

**Ergonomie –
Körpermaße des Menschen –
Untersuchung der Verfahren zur Hochrechnung und Abschätzung von
Körpermaßdaten**

Zur Erstellung einer DIN SPEC können verschiedene Verfahrensweisen herangezogen werden:
Das vorliegende Dokument wurde nach den Verfahrensregeln eines Fachberichts erstellt.

Gesamtumfang 31 Seiten

Inhalt

Seite

Vorwort	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Begriffe	5
3 Einflussfaktoren auf Körpermaße in einer Population	9
3.1 Allgemeines	9
3.2 Ontogenese	9
3.3 Säkularer Trend.....	10
3.4 Populationszusammensetzung	11
3.5 Soziale Faktoren.....	12
4 Datenlage	13
5 Hochrechnungsverfahren	16
5.1 Ansatz für ein Hochrechnungsverfahren	16
5.2 Schwierigkeiten bei der Erarbeitung eines Hochrechnungsverfahrens	16
5.2.1 Modellierung der Ontogenese	16
5.2.2 Modellierung des säkularen Trends.....	16
5.2.3 Modellierung der Bevölkerungszusammensetzung und deren Einflüsse	20
5.2.4 Modellierung der Einflüsse der sozialen Faktoren	20
6 Abschätzungsverfahren	21
6.1 Statistische Modellierung	21
6.2 Kritische Betrachtung der Modellierung	21
6.3 Nutzung des statistischen Modells für die Abschätzung von Körpermaßdaten.....	22
6.3.1 Messdatenaufbereitung.....	22
6.3.2 Normierung der Messdaten	23
6.3.3 Annahme einer schiefen Normalverteilung getrennt für jede Altersgruppe.....	24
6.3.4 Rücktransformation mithilfe der oben verwendeten Normierungsparameter	25
6.3.5 Entwicklung einer Prognose durch Experten	26
6.3.6 Entwicklung einer automatischen Prognose	26
6.3.7 Schlussfolgerungen.....	29
7 Ausblick	30
Literaturhinweise	31

Vorwort

Diese DIN SPEC 33402-5:2010-09 wurde vom Gemeinschaftsarbeitsausschuss NA 023-00-03 GA „Anthropometrie und Biomechanik“ des Normenausschuss Ergonomie (NAErg), erarbeitet.

Zur Erstellung einer DIN SPEC können verschiedene Verfahren herangezogen werden. Das vorliegende Dokument wurde nach dem Verfahren des Fachberichts erstellt.

Einleitung

Körpermaßdaten sind für die ergonomische Gestaltung von Produkten und Arbeitsplätzen außerordentlich wichtig. Die messtechnische Erfassung von Körpermaßdaten ist jedoch teuer und die erfassten Daten veralten relativ schnell (z. B. durch das Größenwachstum der Bevölkerung). Lange Zeit nahmen wichtige Körpermaße, wie zum Beispiel die Körperhöhe in der Bevölkerung, beständig zu, mittlerweile sind es eher die Korpulenzmaße, die zunehmen.

Die geltenden Europäischen Normen sind zehn Jahre alt, die zugrunde liegenden Daten sind noch älter. Die geltende Deutsche Norm ist fünf Jahre alt, die zugrunde liegenden Daten sind elf Jahre alt. Die meisten Produkte und Arbeitsplätze werden auf der Basis solch veralteter Körpermaßdaten konstruiert.

Um diese unglückliche Ausgangslage zu verbessern, wäre es wünschenswert, ein statistisch tragfähiges Extrapolations- oder Abschätzungsmodell zu haben, um die Veränderung der jeweiligen Körpermaße über die Zeit möglichst gut abzubilden. Ein solches Modell kann in Phasen, in denen Messungen fehlen, aus Daten älterer Messreihen einen Trend ermitteln und so helfen, die Realität besser abzubilden.

Ein solches Modell ist also nicht in Konkurrenz zu Körpermaßerhebungen zu sehen, sondern braucht dieselben, um immer wieder mit der Realität abgeglichen zu werden.

Im Rahmen einer vom Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) geförderten Studie zur „Innovation mit Normen und Standards“ (INS) des Deutschen Institutes für Normung (DIN) e. V. hat die Universität Potsdam die Möglichkeit zur Entwicklung von Verfahren zur Hochrechnung oder Abschätzung von Körpermaßdaten untersucht. Als Teil des Projektes fand 2008 ein Workshop statt, an dem externe Experten und die Experten des NA 023-00-03 GA „Anthropometrie und Biomechanik“ teilnahmen. Diese DIN SPEC basiert auf den Ergebnissen dieser Studie.

