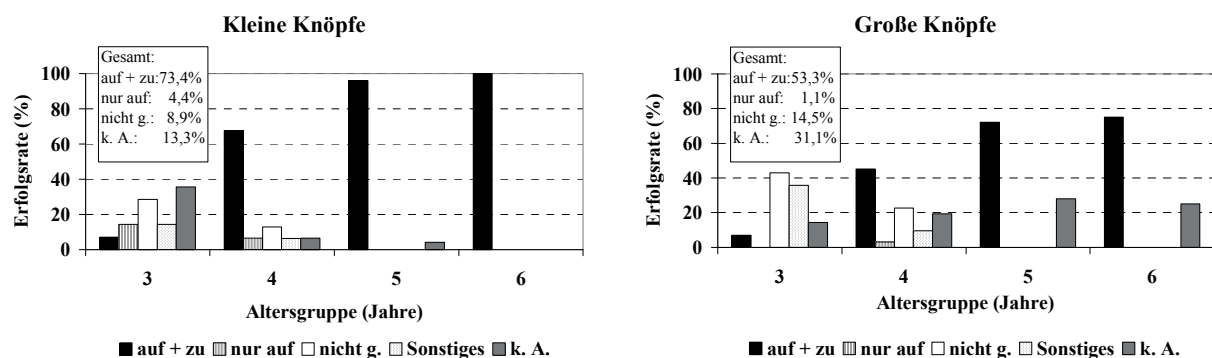


Abb. 6: Erfolgs-, Misserfolgsrate beim Öffnen und Verschließen der Knopfverschlüsse

Die Bewegungsmuster beim Handhaben der großen und kleinen Druckknöpfe weisen eine im Vergleich zu den übrigen Verschlussarten hohe Variabilität auf. Beim Öffnen waren die beiden häufigsten Strategien das Auseinanderreißen der beiden Stoffhälften mit beiden Händen sowie das Aufreißen der Druckknöpfe durch Auseinanderziehen der Stoffhälften mit einer Hand, die eine Stoffhälfte wegzieht, während die andere Hand auf der zweiten Stoffhälfte liegt und diese festhält. Beim Zudrücken der Druckknöpfe gab es sehr viele Strategien: mit ein oder mehreren Fingern / Daumen, mit beiden Handballen, mit Daumen und / oder Fingern der rechten und linken Hand etc.. Dabei kam es auch vor, dass die Druckknöpfe beim Verschließen nicht nur auf dem Holz zgedrückt wurden, sondern auch durch das Greifen unter den Stoff.

Erfolgs- / Misserfolgsrate und Strategie beim Handhaben der Knöpfe

In der jüngsten Altersgruppe ist prozentual betrachtet die Erfolgsrate von nur 7,1 % sowohl beim Öffnen als auch beim Schließen der kleinen und der großen Knopfverschlüsse noch sehr gering. Sie nimmt in den älteren Altersgruppen zu. Von der zweiten Altersgruppe an ist die Erfolgsrate beim Auf- und Zuknöpfen mit kleinen Knöpfen in allen untersuchten Altersgruppen bis zu 25 % höher als beim Öffnen und Schließen mit großen Knöpfen (Abb.6). Vermutlich sind kleine Knöpfe leichter zu bedienen, da sie durch das Auseinanderziehen beider Stoffhälften, das sehr häufig als Strategie beim Öffnen der Knöpfe benutzt wurde, schneller aus dem Knopfloch gleiten. Weitere Bewegungsmuster der Kinder beim Handhaben dieser Knöpfe waren neben dem Auseinanderreißen der beiden Stoffhälften beim Aufknöpfen u.a. das Durchziehen und Durchschieben bzw. beide Bewegungsmuster kombiniert beim Auf- und Zuknöpfen. Die Strategie des Durchziehens wurde aufgrund der unterschiedlichen Lage der großen und kleinen Knöpfe - die großen Knöpfe befanden sich vom Kind aus gesehen auf der rechten Stoffseite, die kleinen auf der linken - größtenteils durch den Pinzettengriff mit der rechten Hand bei den kleinen Knöpfen, bei den großen Knöpfen mit der linken

Hand realisiert. Da die meisten Kinder nach unserer Beobachtung Rechtshänder sind, könnte dies ein Grund für das vergleichsweise erfolgreichere Bedienen der kleinen Knöpfe sein.

Erfolgs- / Misserfolgsrate und Strategie beim Handhaben der Sicherheitsverschlüsse

Ein direkter Vergleich des Sicherheitssteckverschlusses, der auf der Leiste angebracht war mit dem gleich konstruierten Fahrradhelmverschluss kann nicht vorgenommen werden, da jedes Kind den Sicherheitsverschluss wieder verschließen sollte, während nur die Kinder, die den Fahrradhelmverschluss zumachen konnten, diesen auch wieder öffnen sollten. Dadurch dass die Kinder den Fahrradhelmverschluss nach dem Aufsetzen des Helmes am Kopf öffnen und schließen sollten und dieser sich somit in einer nicht immer einseharen Position befand, gelang es prozentual betrachtet weniger Kindern diesen Verschluss erfolgreich zu bedienen, als den vor ihnen auf dem Tisch befindlichen gleich konstruierten Sicherheitssteckverschluss. Als Ergebnis dieses Tests kann bezogen auf die Sicherheit des Sicherheitssteckverschlusses festgestellt werden, dass es den meisten Kindern im Alter von 3 Jahren noch nicht gelingt, derartige Sicherheitssteckverschlüsse zu öffnen. Diese erfüllen somit in der jüngsten Altersgruppe ihre Funktion. Das ändert sich rasch mit fortschreitendem Alter (Abb. 7). Der Sicherheitssteckverschluss kann von 12,9 % der vier Jahre alten Kinder geöffnet werden, von 52 % der Altersgruppe 5 Jahre und von 65 % der ältesten Gruppe. Die auf alle Altersstufen bezogene Erfolgsrate beim Handhaben der Sicherheitsverschlüsse ist jedoch im Vergleich zu anderen Verschlussarten gering.

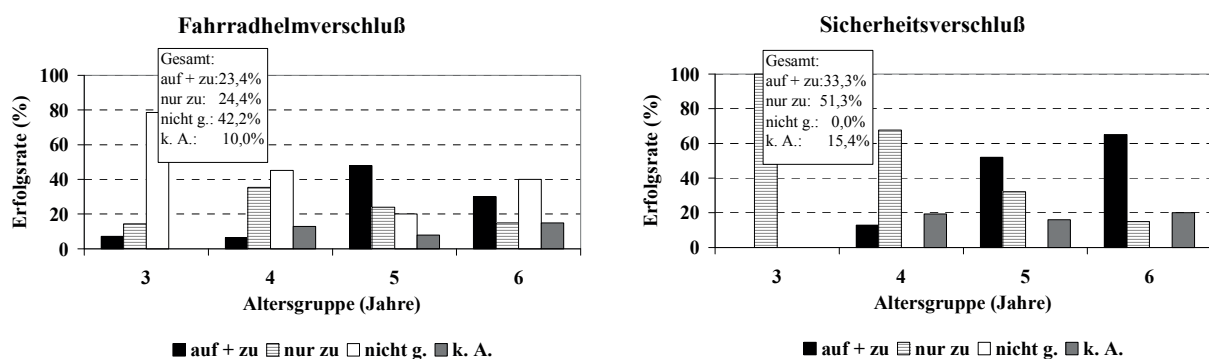


Abb. 7: Erfolgs-, Misserfolgsrate beim Öffnen und Verschließen der Sicherheitsverschlüsse

Erfolgs- / Misserfolgsrate und Strategie beim Handhaben des Schnürbandes

Anstelle von Schnürbänder an Kinderschuhen treten in der heutigen Zeit vermehrt andere leichter zu handhabende Verschlussarten, wie beispielsweise Klettverschlüsse. Das erfolgreiche Öffnen und Schließen von Schnürungen wird nur noch selten geübt. Diese Entwicklung kommt in den Ergebnissen beim Binden von Knoten und Schleife deutlich zum Ausdruck. Abb. 8 zeigt, dass es nur wenig mehr als der Hälfte aller Kinder gelang, einen Knoten zu binden, die Schleife schafften weniger als 20 % der Kinder. Dieses Ergebnis zeigt, dass es den meisten Kindern an Übung im Umgang mit dieser Verschlussart fehlt, sie entweder keine Schnürschuhe besitzen oder die Eltern oder ErzieherInnen die Schnürbänder für ihre Kinder zuschnüren.

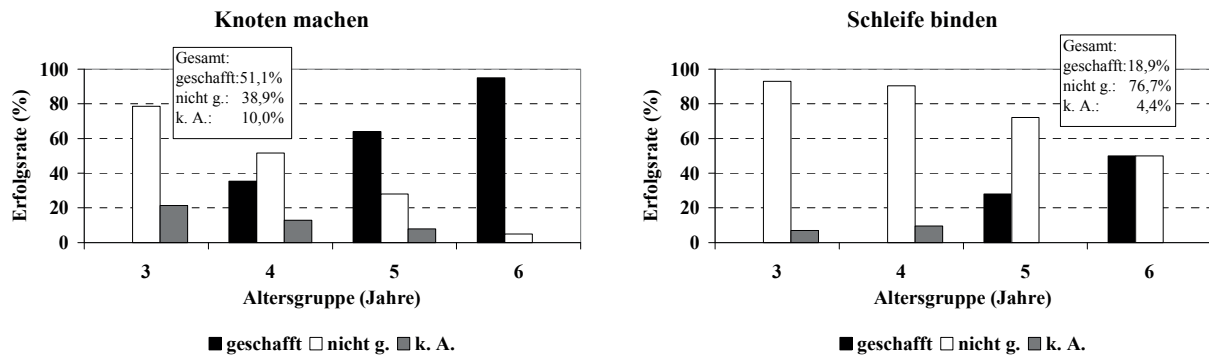


Abb. 8: Erfolgs-, Misserfolgsrate bei der Handhabung des Schnürbandes

Zu der Aufgabenstellung einen Knoten zu machen, wurden keine unterschiedlichen Strategien bemerkt. Demgegenüber gab es bei der Aufgabe, eine Schleife zu binden zwei unterschiedliche Varianten:

1. zwei Schlaufen machen und diese miteinander verknotten
2. eine Schlaufe machen, das andere Bandende herumwickeln und die andere Schlaufe herausziehen

Das Einfädeln des Schnürbandes wurde nur von Kindern der Altersgruppe 4 Jahre durchgeführt. Hierbei fiel auf, dass den meisten Kindern die Sinnhaftigkeit des Verschlusses nicht bewusst war. Dies drückte sich in der Vorgehensweise beim Einfädeln des Bandes aus. Viele Kinder verfolgten keine konkrete Strategie oder fädelten je ein Schnürbandende auf den jeweiligen Seiten ein, ohne dabei über Kreuz zu fädeln, wie es zum erfolgreichen Ausführen der Aufgabe notwendig ist. Dadurch dass fast kein Kind am Anfang des Einfädelns einen Längenvergleich der beiden Bandenden vornahm, konnten die wenigsten Kinder nach dem Einfädeln eine Schleife binden. Dieses gelang erst nach dem Ausfädeln eines Teil des Schnürbandes.

Kinder im Alter von 3 bis zu 5 Jahren bekamen das eingefädelte, verknottete und mit einer Schleife versehene Schnürband vorgelegt und sollten zuerst Knoten und Schleife öffnen, um diese dann anschließend wieder zu binden. Über 80 % der Kinder gelang das erfolgreiche Öffnen von Knoten und Schleife.

Erfolgs-, Misserfolgsrate und Strategie beim Handhaben eines Gürtels

Die Erfolgsrate beim Umschnallen des Gürtels ist bei den Kindern der ersten beiden Altersgruppen im Vergleich zu den älteren Kindern sehr gering. Hierbei ist die fehlende Sinnhaftigkeit der unteren Altersstufen ein Erklärungsgrund, der sich auch aus den Bewegungsmustern der Kinder ableiten lässt. Ein hoher Anteil der jüngeren Kinder legte den Gürtel so um, dass sich die Schnalle auf dem Rücken befand und somit nicht geschlossen werden konnte.

Ältere Kinder besitzen wahrscheinlich bereits ein genügend hohes Abstraktionsvermögen, um den Gürtel richtig umzuschallen. Dies würde jedenfalls die erzielte Erfolgsrate von mehr 80 % verständlich machen (Abb.9).

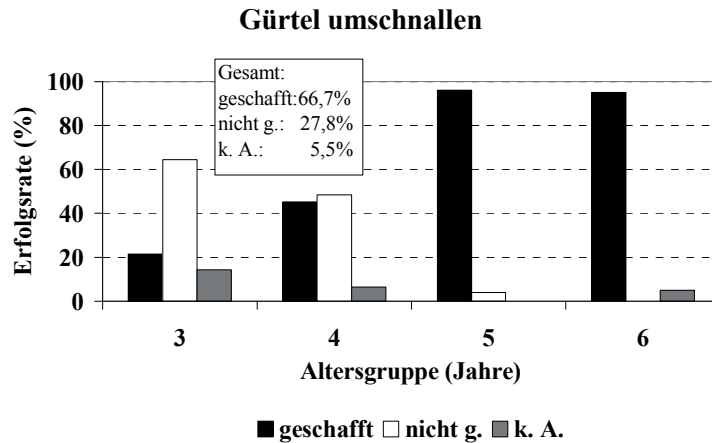


Abb. 9: Erfolgs-, Misserfolgsrate beim Gürtel

Schlussfolgerungen

Bei der Konstruktion von Verschlüssen an Gebrauchsgegenständen zur Nutzung im Kleinkind- und Vorschulalter muss unterschieden werden, ob ein Verschluss vom Kind in möglichst frühem Alter selbständig gehandhabt werden soll oder ob er eine Sicherheitsfunktion hat – also gerade nicht durch das Kind bedient werden soll. Im Alter zwischen 2 ½ und 6 ½ Jahren lernen Kinder die unterschiedlichsten Verschlüsse zu betätigen. Mit zunehmendem Alter ist bei der erfolgreichen Handhabung der geprüften Verschlüsse folgende Reihenfolge feststellbar:

Altersgruppe 3 Jahre: 71 % der Kinder können einen Knoten öffnen. 79 % öffnen und schließen einen kleinen Reißverschluss. 93 % können eine Schleife öffnen.

Altersgruppe 4 Jahre: 68 % der Kinder können kleine Knöpfe erfolgreich öffnen und schließen, 71 % kleine Druckknöpfe, 77 % große Druckknöpfe. 81 % öffnen eine Schleife und 84 % einen Knoten. Der kleine Reißverschluss wird von 97 % geöffnet und geschlossen.

