



Vergleichsmaße über den Körperbau

Das Dilemma mit dem Quetelet-Index und die Möglichkeiten der Gewinnung eindeutiger Aussagen

0. Einführung

In verschiedenen Wissenschaftszweigen, darunter in der Medizin und in den Ernährungswissenschaften ist die Körperfülle des Menschen von Bedeutung, um einschätzen zu können, wie stark der Körperbau einer Person, in dem sich die körperliche Beschaffenheit, die äußere Gestalt, die Figur darstellt, von den allgemein als normal angesehenen Durchschnittswerten abweicht. Solche vergleichenden Werte benötigt man für eine große Zahl von Erhebungen über die Leistungsfähigkeit, den Gesundheitszustand, eventuelle gesundheitliche und Sterblichkeitsrisiken, analytische Beurteilungen von Ernährungsstrategien, sportliche Betätigungs- und Trainingsempfehlungen, auch über Normierungsfragen der Modeindustrie und andere Bereiche.

Zur Berechnung solcher Werte existieren mehrere Verfahren, die alle ausschließlich empirisch entwickelt wurden und im wesentlichen nur grobe Abschätzungen liefern. Immer sind die Werte nur für einen eng begrenzten Personen- oder Individuenkreis gültig und müssen für andere Gruppen mit willkürlich festgelegten Abhängigkeiten von anderen gruppenspezifischen Parametern korrigiert werden. Allen diesen Methoden fehlen die Möglichkeiten des objektiven Vergleichs der erhaltenen gruppenbezogenen Angaben untereinander, das heißt, es existieren keine Korrelationen für Personen unterschiedlicher Größe und verschiedenen Alters.

Die vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel, diese Unzulänglichkeiten zu durchbrechen, indem auf der Grundlage mathematischer und naturwissenschaftlicher Gesetzmäßigkeiten eine allgemeingültige Methode entwickelt wird, die auch grundsätzlichen theoretischen Überprüfungen standhält.

Dazu ist ein Werkzeug vonnöten, mit dem man unabhängig von der Größe der zu untersuchenden Körper für solche mit gleichartiger figürlicher Beschaffenheit auch gleiche Werte erhält. Ich habe mit der vorliegenden Arbeit nachgewiesen, daß es dafür nur einen wissenschaftlich tragfähigen Lösungsansatz geben kann, und zwar eine Verhältniszahl der Körpermasse zum Kubik einer vorab definierten Längenausdehnung des Körpers, welches ich das Körpergrundmaß nenne.



1. Gegenüberstellung und Bewertung verschiedener Methoden

1.1 Der Broca-Index

Der wohl älteste Versuch der Normierung des menschlichen Körperbaus ist der sogenannte Broca-Index (Paul Broca, 1824-1880⁷⁾), mit dem das Normalgewicht in kg als die um 100 verringerte Körpergröße in cm angenommen wird. Man kann an diesem Index ohne großen Aufwand erkennen, daß er außer für den sehr begrenzten Bereich der Körpergrößen zwischen 1,65 und 1,75 m keine allgemeine Verwendung finden kann. Eine kleine Person der Größe 1,50 m dürfte dann nur 50 kg wiegen, während ein Mensch mit 1,90 m Körperhöhe bei 90 kg als normalgewichtig angesehen würde. Auf Kinder ist der Index gar nicht anwendbar. Ein Kind mit der Körperhöhe 1,10 m dürfte nur 10 kg wiegen. Auch gesteht der Broca-Index Frauen der gleichen Körperhöhe wie Männer nur ein geringeres Gewicht zu, indem der einfache Index um 10% zu reduzieren ist. Warum das so sein soll und woher die Reduzierungsgröße kommt, kann niemand erklären. Es sind rein empirische Werte, die sicher aus der Verallgemeinerung der Untersuchung vieler Probanden stammen. Eine wissenschaftliche Grundlage für den Broca-Index gibt es nicht. Heute wird der Broca-Index allgemein fachlich abgelehnt.

1.2 Die Körpermassenzahl

Gegenwärtig hat sich ein Berechnungsverfahren etabliert, das ebenfalls eine lange Geschichte hat. Im 19. Jahrhundert entwickelte der belgische Mathematiker Adolphe Quetelet^{2),3)} ein Verfahren, mit dem versucht wird, die Körperfülle eines Menschen (die Figur) mit Hilfe des Verhältnisses der Körpermasse zum Quadrat seiner Körperhöhe zu beschreiben. Das Verfahren war dann viele Jahre in Vergessenheit geraten. Mitte des 20. Jahrhunderts wurde auf Betreiben von US-amerikanischen Lebensversicherern das Verfahren unter der Bezeichnung „body mass index“ neu hervorgebracht, um über eine einfache Einstufung die Prämien für Lebensversicherungen berechnen zu können, da die Risiken durch Übergewicht besonders in den USA aufgrund des ständig steigenden Anteils übergewichtiger Menschen relevant sind. Diese Neuentwicklung erfolgte also aus primär pekuniären und nicht aus gesundheitspolitischen und auch nicht aus wissenschaftlichen Gründen.