1 Anwendungsbereich

Diese DIN SPEC untersucht die Möglichkeiten der Entwicklung von Verfahren zur Hochrechnung oder Abschätzung von Körpermaßdaten. Sie zeigt, dass auf der Basis von stabilen Messreihen eine Abschätzung durch statistische Methoden teilweise möglich ist.

Diese DIN SPEC behandelt die bekannten biologischen und gesellschaftlichen Einflussfaktoren auf Körpermaße innerhalb einer Population. Dabei geht sie insbesondere auf die Ontogenese, den säkularen Trend, die Bevölkerungszusammensetzung und soziale Faktoren ein. Des Weiteren analysiert sie die derzeitige nationale Datenlage der Körpermaßdaten als Basis für mögliche Hochrechnungs- oder Abschätzungsverfahren. Im Folgenden wurden geeignete Hochrechnungs- oder Abschätzungsverfahren gesucht und bewertet.

Ein Hochrechnungsverfahren würde die Trends der bekannten Einflussfaktoren auf die Körpermaße einzeln extrapolieren und daraus die Gesamtauswirkung errechnen. Ein solches Modell ließe komplexe Verteilungen (nicht-Normalverteilungen) zu. Eine solche Modellierung ist aber aufgrund der unvollständigen Datenlage zu den Einflussfaktoren nicht möglich. Wissenschaftler arbeiten aber an der Erfassung der Trends der Einflussfaktoren, so dass solche Verfahren in Zukunft vielleicht möglich werden.

Diese DIN SPEC zeigt einfachere Alternativen zu aufwändigen Hochrechnungsverfahren auf: eine qualifizierte Abschätzung der Entwicklung von Körpermaßen unter Zuhilfenahme einer Regressionsanalyse mit einer schiefen Gauss-Verteilung – ohne Berücksichtigung oder Kenntnis der Einflussfaktoren. Dabei erweist sich das von der WHO empfohlene parametrische Regressionsmodell „Generalized Additive Models for Location Scale and Shape“ (GAMLSS) [1] bei richtiger Anwendung als geeignet, da es die Berechnung von Mittelwert, Streuung und Schiefe von Körpermaßverteilungen ermöglicht. Die statistische Software zur Berechnung ist kostenfrei im Internet erhältlich.

Die Aussagen solcher Abschätzungsmethoden haben jedoch Grenzen. Die Methode liefert ein Trenddiagramm für die Verteilungsparameter, das mit der letzten Messung aufhört. Die Prognose muss – um Falschaussagen zu vermeiden – von Experten auf der Basis dieser Diagramme ermittelt oder freigegeben werden. Außerdem müssen Abschätzungen über längere Zeit mit wahren Messdaten verglichen und abgesichert werden, um neue statisch korrekte Stützstellen für die Abschätzung zu haben.

2 Begriffe

2.1

Abschätzung

näherungsweise Extrapolation eines Gesamtergebnisses ohne Kenntnis der Teilergebnisse

ANMERKUNG Im Rahmen der Abschätzverfahren dieses Berichtes soll das Körpermaß (Gesamtergebnis) aus der zeitlichen Entwicklung über die Geburtsjahrgänge ermittelt werden. Dazu sind Longitudinalstudien erforderlich.

2.2

Adaption

Anpassung

2.3

allometrisches Wachstum

Veränderungen der Körperproportionen im Laufe der Ontogenese aufgrund unterschiedlicher Wachstumsgeschwindigkeiten einzelner Körperteile

2.4

asymptotische Annäherung

beliebige Annäherung an eine vorgegebene Kurve

BEISPIEL Ein Beispiel für eine asymptotische Annäherung stellt die beliebige Annäherung an eine genetisch vorgegebene individuelle Körperendhöhe dar.

2.5

biologisches Alter

individuelles Alter, welches durch den individuellen biologischen Entwicklungsstand gekennzeichnet ist

ANMERKUNG 1 Das biologische Alter kann anhand biologischer Entwicklungsmerkmale (z. B. Zahndurchbruch, Einsetzen der Menopausen) bestimmt werden.