Altersgruppe 5 Jahre: 52 % der Kinder sind bereits in der Lage, den auf der Leiste montierten Sicherheitssteckverschluss sowohl zu schließen als auch wieder zu öffnen, nur 48 % schaffen dies beim Fahrradhelm. 64 % können einen Knoten machen, aber bereits 82 % öffnen einen Knoten, 91 % eine Schleife. 72 % der Kinder öffnen und schließen große Knöpfe, 88 % kleine Druckknöpfe, 96 % kleine Knöpfe, 96 % große Druckknöpfe, 100 % den kleinen Reißverschluss. Der Gürtel, der mit 4 Jahren nur zu 45 % richtig umgelegt und geschlossen wurde, wird mit 5 Jahren bereits von 96 % der Kinder erfolgreich gehandhabt.

Altersgruppe 6 Jahre: 50 % der Kinder können eine Schleife richtig binden, 95 % einen Knoten. Der Anorakreißverschluss wird von 55 % erfolgreich geöffnet und geschlossen, der kleine Reißverschluss – wie bereits in der vorhergehenden Altersgruppe – von 100 %. 65 % der Kinder öffnen und schließen den Sicherheitssteckverschluss. Große Knöpfe werden von 75 % geöffnet und geschlossen, große Druckknöpfe von 95 %, kleine Knöpfe und kleine Druckknöpfe von 100 %.

Die hier nicht aufgeführten Erfolgsquoten unter 50 % können den Diagrammen des Ergebnisteils entnommen werden. Diese Resultate sind dazu geeignet, der Industrie Hinweise dafür liefern, wann im Kindesalter welche Verschlüsse zweckmäßigerweise eingesetzt werden sollten. Beispielsweise erlauben Klettverschlüssen an Schuhen eindeutig früher eine selbständige Handhabung durch das Kind als Schnürbänder. Der an Kinderfahrradsitzen heute noch übliche Sicherheitssteckverschluss kann früher bedient werden als dieselbe Verschlussart am aufgesetzten Fahrradhelm. Er bietet damit keine ausreichende Sicherheit für das Kind.

Literatur

Flügel B., Greil H., Sommer K. (1986): Anthropologischer Atlas. Grundlagen und Daten. Edition Wötzel, Frankfurt/Main.

Knußmann R. (Hrsg., 1988): Anthropologie. Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen. Begründet von Rudolf Martin. Bd.I/1. Gustav Fischer, Stuttgart - New York.

Noth V. (2001): Bewegungsmuster bei der Handhabung von Verschlüssen im Kleinkind- und Vorschulalter. Staatsexamensarbeit MNF Univ. Potsdam.

Anschrift der Autorin:

Veronika Noth
FG Humanbiologie
Institut für Biochemie und Biologie
Universität Potsdam
Lennéstr. 7a
14471 Potsdam
roni_noth@yahoo.de

Schnittstelle Kinderhand - Computermaus

Fritz N., Schröder, I.

Einleitung

Die Anwendung moderner Informationstechnologien gilt heute bereits im Vorschul- und Schulalter als Bestandteil einer zeitgemäßen Bildung und Ausbildung. Es ist daher mittlerweile fast selbstverständlich, dass Kinder einen Computer bedienen. Sie müssen dabei nicht nur lernen, Software zu benutzen, sondern müssen auch mit der Hardware, also dem Computer einschließlich seiner Peripherie, umgehen. Von besonderer Bedeutung sind in diesem Mensch-Computer-System die Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine: die Tastatur und die Computermaus. Für Kinder ist die Computermaus das wichtigste Eingabegerät, doch ihre Formgebung und ihre metrischen Eigenschaften sind an erwachsenen Nutzern orientiert; Computermäuse, die die speziellen Bedürfnisse von Kindern berücksichtigen, sind im Handel kaum erhältlich.

Kinder weisen nicht nur in ihren Körpermaßen regelhaft niedrigere Werte auf als Erwachsene, sondern haben aufgrund des allometrischen Wachstums auch andere Körperproportionen (Flügel et al. 1986). Dies gilt auch für die Kinderhand. Aus industrieanthropologischer Sicht dürfen Kinder also nicht einfach als verkleinerte Erwachsene betrachtet werden, so dass aus der einfachen Größenreduzierung einer herkömmlichen Maus nicht zwangsläufig eine ergonomisch geeignete Kindermaus resultiert. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass falsche Abmessungen und eine ungünstige Gestaltung möglicherweise Fehlhaltungen und Verkrampfungen fördern könnten, die langfristig gesundheitliche Beeinträchtigungen nach sich ziehen können.

Die Computerarbeitsplatzsituation ist bei Erwachsenen bereits von verschiedenen Untersuchern mit unterschiedlichen Methoden analysiert worden (z.B: Karlqvist et al. 1994, Harvey et al. 1997, Cook und Kothiyal 1998, Fernström und Ericson 1998, Burgess-Limerick et al. 1999). Videografische ebenso wie elektromyografische Untersuchungen weisen darauf hin, dass der Handhaltung bei der Benutzung von Computermäusen - insbesondere der Ulnar- bzw. Radialabduktion - große Bedeutung für die muskuläre Belastung im Oberarm-, Schulter- und Nackenbereich zukommt. Unberücksichtigt blieben bisher hingegen Spreizungen der Finger, die bei der Bedienung von Computermäusen relevant sein können.

Vor diesem Hintergrund haben wir zunächst eine Kindercomputermaus entwickelt, die in Größe und Proportionen den kindlichen Händen im wörtlichen Sinne „angemessen“ ist. Anschließend haben wir die Benutzung einer handelsüblichen Computermaus und die Benutzung der Kindercomputermaus

vergleichend untersucht um festzustellen, ob besonders kritische Aspekte der Handhabung Unterschiede aufweisen.

Entwicklung einer Kindermaus

Da eine geeignete Kindermaus nicht zu beschaffen war, haben wir eine Kindermaus konzipiert und als Prototyp in den Versuchen eingesetzt. Dabei sind wir zunächst davon ausgegangen, dass die biologisch gut definierten Größen- und Entwicklungsunterschiede zwischen Kleinkindern und Schulkindern es theoretisch erfordern, mindestens zwei verschiedene Kindercomputermäuse zu planen. Aus technischen Gründen konnten wir zunächst jedoch nur den Prototyp einer Schulkindermaus für die Untersuchung praktisch umsetzen. Bei der Planung sind wir von einer handelsüblichen Computermaus mit folgenden relevanten Abmessungen ausgegangen: maximale Breite 60 mm, maximale Länge 112 mm, maximale Höhe 28 mm, relative Länge der Tasten 35,7 %. Entsprechend der Größen- und Proportionsunterschiede zwischen Kinder- und Erwachsenenhänden haben wir die Länge und die Breite in unterschiedlichem Ausmaß reduziert, die relative Tastenlänge hingegen erhöht. Die Höhe wurde ebenfalls geringfügig erniedrigt; die Anzahl der Tasten wurde auf zwei festgelegt. Schließlich fertigten wir eine entsprechend kindgerechte Mausoberschale aus Glasfaser, die auf eine handelsübliche Unterschale montiert und in dieser Form in den Versuchen verwendet wurde.

Material und Methoden

An der Untersuchung haben insgesamt 126 Mädchen und Jungen im Alter zwischen 3 und 10 Jahren teilgenommen, deren Eltern eine Einverständniserklärung gegeben hatten. Die Kinder wurden in insgesamt vier Gruppen eingeteilt:

Gruppe 1: 28 Kinder im Vorschulalter, die eine handelsübliche Erwachsenenmaus benutzen

Gruppe 2: 23 Kinder im Grundschulalter, die eine handelsübliche Erwachsenenmaus benutzen

Gruppe 3: 34 Kinder im Vorschulalter, die den Prototyp der Kindermaus benutzen

Gruppe 4: 41 Kinder im Grundschulalter, die den Prototyp der Kindermaus benutzen.

Die Handhabung der verschiedenen Computermäuse wurde mit einem mobilen Versuchsaufbau in mehreren Kindergärten und Grundschulen untersucht (siehe Abb. 1). Den Kindern wurde die Aufgabe gestellt, an dem Notebook mit Hilfe eines Malprogramms eine vorgegebene Figur mit der Maus auszumalen. Die Tasten der Computermäuse wurden in Abhängigkeit von der Altersgruppe der Kinder mit unterschiedlichen Funktionen ausgestattet. Die Vorschulkinder hatten die Möglichkeit zwischen zwei Farben zu wählen, den Schulkindern stand hingegen eine 8-Farben-Skala zur Verfügung. Die Tastatur des Notebooks wurde während des Versuchs abgedeckt, so dass die Tasten nicht zur Verfügung standen. Die Gesamtdauer des Versuchs wurde auf fünf Minuten beschränkt, von denen später nur die dritte Minute ausgewertet wurde. Die Bedienung der Computermaus wurde in Anlehnung an die von Karlqvist et al. (1994) und Burgess-Limerick et al. (1999) verwendete Methode von oben mit einer Kamera aufgezeichnet und anschließend digital ausgewertet.



Abb. 1: Der mobile Versuchsaufbau bestand aus dem Arbeitsplatz mit dem Computer und einer darüber aufgehängten Kamera. Um eine gute Sitzhaltung für die Kinder zu gewährleisten, wurden die Füße mit unterschiedlich großen Kisten unterstützt, gegebenenfalls wurde auch die Sitzfläche durch das Unterlegen von Kissen erhöht.

Um die Bewegungen leichter verfolgen und die Winkel besser messen zu können, wurde die dorsale Seite der rechten Hand vor Beginn der Aufgabe am Computer mit drei Markierungen versehen: Ein Punkt wurde auf das Mittelfingergrundgelenk gesetzt, der zweite kennzeichnete die Mitte des Handgelenks und der dritte wurde in der Verlängerung der Linie zwischen den beiden ersten Punkten auf dem Unterarm markiert.

In einem ersten Versuchsabschnitt wurde die Bedienung einer handelsüblichen Drei-Tasten-Maus (Logitech M/N:M-S35) bei beiden Altersgruppen untersucht. In einem zweiten Versuchsabschnitt wurden dann die entsprechenden Versuche mit dem Prototyp der Kindermaus durchgeführt. Anschließend wurden die Videoaufzeichnungen der Mausbedienung am Computer ausgewertet. Dabei wurden für jeden Probanden aus der dritten Minute des Versuches jeweils dreißig Einzelbilder (in Abständen von 2 Sekunden) ausgewertet. Gemessen wurden die Winkel zwischen dem 2. und 3., dem 3. und 4. sowie dem 4. und 5. Finger. Außerdem wurde der Grad der Ulnar- bzw. Radialabduktion ermittelt. Aus den jeweils dreißig Einzelwerten wurde für jeden Probanden ein Durchschnittswert berechnet. Außerdem wurde anhand der Videoaufzeichnungen festgestellt, ob die Kinder während der Benutzung der Maus das Handgelenk und den Unterarm auf der Arbeitsfläche abstützten und ob die Handfläche auf der Maus lag.

Ergebnisse

Ein erstes bemerkenswertes Ergebnis zeigt sich bereits bei dem Spektrum möglicher Handhaltungen bei der Bedienung der Computermäuse. Speziell die Gruppe der Vorschulkinder zeigt bei Benutzung der herkömmlichen Erwachsenenmaus eine außergewöhnlich große Variationsbreite. Einige der Bedienungsstrategien der Kinder sind in Abb. 2 dargestellt.

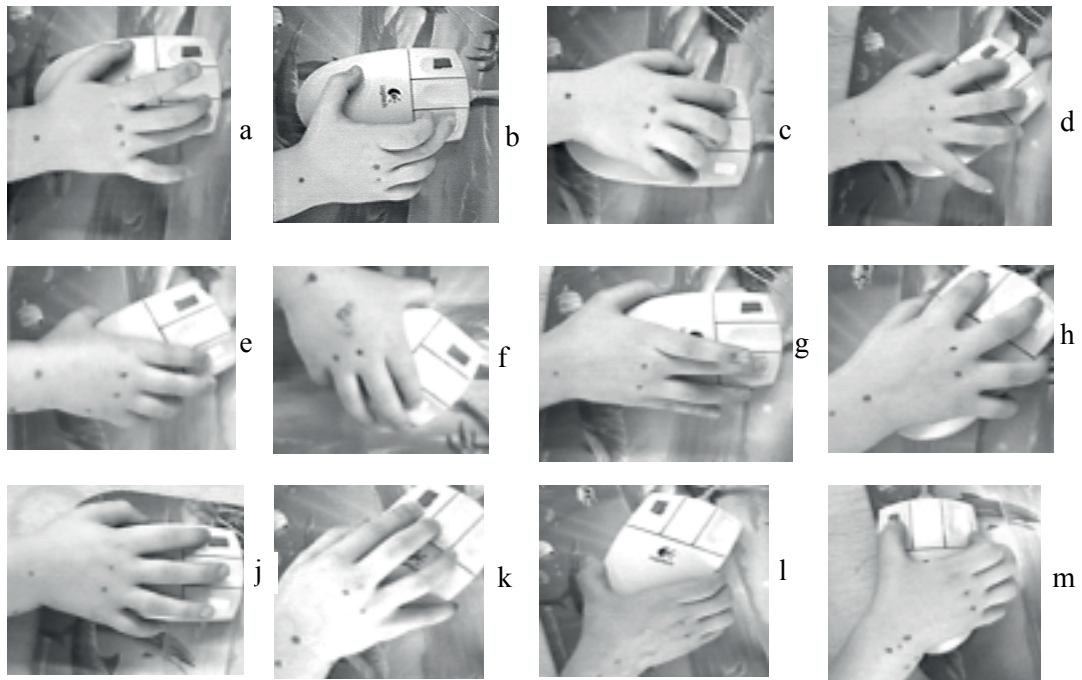


Abb. 2: Bei Verwendung einer handelsüblichen Computermaus für Erwachsene zeigen Vorschulkinder eine unerwartet große Variation von Handhaltungen und Bewegungsstrategien.

Die Abb. 2 b und 2 l zeigen beispielsweise, dass die kleinen Kinderhände häufig ganz überwiegend neben der Maus liegen statt den Mauskörper zu umfassen. Die Abb. 2 m zeigt, wie ein Kind die linke Maustaste mit dem Daumen und die rechte mit dem Zeigefinger bedient. Auf Abb. 2 h ist zu erkennen, dass ein extrem großer Winkel zwischen dem 2. und dem 3. Finger entsteht, wenn ein Kind versucht, die linke Maustaste mit dem Zeigefinger und die rechte Maustaste mit dem Mittelfinger zu bedienen. Häufig ruhen auch zwei Finger auf einer Taste, wie beispielsweise in Abb. 2 a und f zu erkennen ist. Demgegenüber ist die Variationsbreite in der Gruppe der Schulkinder schon deutlich geringer (siehe Abb. 3).