ANMERKUNG 2 Das biologische Alter entspricht nicht dem kalendarischen Alter, welches das Alter in Jahren seit dem Geburtstag angibt.

2.6

Demografie

Bevölkerungswissenschaft

wissenschaftliche Disziplin, die sich mit dem Leben, Werden und Vergehen von Bevölkerungen befasst

2.7

Dezeleration

Verlangsamung, Geschwindigkeitsabnahme

2.8

Extrapolation

Bestimmung eines Zusammenhangs über den gesicherten Bereich hinaus

2.9

Hochrechnung

näherungsweise Extrapolation eines Gesamtergebnisses aus einem Teilergebnis

ANMERKUNG Im Rahmen der untersuchten Hochrechnungsverfahren dieses Berichtes soll das Körpermaß (Gesamtergebnis) aus der quantitativen Kenntnis der Einflussfaktoren (Teilergebnisse) ermittelt werden. Dazu sind Longitudinalstudien über die einzelnen Einflussfaktoren erforderlich.

2.10

Longitudinalstudie

Längsschnittstudie

Untersuchung, in der jedes Individuum zu unterschiedlichen Zeitpunkten wiederholt erfasst wird

2.11

Median

Zentralwert

Wert, der eine Verteilung beim 50ten Perzentil halbiert

2.12

Mittelwert

arithmetischer Mittelwert

Summe der Einzelwerte einer Stichprobe geteilt durch ihre Anzahl

ANMERKUNG In der Anthropometrie entspricht der Medianwert nicht immer dem Mittelwert.

2.13**Normalverteilung****Gauß-Verteilung**

Wahrscheinlichkeitsverteilung einer stetigen Zufallsgröße X mit der Wahrscheinlichkeitsdichte

$$g(x) = g(x; \mu, \sigma^2) \\ = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right)^2 \right]; \quad -\infty < x < \infty$$

Parameter: $\mu, \sigma > 0$.

ANMERKUNG 1 μ ist der Erwartungswert und σ die Standardabweichung der Normalverteilung.

ANMERKUNG 2 Auch „Gauß-Verteilung“.

[DIN 55350-22:1987-02, 1.1]

2.14**Ontogenese**

Individualentwicklung von der befruchteten Eizelle bis zum Tod

2.15**pathologisch**

krankhaft

2.16**Perzentil**

prozentueller Anteil einer Bevölkerungsgruppe

[DIN ISO 8468:1993-02, 3.15]

ANMERKUNG Ein Perzentil ist ein Zahlenwert der angibt, wie viel Prozent der Menschen in einer Bevölkerungsgruppe (hier: in Bezug auf ein bestimmtes Körpermaß) kleiner sind als der jeweils angegebene Wert.

2.17**Population**

<Biologie> Gruppe von Individuen einer Art, die zur gleichen Zeit am selben Ort leben und sich miteinander fruchtbar fortpflanzen können

2.18**puberaler Wachstumsschub**

Zeitraum schnellen Körperwachstums im Alter der Pubertät

ANMERKUNG Bei Mädchen tritt der puberale Wachstumsschub etwa im Alter von 12 bis 15 Jahren, bei Jungen etwa im Alter von 14 bis 17 Jahren ein.

2.19**Querschnittstudie**

Untersuchung, in der jedes Individuum nur einmal untersucht wird

2.20

säkularer Trend

säkulare Akzeleration

beschleunigte Individualentwicklung mit früherem Einsetzen z. B. der Pubertät, größeren Körperendhöhe und veränderten Proportionen einer Generation im Vergleich zur vorgehenden Generationen

ANMERKUNG Wenn der säkulare Trend zu einer Erhöhung des Körpermaßes führt, wird er auch als säkulare Akzeleration bezeichnet.

2.21

standardisierte Normalverteilung

Wahrscheinlichkeitsverteilung einer stetigen Zufallsgröße U mit der Wahrscheinlichkeitsdichte

$$\varphi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right); \quad -\infty < u < \infty$$

ANMERKUNG 1 Die standardisiert normalverteilte Zufallsgröße zu einer normalverteilten Zufallsgröße X mit den Parametern μ und σ ist

$$U = \frac{X - \mu}{\sigma}.$$

ANMERKUNG 2 Die Verteilungsfunktion der standardisierten Normalverteilung wird mit $\Phi(u)$ bezeichnet.

[DIN 55350-22:1987-02, 1.1.1]

2.22

Stichprobe

Teilmenge einer Grundgesamtheit

2.23

z-Transformation

Umrechnungsverfahren, das durch Substitution und Änderung der Integralgrenzen eine Normalverteilung in eine standardisierte Normalverteilung umwandelt

ANMERKUNG Nach der Transformation weist die Verteilung einen Erwartungswert von Null und eine Streuung von eins auf.

2.24

z-Wert (en: z-score)

Vielfaches der Normalabweichung, um das ein einzelner Messwert von dem Median der standardisierten Normverteilung abweicht

3 Einflussfaktoren auf Körpermaße in einer Population

3.1 Allgemeines

Körpermaße unterliegen verschiedenen Einflüssen und verändern sich in Populationen im Laufe der Zeit. Vier wichtige Einflussfaktoren seien hier genannt:

3.2 Ontogenese

Die Körpermaße eines Menschen sind genetisch bedingt. Ihre individuelle Ausprägung unterliegt jedoch Umwelteinflüssen.

In der Individualentwicklung des Menschen erfolgt zunächst ein vergleichsweise langer Wachstums- und Reifungsprozess, der mit einer allometrischen Zunahme aller Körpermaße verbunden und mit dem Erreichen der Körperendhöhe für die Längenmaße abgeschlossen ist.

Körpermaßdaten sind geschlechtsspezifisch.

Das Erwachsenenalter wird vielfach als Lebensphase der gleichbleibenden Körpermaße angesehen, was nicht richtig ist. Auch innerhalb des Erwachsenenalters finden Körpermaßveränderungen statt. Es handelt sich dabei nicht um pathologische Veränderungen, sondern um normale Alterserscheinungen.

a) Dehydration

Die Abnahme der Speicherfähigkeit der Zellen für Wasser führt zur Dehydration der Gewebe. Besonders deutlich wird dies bei der Erschlaffung des Bindegewebes. Dies führt zur Veränderung von Körpermaßen und Proportionen.

Die Dehydration der Zwischenwirbelscheiben (Bandscheiben) beginnt individuell sehr unterschiedlich bereits im Altersbereich von Mitte 20 bis 30 Jahren und führt zu einer kontinuierlichen Abnahme der Körperhöhe und einer Zunahme der Brustkorbtiefe. Der Rückgang der ursprünglichen Körperhöhe erreicht im Mittel bei gesunden Menschen bis zum Alter von 70 Jahren etwa 2 bis 3 cm.

b) Absenkung des Fußgewölbes

Beim Fußgewölbe kommt es mit zunehmendem Alter zu einer Absenkung, die ebenfalls an der Verringerung der Körperhöhe beteiligt ist.

c) Zunahme des Gesamtkörperfettanteils

Der prozentuale Gesamtkörperfettanteil nimmt etwa ab dem 50. Lebensjahr bei Männern und Frauen zu. Damit verbunden verringert sich der Anteil der fettfreien Körpermasse. Insgesamt kommt es dabei oft zu einer Erhöhung der Körpermasse.

Dieser Prozess führt zu einer Veränderung der Korpulenzmaße des Menschen. Die Korpulenzmaße nehmen zu.

d) Muskelabbau

Parallel zur Zunahme des prozentualen Gesamtkörperfettanteils nimmt der prozentuale Anteil der Muskelmasse ab.

Deutlich sichtbar werden die meisten der oben erwähnten körperlichen Veränderungen erst im biologischen Lebensabschnitt des Rückbildungsalters, für den körperliche Abbauerscheinungen bei zunehmendem Gesamtkörperfettanteil typisch sind. In diesem Lebensabschnitt bleibt die Arbeitsfähigkeit erhalten, da die Abbauerscheinungen durch körperliche Leistung kompensiert werden können. Der Beginn des Rückbildungsalters ist individuell verschieden, wird aber bei den meisten Menschen um das 50. Lebensjahr erreicht. Bei Frauen beginnt das Rückbildungsalter mit der Menopause.

Erst bei Erreichen des Lebensabschnitts des Greisenalters verringert sich der Gesamtkörperfettanteil des Menschen wieder, was zur Verringerung der Korpulenzmaße und der Körpermasse führt.