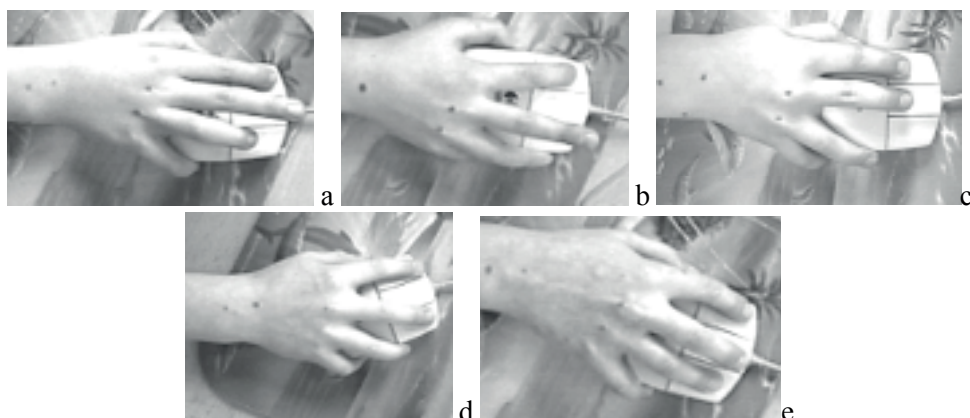


Abb. 3: Beispiele für verschiedene Handhaltungen von Kindern im Grundschulalter bei Verwendung einer Computermaus für Erwachsene.

Bei der Benutzung der Kindermaus hingegen zeigt sich, dass in beiden Altersgruppen nur noch zwei Handhaltungen zu beobachten sind, die deutlich weniger ungenau erscheinen als bei Verwendung der Erwachsenenmaus. In Abb. 4 sind diese Handhaltungen bei den Vorschul- und Schulkindern dargestellt.

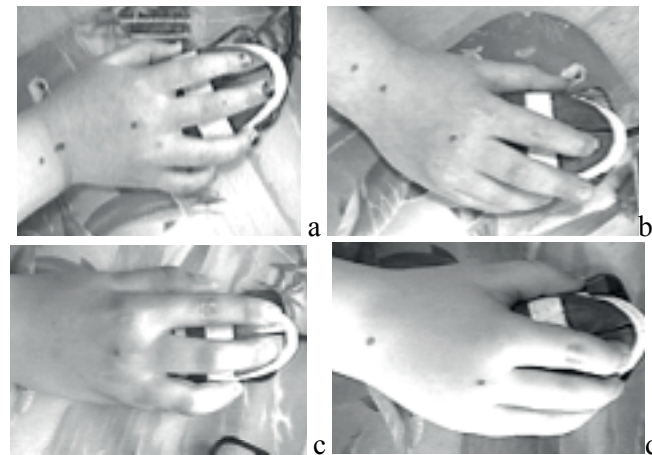


Abb. 4: Bedienung der Kindercomputermaus. Sowohl bei den Vorschulkindern (a, b) als auch bei den Grundschulkindern (c, d) treten nur noch zwei Handhaltungen bei der Bedienung der Maus auf. Entweder wird die linke Maustaste mit dem Zeigefinger und die rechte mit dem Mittelfinger bedient (a, c) oder es werden beide Maustasten mit dem Zeigefinger bedient (b, d).

Auch die metrische Auswertung weist auf deutliche Unterschiede nicht nur zwischen den Altersgruppen, sondern vor allem zwischen den beiden verwendeten Computermäusen hin. In Tab. 1 sind die untersuchten Winkel dargestellt, und es ist deutlich zu erkennen, dass in beiden Altersgruppen die Zwischenfingerwinkel und die Ulnar-/Radialabduktion bei Verwendung der Kindermaus deutlich geringer ausfallen. Alle diese Unterschiede sind signifikant.

Tab. 1: Durchschnittliche Zwischenfingerwinkel und Ulnar-/Radialabduktion (jeweils in Winkelgraden) in beiden Altersgruppen bei Verwendung der verschiedenen Computermäuse

Winkel	Vorschulkinder		Grundschulkindern	
	Erwachsenenmaus	Kindermaus	Erwachsenenmaus	Kindermaus
Finger II und III	15,9	5,5	15,0	5,8
Finger III und IV	13,5	2,6	15,3	2,6
Finger IV und V	17,7	1,3	17,2	0,3
Ulnar-/Radialabduktion	10,1	7,4	10,8	7,0

Auch die Auswertung der Abstützung von Handballen, Handgelenk und Unterarm zeigt deutliche Unterschiede in Abhängigkeit von der verwendeten Computermaus. In Tab. 2 ist dargestellt, wie viel Prozent der Probanden in den untersuchten Gruppen das Handgelenk und den Unterarm auf der Arbeitsfläche abstützen bzw. den Handballen auf die Maus legen konnten.

Tab. 2: Unterstützung von Hand und Unterarm in den beiden untersuchten Altersgruppen in Abhängigkeit von der verwendeten Computermaus

Art der Abstützung	Vorschulkinder		Grundschul Kinder	
	Erwachsenenmaus	Kindermaus	Erwachsenenmaus	Kindermaus
Unterarm auf dem Tisch	0 %	70,6 %	47,8 %	100 %
Handgelenk auf dem Tisch	10,7 %	100%	21,7 %	100 %
Handballen auf der Maus	82,1 %	100%	91,3 %	92,7 %

Es zeigte sich, dass die kindgerechte Maus in beiden Altersgruppen die Abstützungsmöglichkeiten für Handgelenk und Unterarm gegenüber der Erwachsenenmaus signifikant erhöht.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Untersuchung hat gezeigt, dass zahlreiche Charakteristika der Handhaltung deutliche Unterschiede in Abhängigkeit von den metrischen Eigenschaften der verwendeten Maus aufweisen. Wir gehen davon aus, dass die offensichtlich verbesserten Abstützungsmöglichkeiten für Hand und Arm vor allem bei längerfristiger Computerbenutzung ein ermüdungsfreieres Arbeiten mit der Maus ermöglichen. Voraussetzung ist dabei selbstverständlich, dass die übrigen Rahmenbedingungen (z.B. Abstand zum Computer, Tischhöhe, Sitzhöhe etc.) insgesamt angemessen gestaltet sind.

Auch die in dieser Untersuchung festgestellte Reduktion der Zwischenfingerwinkel durch Verwendung der Kindermaus ist positiv zu bewerten, da sich starke Spreizungen der Finger bis in die Handgelenke und Unterarme hin auswirken können. Ähnliches gilt auch für die Handgelenksstellung, da bereits nachgewiesen wurde, dass eine starke Ulnar- bzw. Radialabduktion bei der Computerbedienung zu höherer Muskelspannung in der gesamten oberen Extremität führt (Harvey und Peper 1997, Cook und Kothiyal 1998).

Es erscheint uns angesichts des unaufhaltsamen Einzugs des Computers in Kinderzimmer und Schulklassen erforderlich, dem Problembereich "Kind am Computer" verstärkte Aufmerksamkeit zu widmen und weitere geeignete wissenschaftliche Untersuchungen durchzuführen. Gerade bei jüngeren Kindern sollte nicht nur darauf geachtet werden, wie viel Zeit ein Kind vor dem Computer verbringt, sondern es müssen auch kindgerechte ergonomische Rahmenbedingungen geschaffen werden.

Literaturverzeichnis

Burgess-Limerick, R.; Shemmell, J.; Scadden, R., Plooy, A. (1999): Wrist posture during computer pointing device use. *Clinical Biomechanics* 4, 280-286

Cook, C.J.; Kothiyal, K. (1998): Influence of mouse position on muscular activity in the neck, shoulder and arm in computer users. *Applied Ergonomics* 29, 439-443

Fernström, E.; Ericson, M.O. (1997); Computer mouse or trackpoint-effects on muscular load and operator experience. *Applied Ergonomics* 28, 347-354

Flügel, B.; Greil, H.; Sommer, K. (1986): *Anthropologischer Atlas*, Berlin: Tribüne-Verlag

Harvey, R; Peper, E. (1997): Surface electromyography and mouse use position. *Ergonomics* 8, 781-789

Karlqvist, L.; Hagberg, M.; Selin, K. (1994): Variation in upper limb posture and movement during word processing with and without mouse use. *Ergonomics* 3, 1261-1267

Anschrift der Autorin:

Priv. Doz. Dr. Inge Schröder
Anthropologisches Institut
Christian-Albrechts-Universität Kiel
Olshausenstr. 40-60
24098 Kiel
i.schroeder@anthropol.uni-kiel.de

Bewegungsmuster in Alltagssituationen – Ein Altersvergleich

Scheffler, Ch.

Einleitung

Bewegungen des Menschen in Alltagssituationen sind oft unbewußte gewohnheitsbedingte Bewegungsabläufe mit mehr oder weniger hoher individueller Variabilität. Bewußt werden sie häufig erst bei schmerzhaften Veränderungen des Bewegungsapparates. Dauerhafte Fehlbelastungen des Bewegungsapparates bei alltäglichen Bewegungsabläufen verursachen nicht nur Schmerzen, sie führen darüber hinaus nicht selten zu Degenerationserscheinungen. Andererseits können vorhandene Degenerationserscheinungen in dem Bestreben, Schmerzen zu vermeiden oder zu minimieren, zum Einschleifen ungünstiger Bewegungsabläufe beitragen. Dieser ungünstige Rückkopplungseffekt kann unterbrochen werden, wenn die unbewussten Abläufe ins Bewusstsein gerückt werden. In diesem Zusammenhang kann eine Analyse von Bewegungsabläufen helfen, bessere Möglichkeiten zur Vermeidung von Schmerzen und Bewegungseinschränkungen zu entwickeln. Dabei müssen zunächst einmal bei definierten Bewegungsabläufen die individuelle Vielfalt und Variabilität der eingesetzten Bewegungsmuster in Abhängigkeit vom Alter untersucht werden.

Probanden und Methode

Um die Bewegungsmuster von Menschen in verschiedenen Altersgruppen zu untersuchen, wurden in den Jahren 1996 – 2001 im Land Brandenburg 387 gesunde Probanden im Alter von 2,5 bis zu 85 Jahren gewonnen, die freiwillig an der Studie teilnahmen.

Es wurden 3 Altersgruppen gebildet, die einzelne ontogenetische Lebensabschnitte des Menschen widerspiegeln.

Altersgruppe 1: Kleinkind- und Vorschulalter (3 – 6 Jahre)

Altersgruppe 2: junges Erwachsenenalter (20 - 29 Jahre)

Altersgruppe 3: älteres Erwachsenenalter (55 – 85 Jahre).

Die erste Altersgruppe umfasst 78 Jungen und 74 Mädchen im Alter von 3 bis 6 Jahren. In der zweiten Altersgruppe, der Gruppe der jüngeren Erwachsenen, sind 29 Studenten und 100 Studentinnen untersucht worden. Die Gruppe der älteren Erwachsenen wird von 33 Männern und 73 Frauen im Alter von 55 bis 85 Jahren gebildet.

An jedem Probanden wurden Körpermaße nach den Meßvorschriften des Anthropologischen Atlas (FLÜGEL et al. 1986) und des Handbuchs der Ergonomie (BULLINGER et al. 2000) bestimmt, darunter Körperhöhe, Körpermasse und Taillenumfang. Zusätzlich wurden die Probanden mit einer Videokamera bei der Lösung einer definierten Bewegungsaufgabe gefilmt. Die Probanden sollten aus einen auf der Erde befindlichen leichten Gegenstand aufnehmen. Die anschließend analysierten Bewegungsmuster konnten in 5 Kategorien eingeteilt werden (Abb. 1):

1. das gerade Bücken: Proband bückt sich nach vorn
Hüftgelenk befindet sich in Höhe des Schultergelenks
Kniegelenk gestreckt bzw. leicht gebeugt
2. die halbe Hocke: Proband bückt sich nach vorn
Hüftgelenk befindet sich unterhalb der Höhe des Schultergelenks
Kniegelenk gebeugt
3. die ganze Hocke: Proband geht in die Hocke
Hüftgelenk befindet sich unterhalb Höhe des Kniegelenks
4. das Knien: Proband geht in die Hocke, dabei berührt ein Knie den Fußboden
5. Sonstiges



Abb.1: Bewegungsmuster beim Bücken:
das gerade Bücken, die halbe Hocke, die ganze Hocke (v.l.n.r.)

Diese Bewegungsmuster werden hinsichtlich ihrer Altersabhängigkeit untersucht und mit ausgewählten anthropometrischen Parametern wie Body-Mass-Index und Taillenumfang in Beziehung gesetzt.

Ergebnisse

Altersabhängige Häufigkeit von Bewegungsmustern

Im Altersverlauf ändert sich das Bewegungsverhalten.

Bei Erwachsenen lassen sich alle beobachteten Bewegungsabläufe insgesamt 4 verschiedenen Klassifizierungsmustern zuordnen.

In Abb. 2 werden die Häufigkeiten der einzelnen Bewegungsmuster in den drei untersuchten Altersgruppen und geschlechtsgetrennt dargestellt (männlich: einfarbige Säulen, weiblich: gemusterte Säulen).

Im Alter von 3 – 6 Jahren ist eine besonders hohe Variabilität der Bewegungsmuster nachweisbar. Nur hier wird die Gruppe Sonstiges besetzt. Die beobachteten Bewegungsabläufe sind aus Sicht des Untersuchers auch nicht immer für die Aufgabe adäquat. Es handelt sich hierbei u.a. um das Hinspringen zum Objekt, das Hinkrabbeln, einen Ausfallschritt sowie ein seitliches Hinlaufen.

Die Variabilität ist bei Jungen noch höher als bei Mädchen. Es gibt aber bei den 3 – 6jährigen Jungen nicht einen, der die Aufgabe nach dem Klassifizierungsmuster 1 (Bücken mit geraden Beinen) wählt. Demgegenüber bücken sich 4% der Gruppe gleichaltrigen Mädchen nach diesem Muster.

Neben der Variabilität der Bewegungsmuster ändert sich im Altersverlauf auch die Häufigkeit, mit der pro Altersgruppe ein Bewegungsmuster auftritt.

Besonders bei Frauen zeigt sich, dass die Gruppe der älteren Frauen das Bücken mit geraden Beinen bevorzugt (48 %). Die jüngeren Frauen wählen diese Form des Bückens nur zu 12 %. Beim Bewegungsmuster Bücken mit der halben Hocke ist der Anteil der älteren Frauen mit 44 % nur noch

geringfügig höher als der der jüngeren Frauen mit 41 %. Es bücken sich mit der halben Hocke aber anteilmäßig weniger ältere Frauen als mit geraden Beinen, während der Anteil der jüngeren Frauen vergleichsweise höher liegt. Mädchen wählen diese Form des Bückens zu 20 %.

Diese Entwicklung setzt sich beim Bücken mit der ganzen Hocke fort. Die Mädchen bevorzugen mit 56 %, dem höchsten Anteil, dieses Bewegungsmuster. Bei den jüngeren Frauen bücken sich nur 44% nach dem Bewegungsmuster ganze Hocke. Dies ist aber ein höherer Anteil innerhalb dieser Altersgruppe als beim Bücken in der halben Hocke. Die älteren Frauen wählen das Bücken mit der ganzen Hocke mit 7 % im intra- und interspezifischen Gruppenvergleich am seltensten.

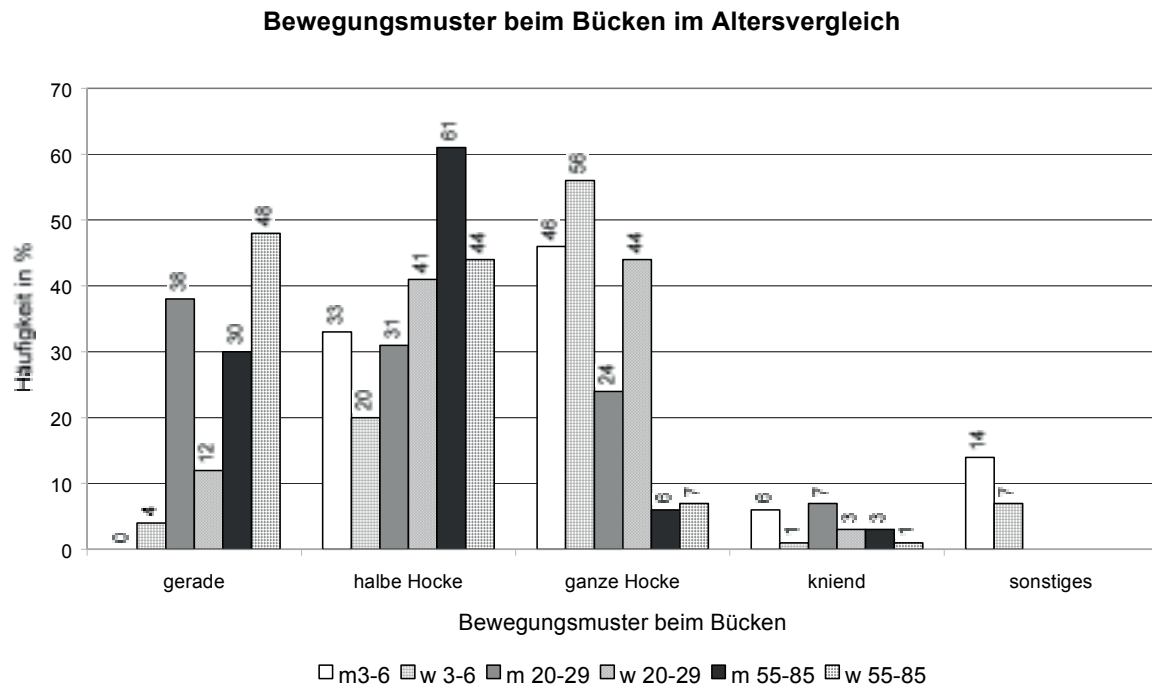


Abb. 2: Häufigkeiten der einzelnen Bewegungsmuster beim Bücken im Altersvergleich

Für das weibliche Geschlecht gilt: Je jünger die Probandinnen sind, desto eher bevorzugen sie das Bücken in der ganzen Hocke. Mit zunehmenden Alter wird die halbe Hocke gewählt, und im späteren Lebensalter bücken sie sich bevorzugt mit geraden Beinen.

Diese Tendenz ist auch im männlichen Geschlecht nachweisbar, jedoch gibt es hier Abweichungen, die im Erwachsenenalter durch eine geringere Stichprobengröße begründet sein könnten.

So bücken sich von den älteren Männern ebenfalls der geringste Anteil von 6% in der ganzen Hocke, der Anteil beim Bücken mit geraden Beinen ist mit 30 % deutlich höher. Der höchste Anteil (61%) dieser Altersgruppe bückt sich mit der halben Hocke. Da der Übergang zwischen den Bewegungsmustern fließend ist, ist dies kein Widerspruch zur Tendenz, die bei Frauen beobachtet wurde. Die Häufigkeiten der einzelnen Bewegungsmuster beim Bücken 3-6jähriger Jungen zeigen ebenfalls, bis auf die oben bereits beschriebene Ausnahme, dass der höchste Anteil (56%) der Jungen beim Bücken in die ganze Hocke geht. Das Bewegungsverhalten bei jungen Männern zeigt Abweichungen. Diese Probanden waren ausschließlich Sportstudenten mit trainierten und vor allem bewußt durchgeführten Bewegungsabläufen. Daher war auch der Anteil beim Knievergleichsweise hoch. Für die Kinder zeigt sich beim Knie mit 6% bei den Jungen und 1% bei den Mädchen die höhere Variabilität der Bewegungsmuster bestätigt. Die älteren Probanden, die sich nach diesem Bewegungsmuster bücken, sind ausschließlich schwer an der Wirbelsäule erkrankt (Bandscheiben-OP, Morbus Bechterew) und kompensieren bewusst ihre starken Bewegungseinschränkungen, die durch degenerative Veränderungen bedingt sind.

Bücken in unterschiedlichem Alter und bei unterschiedlicher Korpulenz

Da sich im Altersverlauf des Menschen typische körperliche Veränderungen vollziehen, die aus anthropometrischer Sicht nicht nur die Körperhöhe, sondern u.a. auch die Korpulenz betreffen, werden Maße der Korpulenz in Beziehung zu den Bewegungsmustern beim Bücken gesetzt.

Maße der Korpulenz sind z.B. der Body-Mass-Index (BMI) und der Taillenumfang. Der BMI ist ein Quotient aus der Körpermasse und der quadrierten Körperhöhe (Wertangabe in kg/m^2).

Mit zunehmender Korpulenz steigen BMI und Taillenumfang bei beiden Geschlechtern. Je höher die Werte vom BMI bzw. vom Taillenumfang sind, desto größer ist die Korpulenz.

Mit Zunahme des BMI ändert sich auch das Verhalten beim Bücken (Abb. 3). Je niedriger der BMI desto eher bevorzugen die Probanden beiderlei Geschlechts das Bücken mit der ganzen Hocke bzw. das Knien beim Bücken. Mit steigendem BMI verändert sich das Verhalten derart, dass die Probanden mit dem steigenden BMI sich zunächst bevorzugt mit der halben Hocke bücken. Die Probanden mit dem höchsten BMI bücken sich mit geraden Beinen. Diese Tendenz ist in allen untersuchten Altersgruppen der Erwachsenen zu beobachten. Die Jungen bilden hier eine Ausnahme, während bei den Mädchen interessanterweise diese Tendenz bereits nachweisbar ist.

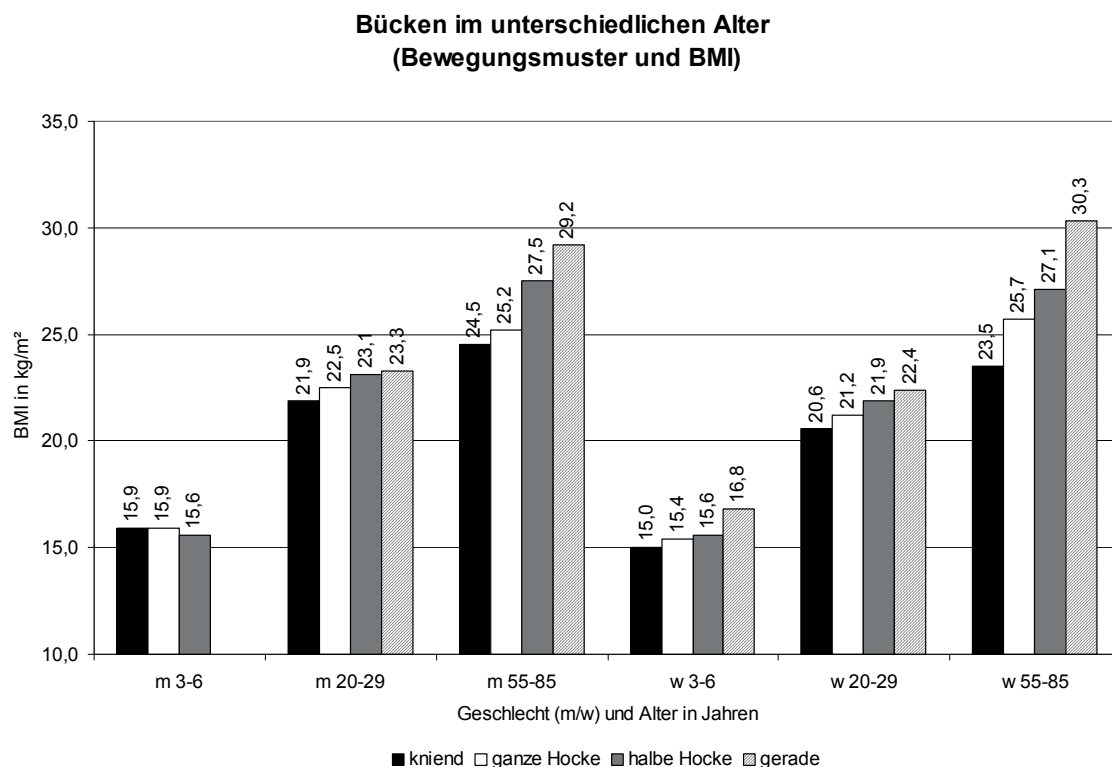


Abb. 3: Bücken im unterschiedlichen Alter (Bewegungsmuster und BMI)

Schlanke Mädchen und Frauen mit einem geringen Taillenumfang bevorzugen das Bücken mit der ganzen Hocke (Abb. 4). Mit zunehmenden Taillenumfang steigt bei ihnen die Häufigkeit, mit der sie sich bevorzugt zunächst mit halber Hocke und dann mit geraden Beinen bücken. Die Übergänge sind fließend. Im männlichen Geschlecht zeigt sich diese Tendenz ebenfalls, auch wenn hier die Zwischenstufe (halbe Hocke) nicht immer bei den Probanden zu beobachten ist, die im Durchschnitt den mittleren Taillenumfang haben.

Bücken im unterschiedlichen Alter (Bewegungsmuster und Taillenumfang)

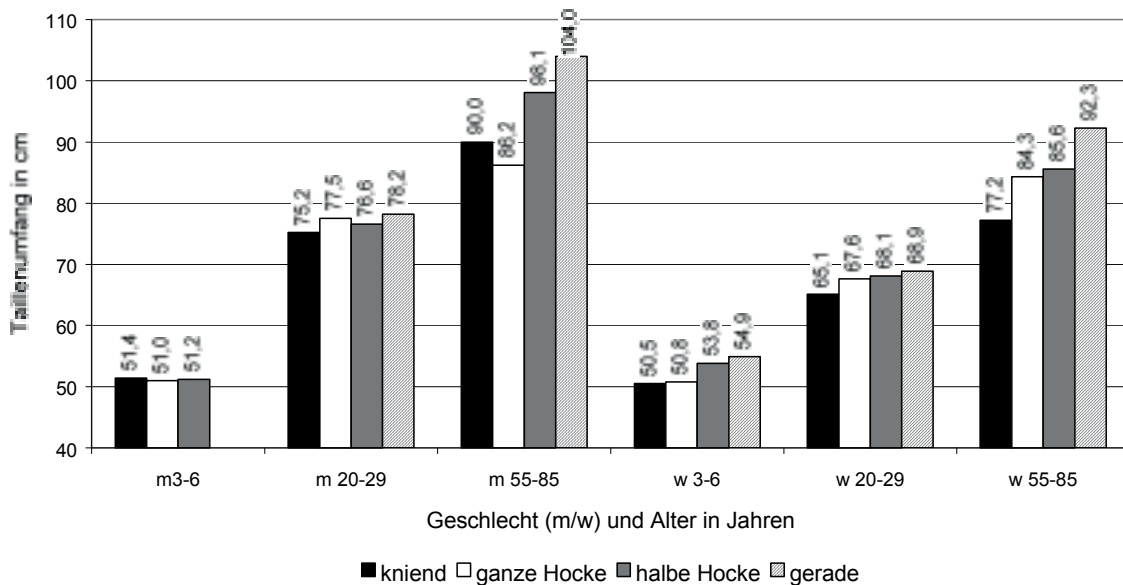


Abb. 4: Bücken im unterschiedlichen Alter (Bewegungsmuster und Taillenumfang)

Diskussion

Besonders bemerkenswert ist, dass sich bereits im Kleinkind- und Vorschulalter die beschriebene Tendenz der Abhängigkeit der Art des Bückens von der Korpulenz herausbildet. So ist anzunehmen, dass derartige Bewegungsmuster im frühen Kindesalter geprägt werden und durch zunehmende körperliche Veränderungen im Altersverlauf, in diesem Fall zunehmende Korpulenz, sich die Bewegungsmuster manifestieren.

Bücken ist offensichtlich von einem Komfortverhalten beeinflusst, das wie eigene Untersuchungen gezeigt haben, unabhängig von der individuell möglichen Beweglichkeit der Wirbelsäule ist (SCHEFFLER, 2001). Die individuell ermittelte Beweglichkeit der Wirbelsäule korreliert nicht mit dem Bewegungsmuster beim Bücken. Für das jeweilige Bewegungsmuster beim Bücken wirken andere Faktoren mit, die durch weitere körperliche Merkmale bestimmt werden.

An den hier demonstrierten Körpermaßen bzw. Indizes (Taillenumfang und BMI), wie auch an weiteren Maßen und Indizes (Hüftumfang, Metrikindex, Waist-Hip-Ratio, Thorakalindex) zeigt sich, dass vor allem ältere korpulente Menschen das Bücken aus dem Stand mit geraden Beinen bevorzugen. Sie tun dies wahrscheinlich, um zu vermeiden, dass ihr hohes Körpergewicht, bedingt durch hohe Korpulenz, beim Aufrichten aus der Hocke die Kniegelenke übermäßig belastet.

Die daraus resultierende Belastung der Wirbelsäule wird vermutlich in Kauf genommen, unabhängig davon ob die Wirbelsäule individuell gut beweglich ist oder nicht.