Auch der Übergang in diesen biologischen Lebensabschnitt ist individuell sehr verschieden. Er erfolgt teilweise vor dem Erreichen des 70. Lebensjahres, teilweise erst danach. Die Abbauerscheinungen überwiegen und können nicht mehr durch körperliche Leistungen kompensiert werden.

Die ontogenetischen Veränderungen sind umweltabhängig und nehmen ebenfalls von Generation zu Generation aufgrund von Arbeitserleichterungen und ergonomisch verbesserten Produkten unterschiedliche Ausmaße an.

3.3 Säkularer Trend

Zu individuellen ontogenetisch bedingten Veränderungen der Körpermaße im Laufe des Lebens kommt bei der Betrachtung von Populationen das Phänomen des säkularen Trends hinzu. Populationen sind aus verschiedenen Altersgruppen aufgebaut, deren Umweltbedingungen im Stadium ihres Wachstums unterschiedlich sein können. Immer wieder wurde seit Ende des 19. Jahrhunderts bei Körpermessungen an Schülern und Rekruten festgestellt, dass die jüngeren Jahrgänge größere Körperhöhen als die vorhergehenden aufwiesen. Dieses Phänomen wird als säkulare Akzeleration bezeichnet.

Heute ist bekannt, dass die Körperhöhe einer Generation im Mittel größer ist als die der vorhergehenden Generation. Dieser Prozess ist nur innerhalb der genetisch vorgegebenen Grenzen möglich. Derzeit nähert sich die Körperhöhe in den Industrienationen asymptotisch dem individuellen genetischen Maximum der Körperhöhe an.

Neben der Körperhöhe verändern sich auch die Proportionen. Das stärkere Wachstum der Langknochen im Wachstumsalter führt zu vergleichsweise längeren Extremitäten nachfolgender Generationen im Vergleich zur vorangegangenen Generation. Die Veränderung der Längenmaße und der dadurch bedingten veränderten Proportionen ist mit dem Erreichen der Körperendhöhe abgeschlossen.

Diese Unterschiede zwischen den Generationen führen dazu, dass die in Normen gesammelten Daten fortlaufend erneuert werden müssten.

BEISPIEL 1 Die Daten der aktuell gültigen Norm DIN 33402-2 wurden im Zeitraum 1980 bis 1989 erhoben. Das bedeutet, dass aufgrund der säkularen Akzeleration die heute Jungen andere Körpermaße als die damals Jungen und die heute Älteren ebenfalls andere Körpermaße als die damals gemessenen Älteren aufweisen.

Für die Normungsarbeit entsteht daraus ein Problem, welches nur durch stets aktualisierte Daten, oder die Möglichkeit der Hochrechnung von Körpermaßdaten gelöst werden kann.

Körpermaße korrelieren miteinander, mit der Veränderung der Körperhöhe gehen Maßveränderungen in allen Teilen des menschlichen Körpers einher. Besonders relevant für Sicherheitsnormen sind dabei sicherlich die veränderten Hand- und Fingermaße, sowie die Reichweite der Arme.

ANMERKUNG Der seit Jahren beobachtete Prozess der säkularen Akzeleration kann bei Verschlechterung von biologisch relevanten Umweltbedingungen auch umgekehrt werden. Das kann zu Dezelerationserscheinungen führen, d. h. die Körperhöhe und entsprechend andere Maße der Langknochen können sich im Generationenvergleich wieder verringern.

Für das Wachstum biologisch wirksame Umwelteinflüsse sind u. a. Nahrungsqualität und -quantität, medizinische und hygienische Prophylaxe und Versorgung.

BEISPIEL 2 Mit der TBC-Schutzimpfung und/oder der möglichen Behandlung mit Antibiotika können Kinder ihre Energie in Wachstum statt in die individuelle Krankheitsbekämpfung investieren.

Die säkulare Akzeleration kann nicht unendlich zu einer Zunahme der Körperhöhe führen, da diese genetisch limitiert ist. Tatsächlich wird von einigen Autoren darauf hingewiesen, dass die säkulare Akzeleration der Körperhöhe in den USA bereits zum Erliegen gekommen ist. Andererseits vergrößern sich gleichzeitig die Korpulenzmaße säkular immens. In Deutschland ist bisher im Erwachsenenalter eine Verlangsamung, jedoch kein Ende der säkularen Veränderung der Körperhöhe vorhanden.