Das von Rückenschulen empfohlene Bewegungsmuster „Knien“ (Abb.5, rechts) wird außer bei Kindern mit ohnehin hoher Variabilität der Bewegungsmuster, bei den jüngeren Erwachsenen von auf Bewegungsabläufe trainierten Sportstudenten und von 2 älteren Probanden gewählt, die nachgewiesenermaßen schwere Wirbelsäulenerkrankungen haben. Ihr Verhalten ist bewusst wirbelsäulenerlastend. Die oft propagierte Fehlhaltung beim Bücken entspricht der von uns untersuchten Kategorie des geraden Bückens, das gerade ältere Probanden zunehmend bevorzugen. Offensichtlich wird bei diesen Empfehlungen vernachlässigt, dass Bücken nicht nur die Wirbelsäule unterliegen und gerade bei hoher Korpulenz ständig stark belastet werden. Es könnte sein, dass

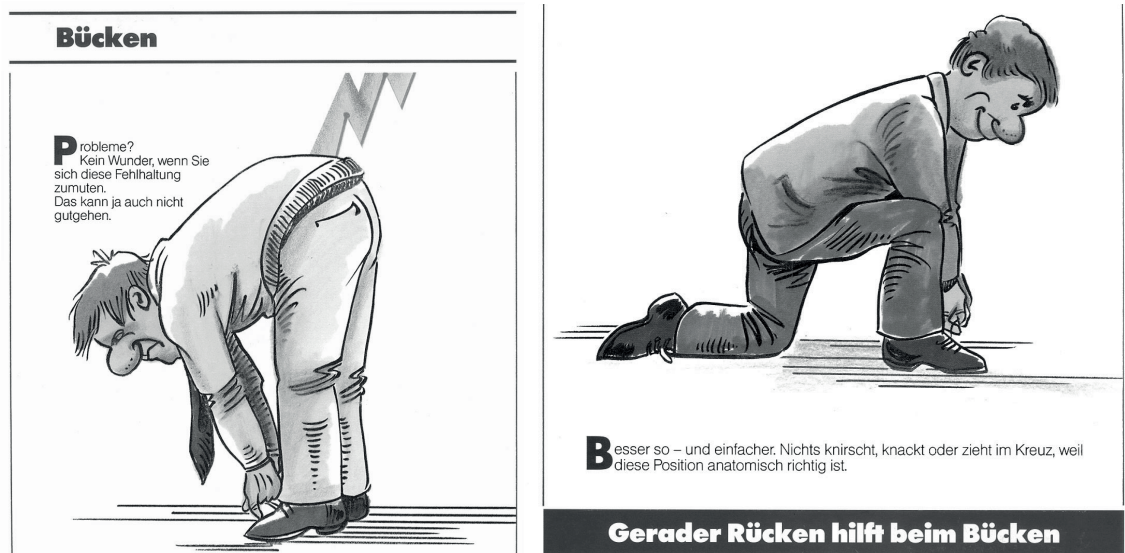


Abb. 5: Darstellung von „Richtigem und Falschem Bücken“ in einer Publikation des Deutschen Verbandes für Physiotherapie

bereits bei relativ jungen Probanden Bewegungsmuster gewählt werden, die die Kniegelenke entlasten. Hier besteht noch Forschungsbedarf, um zukünftig eventuell körperbautypspezifische Empfehlungen zu entwickeln, welche Bewegungsmuster die für den Körper insgesamt geringsten Belastungen bringen.

Literatur:

Bullinger H. J., Jürgens H. W., Rohmert W. – bearbeitet von Schmidtke H. (2000): Handbuch der Ergonomie, Band 1-4 (einschließlich aller Ergänzungslieferungen). Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, Koblenz

Deutscher Verband für Physiotherapie – Zentralverband der Krankengymnasten/Physiotherapeuten (ZVK) e.V. (Hrsg.): Gesund im Kreuz - Die Rückenschule

Flügel B., Greil H., Sommer K. (1986): Anthropologischer Atlas. Grundlagen und Daten. Edition Wötzel, Frankfurt/Main.

Scheffler C. (2001): Vergleich ausgewählter Bewegungsabläufe beim Menschen in Abhängigkeit vom Alter und Körperbau. In: SCHULTZ M et al.(eds.) Homo – unsere Herkunft und Zukunft, Cuvillier Verlag, Göttingen, im Druck

Anschrift der Autorin:

Dr. Christiane Scheffler
 FG Humanbiologie
 Institut für Biochemie und Biologie
 Universität Potsdam
 Lennéstr. 7a
 14471 Potsdam
scheffle@rz.uni-potsdam.de

Anthropometrische Komfortbewertung des Fahrzeuginnenraums

K. Nagel

Einleitung

Die Bewertung des Komforts als Aspekt der Produktqualität gewinnt im Bewußtsein des Kunden und damit auch in der Fahrzeuginnenraumgestaltung zunehmend an Bedeutung. Die Anforderungen an moderne Fahrzeuge gehen weit über die reine Transportfunktion hinaus. Aspekte wie Insassenschutz, Komfort und Wirtschaftlichkeit tragen erheblich zum Kaufentscheid bei. Aus der Sicht der Industrieanthropologie ist das Fahrzeug jedoch nicht nur ein Konsumgut oder ein Transportmittel, sondern zuerst einmal ein Arbeitsplatz im ergonomischen Sinn. Daher muß auch die Gestaltung dieses Arbeitsplatzes an den Anforderungen der späteren Nutzer ausgerichtet sein. Über die rein ergonomisch sinnvolle Gestaltung hinaus steigert eine komfortable Gestaltung die Käuferzufriedenheit und Akzeptanz.

In der Fahrzeugindustrie lassen sich zunehmend kürzere Entwicklungszyklen beobachten. Der Entwicklungsprozess erfordert daher effiziente und zuverlässige Tools, die bereits in frühen Entwicklungsphasen mit reduziertem Datenstand aussagekräftige Beurteilungen der ergonomischen Qualität des Innenraums zulassen. Der Einsatz von Versuchspersonen zur Bewertung von Gestaltungen ist sehr wertvoll und läßt sich auch durch leistungsfähige Tools nicht gänzlich ersetzen. Ihr Einsatz bleibt aber zumeist auf spezielle Fragestellungen beschränkt, da sowohl der finanzielle als auch der logistische Aufwand beim Bau von 1:1 Modellen sehr groß sind. Bewertungstools dagegen lassen eine Einschätzung der ergonomischen Qualität in fast jeder Entwicklungsphase zu und können so eine wertvolle Unterstützung in der Entscheidung zwischen zwei Gestaltungsalternativen geben.

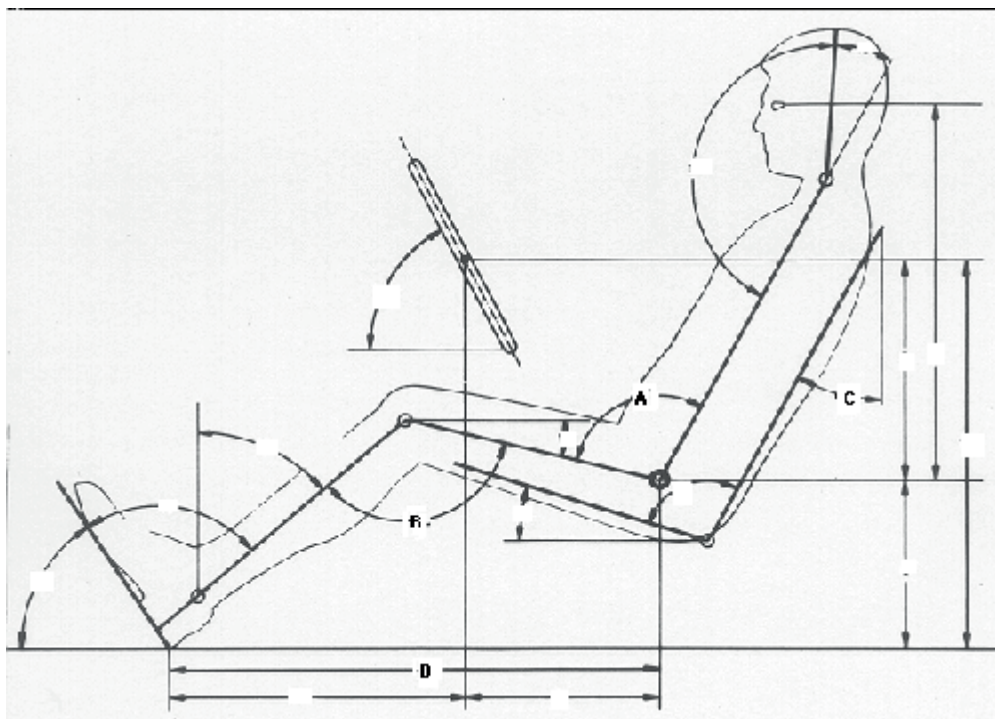
In der vorliegenden Untersuchung wurde im Rahmen einer Diplomarbeit ein Bewertungssystem speziell für Kleinstwagen erarbeitet, mit dem Ziel der ergonomisch-anthropometrische Bewertung des Fahrzeuginnenraums. Der Begriff Komfort ist subjektiv geprägt und basiert auf individuellen sensorischen Wahrnehmungen des Menschen. Für die praktische Anwendung dieses theoretischen Konstruktes in der ergonomischen Gestaltung ist ein größeres Maß an Objektivität notwendig. Der Gesamtkomfort wird daher unterteilt in einzelne Aspekte, wie Haltung, Sitzen, Bedienen, Klima, Akustik, Vibrationen, Olfaktorik und Haptik. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde der Schwerpunkt auf die Betrachtung des Haltungs-, und Sitzkomfort gelegt. Komfort kann nicht direkt gemessen werden, daher müssen geeignete Kriterien gefunden werden (z. B. Körperwinkel, Sitzgeometrie). Für jedes Kriterium wird dann eine messbare Einheit definiert, die eine Bewertung und einen Vergleich ermöglicht (z. B. Grenzen von Komfortwinkeln).

Haltungskomfort

Der Fahrerarbeitsplatz ist ein komplexes System einzelner Komponenten mit vielfältigen Interdependenzen der Mensch-Maschine-Schnittstelle. Eine komfortable Gestaltung des Fahrzeuginnenraums soll es dem Fahrer ermöglichen, die Fahraufgabe sicher zu erfüllen, ohne mentale oder körperliche Beeinträchtigung zu erleiden. Die meßbaren Größen des Arbeitsplatzes Fahrzeug lassen sich unterscheiden in menschenbezogene und fahrzeugbezogene Elemente.

Diese systematische Struktur erlaubt eine Betrachtung von Einzelaspekten, aber eine Bewertung sollte immer unter Berücksichtigung der einflussnehmenden Parameter vorgenommen werden. Darüber hinaus unterscheidet Pieper (1983) Komponenten die eher funktional beeinflusst sind und solche, die eher individuellen Verhaltensmustern folgen. Die Position der oberen Extremitäten ist dabei mehr von individuellen Vorgaben beeinflusst.

Funktionale Maße dagegen hängen eher von der Gestaltung des Fahrzeug ab, ein Beispiele dafür ist die durch den Innenraum induzierte Haltung der unteren Extremitäten, abgebildet über die Distanz Ferspunkt-Hüftpunkt (Abbildung 1).



- A Hüftwinkel
- B Kniewinkel
- C Torsoneigung
- D Ferspunkt-Hüftpunkt-Distanz

Abb. 1: Fahrerarbeitsplatz

Die vorliegende Untersuchung beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit diesen funktionalen Maßen. Um den Haltungskomfort der sitzenden Person zu bewerten, wurden aussagekräftige Körperwinkel ausgewählt. Die Position des Oberkörpers wird dabei über den Hüftwinkel beurteilt, der ebenso wie der Kniewinkel zur Beurteilung der Beinhaltung herangezogen wird. Die Bewertung der Körpergelenkwinkel folgt den Empfehlungen von Jürgens (1982) und der DIN 33 408 (1987).

A- Standardisierte Bewertung

Method

In einer Benschmarkuntersuchung wurden 14 Fahrzeuge verschiedener Hersteller untersucht. Die Bewertung der menschenbezogenen Maße wurde durch die Einführung relevanter Fahrzeugmaße erweitert.

Das hier entwickelte ergonomische Bewertungssystem besteht aus drei Hauptkomponenten

1. Innenraumkonzept- Geometrie
2. Körperunterstützendes System- Sitz
3. Transversale Freiräume- Raum

1. Innenraumkonzept

Für die Laboruntersuchungen wurden Versuchspersonen der Grenzperzentile ausgewählt. Zwei Gruppen, jeweils mit Vertretern der Körperhöhe 5. Perzentil und 95. Perzentil wurden ausgewählt. Die Grenzperzentile wurden ausgewählt, da sie als die extremen Vertreter der Zielpopulation zuerst unter Mängeln in der Innenraumauslegung zu leiden haben. Besonders aussagekräftige Ergebnisse bezüglich ergonomisch kritischer Punkte könne also hier erwartet werden. Die Bewertung erfolgt unter Berücksichtigung des Prinzips des limitierenden Nutzers, d.h. derjenige Nutzer, der die größten Einschränkungen erfahren wird, wird als Maßstab für die Auslegung herangezogen. Die Bewertung für die Größengruppe 5. und 95. Perzentil wird getrennt nach den gleichen Kriterien vorgenommen. Im ersten Schritt wird der zur Verfügung stehende Beinraum über die Betrachtung der Distanz Ferspunkt-Hüftpunkt beurteilt. Die Bewertung des Knie- und Hüftwinkels gehen hier ein. Die Körpergelenkwinkel werden als physiologisch optimal, physiologisch sinnvoll, akzeptabel oder inakzeptabel bewertet.

2. Körperunterstützendes System

Stellt man ein hierarchisches System für die Elemente des Fahrer Arbeitsplatzes auf, so folgt dem Element Innenraumkonzept nachrangig das Element Körperunterstützendes System. In dieser Kategorie werden die Eigenschaften Sitzlänge, Sitzbreite und Freiraum über Kopf bewertet. Die Sitzeigenschaften werden dabei in einen direkten Bezug zu den relevanten anthropometrischen Maßen gesetzt. Die Körpermaße und die dazugehörigen Definitionen sind bei Jürgens (1989) entnommen. Die Bewertung des Körperunterstützenden Systems erfolgt in einer vierstufigen Skala, die die Berücksichtigung der anthropometrischen Eigenschaften der Zielpopulation abbildet.

1. Berücksichtigung bis zum 95. Perzentils (Note 1)
2. Berücksichtigung bis zum 50. Perzentil (Note 2)
3. Berücksichtigung bis zum 5. Perzentil (Note 3)
4. Das 5. Perzentil wird nicht berücksichtigt (Note 4)

Bei den meisten Maßen ist der größte Wert ausschlaggebend, zumeist also das 95. Perzentil. Werden die Anforderungen des 95. Perzentils erfüllt, schließt dies in diesem Fall auch die Erfüllung der Anforderungen der niedrigeren Perzentile mit ein.

3. Transversale Freiräume

Die Kategorie Transversale Freiräume folgt in der Hierarchie der Elemente auf das Körperunterstützende System. In dieser Kategorie werden die Breitenmaße des Fahrzeugs,

insbesondere auf Höhe der Ellbogen, der Schultern und der Knie betrachtet. Die Bewertung erfolgt entsprechend der Bewertung des Körperunterstützenden Systems.

Gewichtungen

Die Ergebnisse der Bewertung werden nach der Stellung im Hierarchischen System Fahrerarbeitsplatz betrachtet. Demzufolge hat das Innenraumkonzept die höchste Priorität, gefolgt von dem Element Körperunterstützendes System und den Transversalen Freiräumen.

Ergebnisse

Die Bewertung der Kategorie Innenraumkonzept ergab unterschiedliche Anforderungen für die kleinen und großen Nutzer. Die Ergebnisse für die großen und kleinen Personen waren in vielen Fällen für das gleiche Fahrzeug vollkommen unterschiedlich. Nur in 17 % der Fälle aller getesteten Fahrzeuge ergaben sich ähnliche Ergebnisse für beide Perzentilgruppen. Insgesamt war in 50 % der Fälle das Design besser an die großen angepaßt, in 33 % war es sehr gut an die Bedürfnisse der kleinen Personen angepaßt.

Der für die Beine zur Verfügung stehende Raum wird vor allem durch den sagittalen Freiraum begrenzt. Die Resultierende wurde als Indikator für diese Eigenschaft definiert. Die Resultierende beschreibt die Diagonale zwischen der Ferspunkt-Hüftpunkt Distanz und der Sitzhöhe (s. Abb. 1). Eine längere Resultierende erhält hier eine höhere Bewertung, da das Raumangebot im Beinbereich größer ist. Dieses Maß kann jedoch nur auf das 95. Perzentil angewandt werden und der Einsatz bleibt auf die besondere Thematik der Kleinstwagen beschränkt.

Neben dem Verhältnis von Sitzhöhe und dem Abstand zu den Pedalen, muß auch das Verhältnis der Sitzhöhe und der Sitzneigung näher betrachtet werden. Die Höhe der Sitzvorderkante spielt für den Sitzkomfort von kleinen Personen eine wichtige Rolle. Das Maß der funktionalen Kniehöhe wird über die Position des Knies über dem Ferspunkt bestimmt. Dieses Maß beschreibt also eine Funktion aus Oberschenkellänge des 5. Perzents in Bezug auf die Sitzhöhe und –neigung. Die Ergebnisse zeigen, dass die funktionale Kniehöhe auf die Beurteilung des Beinraums für kleine Personen angewandt werden kann. Vergrößert sich die funktionale Kniehöhe so verschlechtert sich der Komfortwert des Kniewinkels.

Im Bereich des Körperunterstützenden Systems konnte eine sehr unterschiedliche Berücksichtigung der Größengruppen festgestellt werden. Besondere Defizite wurden bei der Sitztiefe und der Kopffreiheit beobachtet. In der Gesamtbetrachtung waren die Auslegungen lediglich für Personen bis zum 50. Perzentil geeignet, so daß der Großteil der Zielpopulation nicht berücksichtigt wurde.

Im Bereich der Transversalen Freiräume konnten erhebliche Defizite der Fahrzeugbreitenmaße festgestellt werden, vor allem im Bereich der Ellbogen. In den meisten der untersuchten Fahrzeuge war der Freiraum für die Ellenbogen lediglich für das 5. Perzentil ausreichend ausgelegt. Die Mehrheit der Nutzer erfuhr in dieser Kategorie die größten Einschränkungen durch eine nicht angepaßte Innenraumgestaltung.

B-Laborexperimente

In einem zweiten Schritt wurden im Labor fünf Fahrzeuge in ihrer wesentlichen Elementen als Mock-up aufgebaut. Der Einsatz von sechs Versuchspersonen führte zu weiteren Erkenntnissen bezüglich der funktionalen Zusammenhänge zwischen körpermaßlichen Eigenschaften und der individuellen Sitzpositionierung. Die Testpersonen wurden speziell nach ihren körpermaßlichen Eigenschaften als Repräsentanten der Fahrerpopulation ausgewählt. Nach dem Prinzip des limitierenden Nutzers waren

dies Vertreter der Grenzperzentile, also sehr große und sehr kleine Personen. Im Gegensatz zur standardisierten Bewertung im ersten Versuchsteil wurden nun die individuellen Sitzeinstellungen und die individuellen Körpergelenkwinkel untersucht.



Abb. 2: Variabilität der Testpersonen

Jede Versuchsperson hatte die Möglichkeit, sich den Sitz nach individuellen Vorgaben einzustellen. Die Körperhaltung der Testperson wurde an anthropometrischen Meßpunkten mit einem elektromagnetischen Tracking-System erfaßt. Jede Versuchsperson wurde so in den fünf im Mock-up aufgebauten Fahrzeugen untersucht. Zusätzlich wurden die Versuchspersonen gebeten, einen Fragebogen zu ihrer subjektiven Komforteinschätzung auszufüllen, in dem die Themen Gesamtkomfort, Freiräume und erwünschte Designänderungen abgefragt wurden.

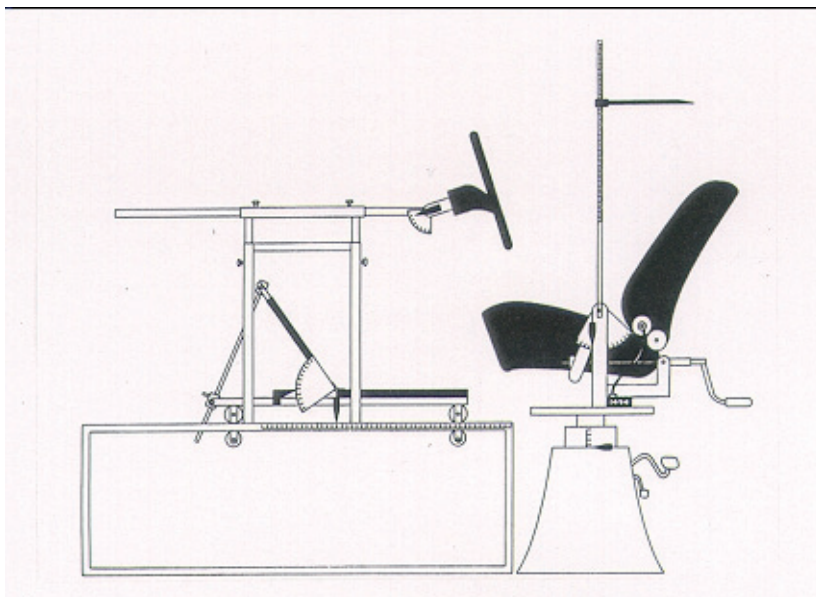


Abb. 3: Mock-up - Prinzipskizze

Die individuelle Sitzhaltung der Probanden wurde schwerpunktmäßig an den drei Hauptkörperwinkeln Torstoneigung, Knie- und Hüftöffnungswinkel betrachtet. Hierüber kann sowohl eine Aussage über den zur Verfügung stehenden Raum als auch über den Komfortwert der Gestaltung gewonnen werden. In den untersuchten Fahrzeugen erreichten kleine Versuchspersonen einen signifikant größeren Hüftwinkel als große Personen (U-test: $p < 0,05$). Bezüglich des Kniewinkels ergaben sich keine deutlichen Unterschiede zwischen den Größengruppen.

Das Indikatormaß Resultierende läßt eine Aussage bezüglich der ergonomischen Qualität des Beinraums zu. Kleine Versuchspersonen nutzen erwartungsgemäß einen geringeren Bereich des Sitzverstellwegs. Zwischen der individuellen Beinlänge und der Länge der Resultierenden ergab sich eine signifikante Korrelation (Spearman; $r_s = 1$; $p < 0,01$). Probanden mit kürzeren Beinen wählten eine Sitzposition näher zu den Pedalen, solche mit längeren Beinen weiter entfernt. Zwischen der Länge der Resultierenden und dem Kniewinkel ergab sich zudem ein signifikanter Zusammenhang (Spearman; $r_s = 0,9$; $p < 0,2$). Entsprechend vergrößert sich der Kniewinkel bei längerer Resultierenden.

Subjektive Einschätzung

Aus der Befragung der Versuchspersonen konnten weitere Erkenntnisse bezüglich der Qualität der Innenraumgestaltung gewonnen werden. Insbesondere waren hier die erwünschten Änderungen interessant. Die Gesamtmenge der Nennungen unterscheidet sich bei großen und kleinen Personen nicht, jedoch wurden deutliche qualitative Unterschiede gefunden. Die Einschränkungen, die durch die Innenraumgestaltung erfahren werden, resultieren bei kleinen Personen vor allem aus der Position des Lenkrads, während für große Personen eher das gesamte Raumangebot kritisch ist, besonders jedoch die Kopffreiheit. Die Position des Lenkrads ist bei kleinen Personen tendenziell kritisch, weil nicht genügend Freiraum für den Oberkörper vorhanden ist, große Personen dagegen stoßen mit dem Oberschenkel oder Knie an.

Die Position des Lenkrads kann über den Anteil der Strecke Lenkrad-Hüftpunkt an der Gesamtstrecke Fersenpunkt-Hüftpunkt beschrieben werden. Für kleine Probanden ergab sich hier für den Anteil Lenkrad-Hüftpunkt ein Anteil kleiner als 30% an der Gesamtstrecke. Zwischen der Beinlänge und der Distanz Lenkrad-Hüftpunkt konnte eine signifikante Korrelation gefunden werden (Spearman; $r_s = 0,9429$; $p < 0,01$). In diesem Zusammenhang zeigte sich, dass eine Betrachtung der Körperhöhe als dem charakterisierenden Maß nicht ausreichend ist. Bei der Betrachtung des Fahrer Arbeitsplatzes ist es vielmehr wichtig, zusätzlich die Proportionalität des Probanden zu berücksichtigen, also das Verhältnis von Beinlänge zu Stammlänge. Die individuelle Einstellung der Sitzposition erfolgte hier primär nach der Beinlänge als dem funktional wirksamen Maß und nicht nach der Körperhöhe, wie zuvor erwartet.

Diskussion und Zusammenfassung

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass Versuchspersonen der Gruppen 5. Perzentil Körperhöhe und 95. Perzentil Körperhöhe deutlich unterschiedliche Anforderungen an die ergonomische Gestaltung des Fahrzeuginnenraums haben. Die untersuchten Fahrzeuge waren in ihren Auslegungen entweder eher an die kleinen oder an die großen Personen angepaßt, selten fand sich jedoch ein tragbarer Kompromiß für beide. Aus diesem Resultat läßt sich ableiten, dass eine Innenraumbewertung getrennt für die Grenzperzentile durchgeführt werden muß, um den unterschiedlichen ergonomischen Anforderungen gerecht werden zu können. Die verbreitete Annahme, daß ein Fahrzeug, in dem große Personen eine komfortable Sitzhaltung einnehmen können damit auch automatisch die kleineren Personen mit einschließt konnte hier widerlegt werden.

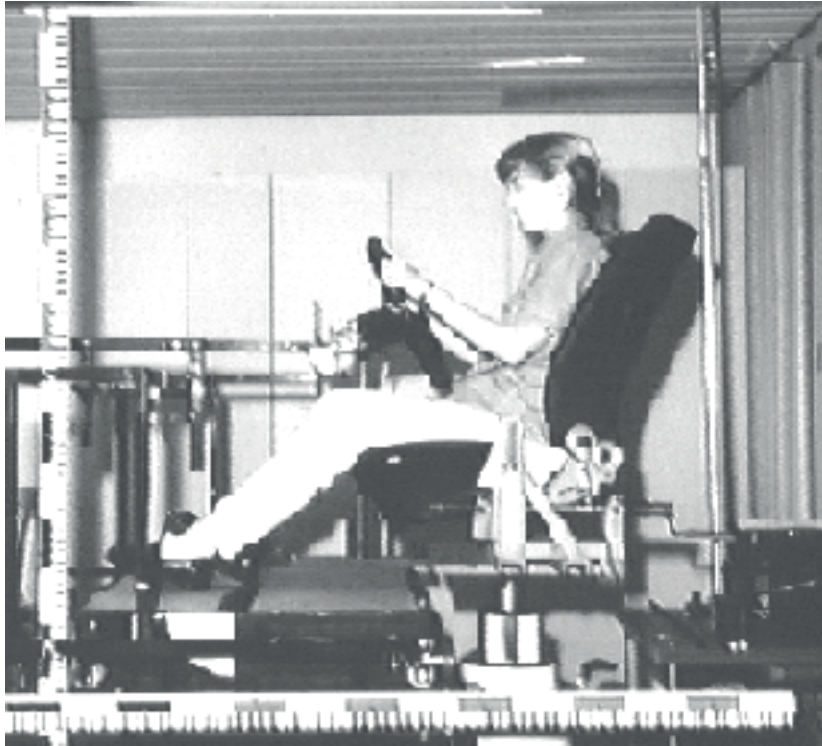


Abb. 4: Der Einfluß der Lenkradposition auf die Sitzhaltung einer kleinen Versuchsperson

Für große Personen ergeben sich tendenziell eher Defizite in der Gestaltung des absoluten Raumangebots. Zur Charakterisierung dieses Zusammenhangs konnte das Indikatormaß Resultierende eingeführt werden. Dieses Maß erlaubt einen direkten Rückschluß auf den Status wichtiger Körpergelenkwinkel und das Raumangebot.

Für kleine Versuchspersonen ist wie erwartet das Raumangebot durchweg ausreichend. Sie erfahren eher Beeinträchtigungen qualitativer Art. Neben der Position der Pedale im Verhältnis zum Lenkrad beeinflusst die Sitzvorderkante den Sitzkomfort der kleinen Personen erheblich. Zur Beschreibung dieses Zusammenhangs wurde das Maß der funktionalen Kniehöhe eingeführt. Dieses Maß definiert sich über die Höhe des Knies über dem Fersenpunkt. Fällt dieses Maß unter die absolute Länge des Unterschenkels, wird der Sitzkomfort erheblich eingeschränkt. Die statistische Analyse ergab folgende Resultate: Die individuelle Sitzeinstellung, die über die Länge der Resultierenden erfaßt wird, korreliert signifikant mit der Beinlänge (Spearman; $r_s=1$; $p<0,01$). Zwischen der Länge der Resultierenden und dem Kniewinkel besteht ein korrelativer Zusammenhang (Spearman; $r_s=0,9$; $p<0,2$).

Die Betrachtung des Bereichs Körperunterstützendes System ergab ein sehr uneinheitliches Bild für die unterschiedlichen Personengruppen. Deutliche Defizite ergaben sich in den Bereichen Sitztiefe und Kopffreiheit. Insgesamt gesehen waren die Gestaltungen hier ausreichend für Personen bis zum 50. Perzentil. Ein Großteil der Zielpopulation wurde also nicht berücksichtigt. Die transversale Auslegung des Innenraums zeigte Mängel vor allem im Bereich des Raumangebots auf Höhe der Ellenbogen, die Fahrzeuge sind also im Schnitt sehr eng gebaut. In den Mehrzahl der untersuchten Fahrzeuge war die Fahrzeugbreite nur für Personen des 5. Perzentils ausreichend, hier hat also die Mehrheit der potentiellen Nutzer mit Einschränkungen zu rechnen. Die in einem Laborversuch eingesetzte Befragung von Probanden ergab ein entsprechendes Bild in der Bewertung der Fahrzeuge.

Aus den vorliegenden Ergebnissen resultieren auch weitere Hinweise auf die Zusammenhänge zwischen Körpermaßen und Fahrzeugeigenschaften. Neben der Körperhöhe, die als Auswahlkriterium herangezogen wurde, spielt auch hier die Proportionalität eine entscheidende Rolle. Das Verhältnis

von Bein- zu Stammlänge ist insbesondere bei der Konzeptionierung der Lenkradposition von großer Bedeutung.

Die vorliegende Untersuchung war auf die Fahrzeuggruppe der Kleinstwagen beschränkt. Auch wenn diese Fahrzeuge sicher einige Besonderheiten aufweisen, die im Bereich der Limousinen keine tragende Rolle spielen, lassen sich an diesem Beispiele doch auch generelle Aussagen gewinnen. Eine eingehendere Untersuchung und weitere Erkenntnisse bezüglich der Interdependenzen am Fahrer Arbeitsplatz sind wünschenswert und notwendig. Der praktische Einsatz dieses Wissens in für den Konstrukteur aufbereiteter Form kann im Entwicklungsprozeß eine entscheidende Hilfestellung leisten.

Literatur

Babirat, D., Küchmeister, G. and Nagel, K. (1998): Körpermaße des Menschen- Komfortbereiche der Gelenkwinkel der Körpergelenke. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Fb 818, BAUA, Dortmund.

Deutsches Insitut für Normung (1987): DIN 33 408: Körperumrißschablonen. Beuth-Verlag, Köln.

Jürgens, H.W. (1982): Die Ermittlung optimaler Körperwinkel in Fahrzeug-Sitzpositionen und die Entwicklung eines Bewertungssystems von Körperwinkeln.

Jürgens, H.W. (1989): Körpermaße, Datenblätter. In BWB (Hrsg.): Handbuch der Ergonomie. Hanser, München.

Nagel, K. (1998): Biomechanik menschlicher Arbeitshaltungen- Ein anthropometrisch-ergonomisches Bewertungssystem für Kleinstwagen. Diplomarbeit, Universität Kiel.

Pieper, U. (1983): Die Bewertung von Mensch- Maschine-Systemen unter anthropometrischem Aspekt. Habilitationsschrift, Universität Kiel.

Anschrift der Autorin:

Katja Nagel
Daimler Chrysler AG
FTK/A, 059-HPC X606
71 059 Sindelfingen
katja.nagel@daimlerchrysler.com

Die Erfassung personenbezogener Sichtverhältnisse im Pkw - Das Sichtanalyzesystem ARGUS

J. Hudelmaier

1 Hintergrund

Jeder der sich schon einmal mit einem Fahrrad in den (Berufs-)Verkehr einer Großstadt wie z. B. Hamburg oder München gewagt hat, kennt das Problem. Da eine plötzlich vorschließende Motorhaube, die es mit einem kühnen Hechtsprung zu überwinden gilt – dort eine abrupt aufgeschwungene Autotür, die der flotten Fahrt ein jähes Ende bereitet. Dabei kann nur in ausgesprochen seltenen Fällen von der Boshaftigkeit des die eigene Bahn kreuzenden Autofahrers ausgegangen werden. Meist kann auch der gar nichts dafür. Der andere Verkehrsteilnehmer, der jetzt leicht verärgert auf seiner Motorhaube rumlümmelt wurde schlicht durch eine A-, B- oder C-Säule seines Fahrzeuges, durch den Beifahrersitz oder andere Fahrzeugkomponenten verdeckt, so dass er von dem nun schuldbewusst dreinblickenden Autofahrer nicht gesehen werden konnte. Dieselbe Gefahr stellt sich beim Überholen und Einscheren in den fließenden Verkehr. Und das Problem nimmt zu!

Durch den immer stärker werdenden Individual- und Transportverkehr wird die Fülle, der auf einen Autofahrer einströmenden Informationen immer größer. 90% seiner Umwelt, und damit das ihn umgebende Verkehrsgeschehen, nimmt ein Autofahrer über seinen optischen Sinneskanal wahr (etwas was jeder leicht selber ausprobieren kann. Es stellt z. B. keinerlei Problem dar mit aufgesetztem Hörschutz unfallfrei zu fahren - aber mit verbundenen Augen...?!). Dies macht deutlich wie wichtig die Sichtverhältnisse für das Sicherheitskonzept aber auch die ergonomische Qualität eines Fahrzeuges sind. Zum einen legen sie die Rundumsicht des Fahrers fest und somit, in wie weit das Fahrzeugumfeld von ihm wahrgenommen werden kann. Zum anderen entscheiden die Sichtverhältnisse auch darüber, wie Fahrer und Passagiere ein Fahrzeug – unbewusst - wahrnehmen, also empfinden und somit auch welcher Komforteindruck sich einstellt. Im Spannungsfeld der vielfältigen Anforderungen, denen ein neu zu entwickelndes Fahrzeug genügen soll, kommt ihnen damit eine große Bedeutung zu.

Paradox aber wahr: konsequent wird - vor allem aus Unkenntnis - dafür gesorgt, dass die Sichtverhältnisse immer schlechter werden. Dies liegt nicht zuletzt an den veralteten Verfahren mit denen in modernen Fahrzeugen die Sicht des Fahrers festgelegt wird.

Eines dieser - auch gesetzlich vorgeschriebenen Hilfsmittel - ist die Augenellipse nach SAE J941 (SAE = Society of Automotive Engineers). Sie stellt ein Hilfsmittel zur Konstruktion von Sichtlinien unter Berücksichtigung der Verteilung der Augenlagen im Fahrzeug dar. Mit Hilfe der Augenellipsen lassen sich im Fahrzeug extreme Sichtwinkel bestimmen, indem Tangenten an die jeweilige Ellipse angelegt werden (Abb. 1). Damit erlaubt sie, schon im Vorfeld der Konstruktion eine Grundaussage

darüber zu treffen, wie hoch der Anteil der Personen sein wird, der bestimmte Bereiche außerhalb des Fahrzeugs einsehen bzw. nicht einsehen wird.

Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Untersuchungen, aus denen die Augellipsen hervorgingen bereits 1965 von J. F. Meldrum in amerikanischen Fahrzeugen des Baujahres '63 gemacht wurden. Anstelle der heute üblichen Einzelsitze hatten diese eine Sitzbank mit starrem Lehnenwinkel. Der Sitzverstellbereich war zu dieser Zeit noch sehr klein. Des Weiteren existierten keine Sitzhöhen- und Lenkradverstellung wie sie heute weiten Teils üblich sind. Da die Sitzhaltung - und damit auch die Augenlage eines Fahrers - neben seinen körperlichen Eigenschaften, sehr stark von der Art des Sitzes, seinen Verstellmöglichkeiten und anderen Elementen des Fahrzeuginnenraums, wie z. B. der Lage des Lenkrades abhängt, wird schon hieraus klar, dass die aus diesen Untersuchungen stammenden Ergebnisse nur schwer auf heutige Fahrzeuge übertragbar sind.

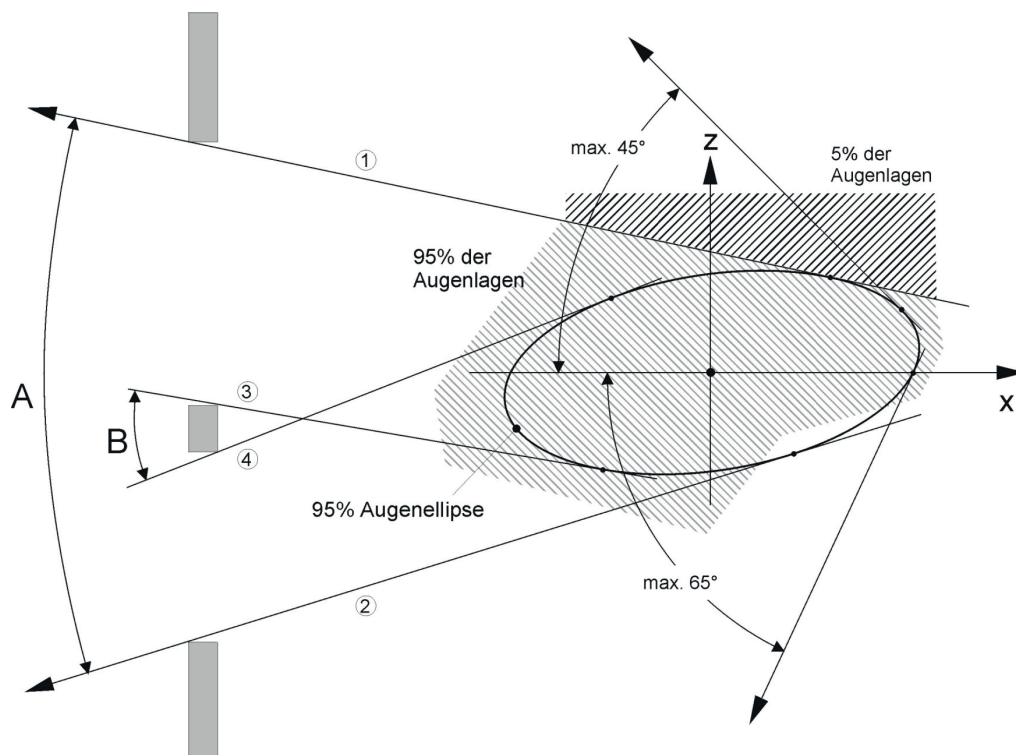


Abb. 1: Augenellipse nach SAE 941J

Es erscheint daher wenig sinnvoll Fahrzeuge erst mit viel Aufwand und mit Hilfe von CAD-Systemen (CAD = Computer Aided Design) zu konstruieren, für die ergonomische Auslegung moderne 3-D-Menschmodelle heranzuziehen, nur um dann mit einem veralteten Werkzeug all diese Bemühungen ad absurdum zu führen.

Aus diesem Grunde ist es ausgesprochen entscheidend, die Außensichtverhältnisse darlegen, bewerten und vergleichen zu können, da nur so Möglichkeiten für ihre Optimierung gefunden werden können.

2 Realmessverfahren

Neben der Augellipse, die zu den virtuellen Auslegungsverfahren der Sicht gezählt und damit eher in der Konzeptions- und Konstruktionsphase eines Fahrzeugs eingesetzt wird, existieren die sogenannten

Realmessverfahren. Mit Ihnen lassen sich die Sichtverhältnisse von Autofahrern an Realfahrzeugen durch die Darstellung der frei einsehbaren Umgebungsbereiche beurteilt, was unter bestimmten Voraussetzungen von Vorteil ist. Denn während die Vermessung an Fahrzeugen, bei denen entsprechende Datensätze vorliegen, prinzipiell auch direkt mit Hilfe von CAD möglich ist, scheidet dies für Fahrzeuge, deren Daten hierzu erst erhoben werden müssten, aufgrund des notwendigen, enorm hohen Vermessungsaufwandes weitgehend aus. Daher kommt den Realmessmethoden auch im Zeitalter des CAD vor allem in den folgenden Bereichen immer noch eine große Bedeutung zu:

- Bereich 1: die Vermessung von Fahrzeugen um die Einhaltung bestehender Vorschriften (z.B. StVZO §35b und EWG 77/649) bezüglich der Außensichtverhältnisse am Realfahrzeug zu überprüfen.
- Bereich 2: Vermessungen um verschiedene Fahrzeuge oder Fahrzeugkonzepte miteinander vergleichen zu können.

Ein für diese Zwecke eingesetztes Verfahren ist z. B. das *Lasertheodolit-Verfahren*. Dabei handelt es sich um eine Weiterentwicklung des Schattenwurfverfahrens, bei dem eine oder zwei Lichtquellen, in Augpunktlage eines fiktiven Fahrers, im Fahrzeug angebracht, einen Schatten der Fahrzeugkonturen auf Boden und Wände werfen. Ein im Mittelpunkt der SAE-Augenellipse (siehe Abb. 2) kardanisch gelagerter Lasertheodolit, der einen monokularen Sehstrahl des Fahrers simuliert, wird entlang der Fensterkanten geführt. Dabei kann durch Anvisieren beliebiger Punkte deren Raumwinkelkoordinaten ermittelt und an einen Rechner übergeben werden.

Doch auch wenn dieses Verfahren gegenüber allen anderen gängigen Methoden zumindest den Vorteil aufweist, dass eine Auswertung der Daten am Rechner möglich ist, so zeigen sich immer noch die folgenden gravierenden Nachteile dieser Methode:

- Die manuelle Durchführung verfälscht die Ergebnisse und beschränkt die Reproduzierbarkeit.
- Größe und Proportionen unterschiedlicher Fahrer werden nicht berücksichtigt.
- Der Drehpunkt des Lasertheodoliten liegt in einem festen, theoretischen Punkt.

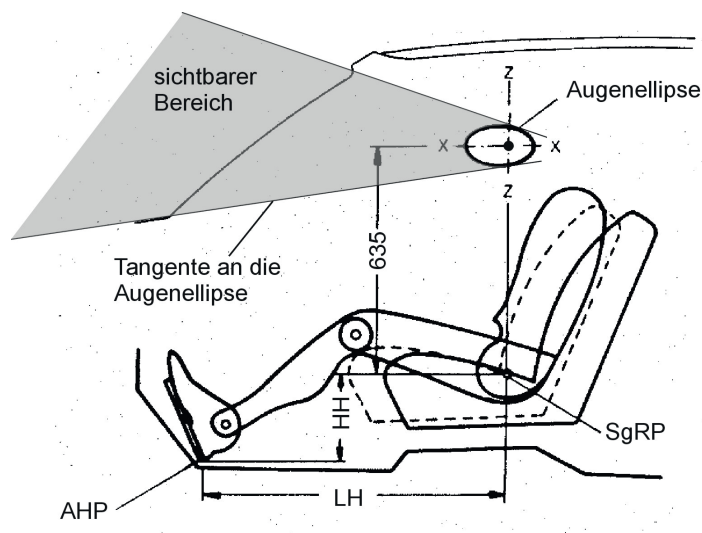


Abb. 2: Sichtbereich ermittelt mit SAE-Augenellipse.

Gerade der feste Drehpunkt verbindet zwei entscheidende Nachteile des Verfahrens in sich:

Als Drehpunkt wird zumeist der Mittelpunkt der SAE-Augenellipse herangezogen. Wie bereits erwähnt wurde, stimmen deren Punkte mit heutigen Augpunktlagen nicht mehr überein. Des weiteren gibt ein fester Augpunkt nicht die sich in der Realität bei einer Kopf- und Torsobewegung einstellenden Augpunkte und damit auch nicht den realen Sichtbereich bzw. reale Verdeckungen wieder.

Abb. 3 zeigt die Bahn realer Augpunktlagen beim Umdrehen wie sie durch Kopf- und Torsobewegung erzeugt werden in Bezug zu dem fixen Mittelpunkt der Augenellipse.

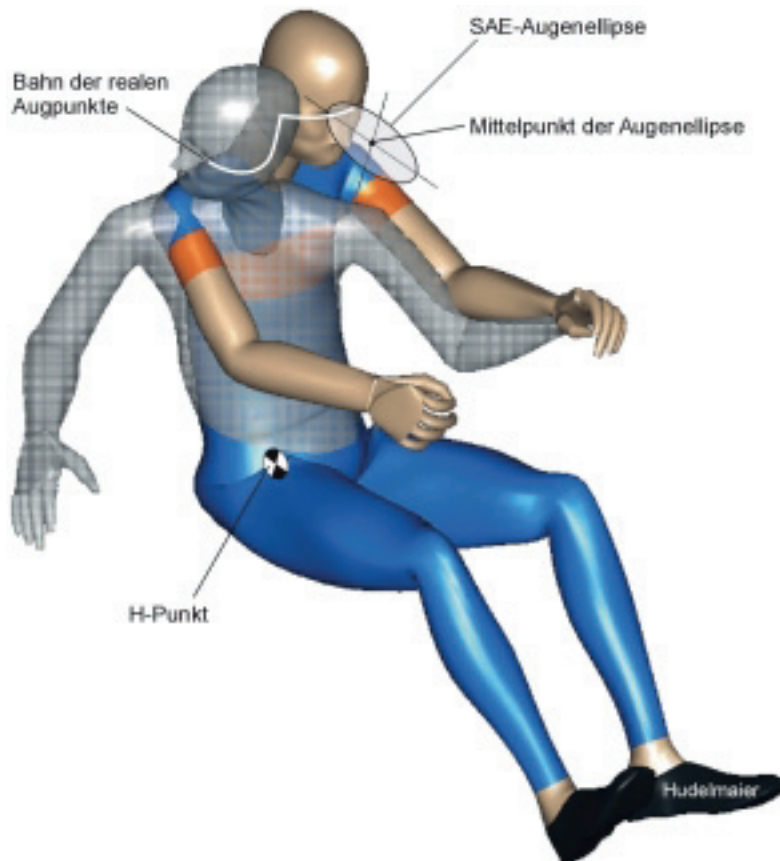


Abb. 3: Gegenüberstellung des fixen Messpunktes nach SAE und der Bahn realer Augpunktlagen bei Sitzhaltungsänderungen.

3 Personenindividuelle Außensichtvermessung

Will man eine der Wirklichkeit entsprechende Vermessung der Außensichtverhältnisse realisieren, so sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Die Augpunktlagen des Fahrers hängen wesentlich von seiner eingenommenen Haltung ab, die wiederum stark von den Packagemaßen, also dem Interieur und dem Gesamtaufbau des Fahrzeugs beeinflusst wird.
- Die Augpunkte sind nicht fix, sondern blickrichtungsabhängig.
- Die individuellen Faktoren des Fahrers, wie Größe, Proportionen und Beweglichkeit beeinflussen stark die Augpunktlagen.

- Ein Autofahrer sieht die Welt nicht mono-, sondern binokular. Dies beeinflusst entscheidend auftretende Verdeckungen und ist für eine realistische Beurteilung bei einer Vermessung zu berücksichtigen.

Um diesen Ansprüchen an eine möglichst reale Darstellung der Sichtverhältnisse in einem Pkw Rechnung zu tragen, wurde am *Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München*, in Zusammenarbeit mit der *tecmath AG*, Kaiserslautern, das Sichtanalyzesystem *ARGUS (Automatisches Ramsisgestütztes Grenzkanten UntersuchungsSystem)* entwickelt und realisiert.

4 Funktionsweise von ARGUS

Der Messroboter (Abb. 4) trägt eine CCD-Kamera, die das Fahrerauge (links/rechts) simuliert. Die Kamera ist dabei mit einer Bildverarbeitung verbunden, die eine Kantenfindung durch einen hell/dunkel-Abgleich ermöglicht. Der Roboter wird in das zu vermessende Fahrzeug gesetzt (Abb. 6) und in diesem auf das Fahrzeugkoordinatensystem kalibriert.

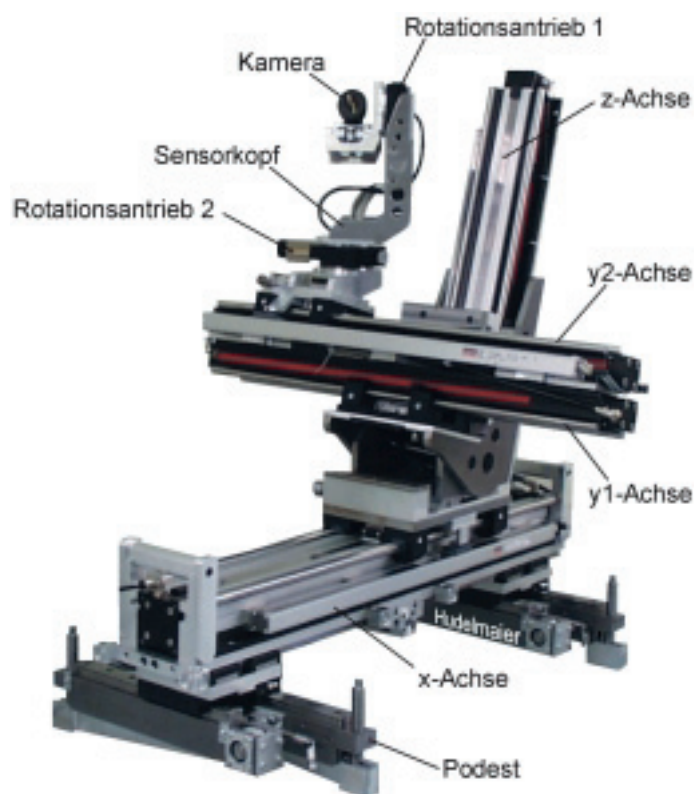


Abb. 4: Messroboter (MARVIN) des Sichtanalyzesystems ARGUS

Für die Vermessung werden dem System Blickrichtungen in einem bestimmten Raumbereich vorgegeben (z.B. horizontal 360°, vertikal +60° u. -45°). Jeder Blickrichtung ist dabei ein, der Realität entsprechender Augpunkt zugeordnet. Die Augpunkte werden von einer Software ermittelt, die die Typologie des 3-D-Menschmodells *RAMSIS* sowie das *RAMSIS*-Fahrerhaltungsmodell zugrunde liegt. Erst hierdurch werden die realistischen Vermessungen der Außensichtverhältnisse möglich.

RAMSIS wurde maßgeblich am *Lehrstuhl für Ergonomie* entwickelt und stellt heute das in den Automobilfirmen am häufigsten eingesetzte Menschmodell dar. Durch *RAMSIS* wird es möglich jeden

gewünschten Personentyp für eine Fahrzeugvermessung bereit zu stellen. Eine weitere Besonderheit stellt das Haltungsmodell von *RAMSIS* dar. Unter der Vorgabe bestimmter Aufgabenstellungen ermöglicht es die Berechnung realistischer, der Aufgabe entsprechender Haltungen, wobei die Umgebung mit einbezogen werden kann. Gibt man nun als Aufgabe das Fahren eines bestimmten Fahrzeugs und zudem eine festgelegte Blickrichtung vor, so erhält man zu jeder Blickrichtungsvorgabe der Realität entsprechende Augpunktlagen. Diese können dann wiederum für eine vollautomatische Vermessung eines Fahrzeugs durch *ARGUS* herangezogen werden. Somit lassen sich für beliebig zu definierende „Personen“ Augpunktlagen beim Rundumblick bereit stellen.

Wie schon erwähnt ist für eine realistische Haltungsprognose, neben den (Körper-)Daten der Versuchspersonen, unbedingt das Fahrzeug mit zu berücksichtigen. Um dies tun zu können, werden dem Berechnungsprogramm bestimmte Stützpunkte der Fahrzeuggeometrie mitgeteilt, die mit Hilfe einer 3-D-Koordinatenmessmaschine (Abb. 5) von jedem beliebigen Fahrzeug abgenommen werden können.

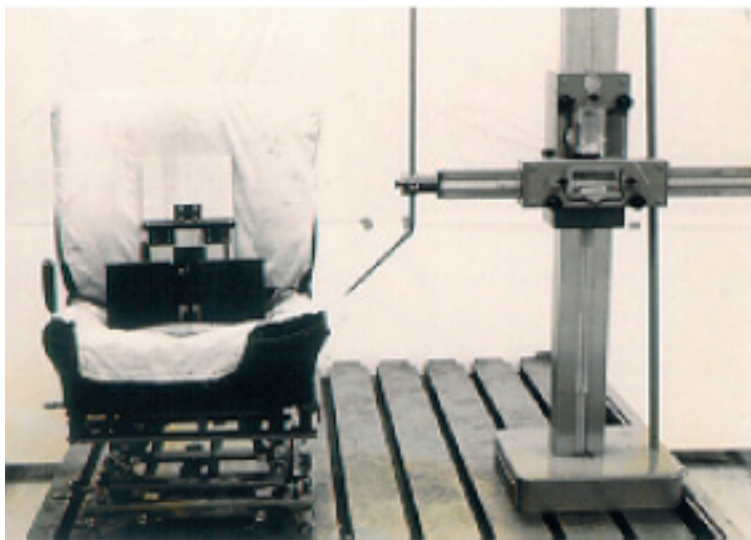


Abb. 5: Vermessung eines Fahrzeugsitzes mit einer 3-D-Koordinatenmessmaschine

Diese Packageometrie wird von dem jeweiligen *RAMSIS*-Typ bei der Erstellung seines Umblickverhaltens berücksichtigt.

Die Kamera simuliert - gesteuert durch den Roboter - die vorgegebene Blickrichtung und fährt den jeweils zugehörigen Augpunkt an. Eine spezielle Steuerungssoftware führt sie an den Scheibenkanten entlang, wobei bei jedem Folgeschritt eine neue Blickrichtung und Augpunktlage eingenommen wird. Das Ergebnis ist ein Vektorfeld der Blickrichtungen, die die freie Sicht des Fahrers bei einem 360°-Umblick innerhalb seines Fahrzeugs einschließen. Diese werden abgelegt und können mit Hilfe des Systems auf verschiedene Weise analysiert und beurteilt werden (Abb. 7).



Abb. 6: Messroboter im Fahrzeug montiert.

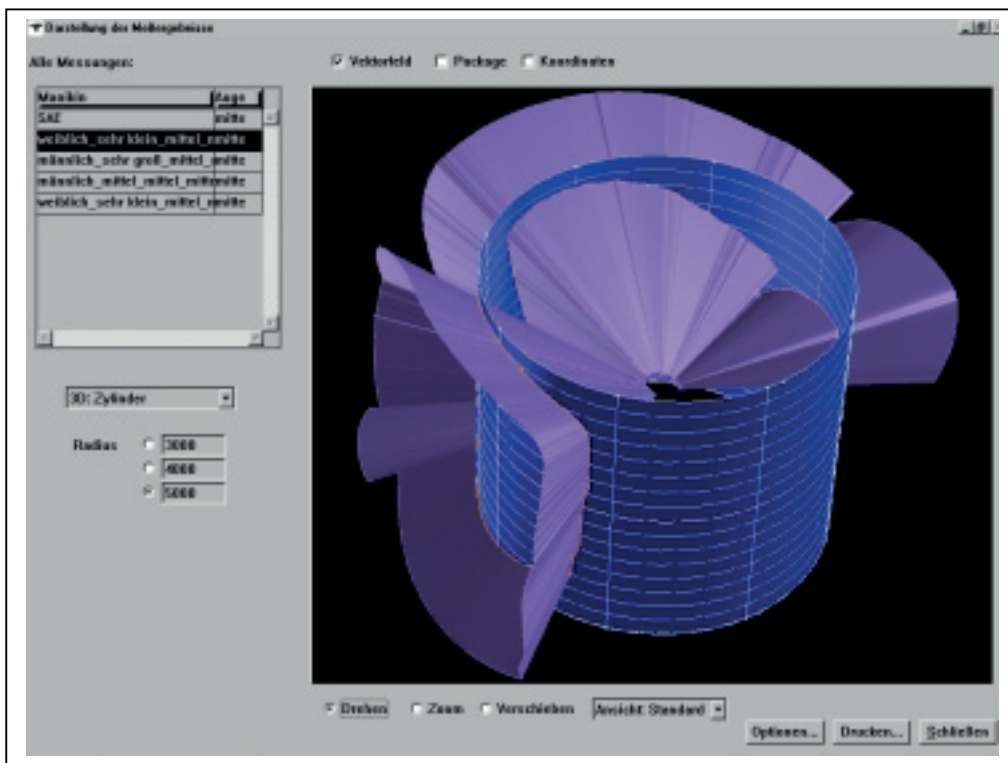


Abb. 7: Mögliches Ergebnis einer Sichtvermessung mit ARGUS. Zu sehen sind dreidimensionale Strahlengänge des Fahrers durch die Fensterflächen des Fahrzeugs. Diese Strahlengänge können in beliebiger Weise weiter verarbeitet werden.

Mit dem Analysesystem *ARGUS* ist es damit erstmals möglich, einen Überblick über die Sichtverhältnisse verschiedener Personengruppen in einem Fahrzeug so zu erhalten, wie diese sich auch in der Realität für jede Einzelperson darstellen würden. Dies stellt die Grundlage für die Beseitigung von Missständen hinsichtlich der Außensichtverhältnisse dar, da erstmals z. B. die Sicht eines sehr großen Mannes direkt mit den Sichtverhältnissen einer sehr kleinen Frau verglichen werden kann.

Natürlich hängt die Qualität der Messung entscheidend von den Daten ab, die *RAMSIS* liefert. Daher wird am *Lehrstuhl für Ergonomie* - gerade in der Arbeitsgruppe *Anthropometry and Human Modeling* - sehr stark an der Verbesserung des Menschmodells gearbeitet. Gerade im Zusammenhang mit dem hier kurz aufgezeigten Projekt der Sichtvermessung in Fahrzeugen werden zur Zeit Versuche durchgeführt, die sich mit Extremalhaltungen beim Autofahren beschäftigen. Ziel ist das *ARGUS*-Messsystem, welches gerade erfolgreich die letzten Probeläufe absolviert hat, für bestimmte Haltungsbereiche zu verbessern.

Anschrift des Autors:

Technische Universität München
Lehrstuhl für Ergonomie
Human Modeling
Botzmannstraße 15
85747 Garching