Im deutschsprachigen Bereich sind auch die Bezeichnungen „Körpermasseindex“ (KMI), „Körpermassenzahl“ (KMZ), „Kaup-Index“ oder auch „Quetelet-Index“ bekannt.

Die Ausarbeitung der Tabellen für die Unterteilung der BMIs in Unter-, Normal- und Übergewicht erfolgt auf sogenannten "Konsensuskonferenzen". In diesen Tabellen ist der BMI für das Normalgewicht im Laufe der Jahre immer weiter gesenkt worden. Das lag auch aus ganz einfachen Gründen im Interesse der Pharmafirmen. Ein gesenkter BMI für das Normalgewicht führt wegen der damit verbundenen Neukategorisierung der Bevölkerung zu sehr vielen neuen „behandlungsbedürftigen Kranken“, die in der Folge teure Schlankheitsmittel kaufen und sie zum Teil sogar vom Arzt verordnet bekommen. Diese Verfahrensweise nützt nicht nur den Versicherungsunternehmen, sondern auch Ärzten und Pharmafirmen in Form von größeren Patientenzahlen und steigenden Umsätzen.

Jedoch lösen die mit diesem Verfahren berechneten Werte die Probleme ebenfalls nur mit mäßigem Erfolg und ohne die Möglichkeit eines objektiven Vergleichs unterschiedlicher Personengruppen. Die Ursachen dafür liegen im **fehlerhaften Berechnungsansatz der Maßzahl, der auf einer falschen Prämisse fußt**. Als Maß für die Beurteilung der Körperstatur, der Figur oder der Körperfülle eines Menschen ist er nur in sehr engen Grenzen und innerhalb derer auch nur bedingt geeignet.

Die Begründung dafür beginnt mit der trivialen Feststellung, daß der BMI die Körpermasse zu einer Fläche ins Verhältnis setzt. Damit wird im Grundsatz die Möglichkeit ausgeschlossen, vergleichende Angaben verschiedener Personengruppen zu gewinnen. Eine Masse ist stets an einen Raum gebunden, eine Fläche hat keine Masse. Als Maßeinheit erhält man kg/m^2 , ein Maß für den Druck oder für die Massenbelegung einer Fläche. Welcher Art die Fläche ist, die im BMI verwendet wird, ist nicht erklärbar, sie ist gegenständlich nicht definiert. Das Quadrat der Körperhöhe beinhaltet keine Aussage über die Beschaffenheit des Körperbaus oder der Figur eines Menschen. Es existiert kein Bezug zu einer Massenverteilung im Raum, etwa einer Dichte oder einer mittleren Dichte bei inhomogener Verteilung.

Dieser Grundfehler bewirkt, daß sich die Aussage der Daten auf Personengruppen beschränkt, die etwa die gleiche Größe haben. Aber selbst dabei sind zum Erhalt einer akzeptablen Aussage der berechneten Werte noch zahlreiche Korrekturen erforderlich, die ausschließlich intuitiv ohne eine naturwissenschaftlich begründete Theorie ausgearbeitet werden. Diese Korrekturen fallen dann erwartungsgemäß für verschiedene Zielbereiche der Anwendung des Index ganz unterschiedlich aus.

1.3 Der Taille-Hüft-Index (Waist to Hip Ratio)

Eine Gesamtkörpereinschätzung kann mit diesem Verfahren nicht vorgenommen werden. Das Verfahren soll dazu geeignet sein, den Körperfettanteil zu bestimmen. Man teilt den Taillenumfang durch den Hüftumfang (über die Beckenstachel gemessen). Je kleiner das Ergebnis, um so höher veranschlagt man den Anteil an Fettgewebe an der Körpermasse, den man tabellarisch zuordnen muß. Rechnerische Möglichkeiten gibt es nicht. Kritisch ist hier auch die Messung des Taillenumfangs, der durch Körperhaltung und momentane Atmungstiefe breiten Streuungen unterliegt. Insgesamt ist auch dieser Index völlig empirisch und müßte mit einer tatsächlichen Messung "beglaubigt" werden, indem die reale mittlere Dichte des Körpers gemessen wird.

Wie kann diese mittlere Dichte gemessen werden? Taucht man zum Beispiel einen Menschen komplett unter Wasser und mißt die verdrängte Wassermenge, so hat man sein exaktes Volumen ermittelt. Teilt man nun die Körpermasse durch dieses Volumen, erhält man die Durchschnittsdichte der Körpersubstanz. Diese Durchschnittsdichte würde erwartungsgemäß für sehr muskulöse Menschen höher sein als für solche mit hohem Körperfettanteil. Außerdem muß man berücksichtigen, daß das gemessene Körpervolumen von der Atmungsphase abhängig ist. Im Zustand der vollständigen Einatmung steigt das Körpervolumen bezogen auf den Zustand der vollständigen Ausatmung bei einem Durchschnittsmenschen um 3 bis $4,5 \text{ dm}^3$ an (Lungenvolumen). Diese Zunahme liegt in den Grenzen zwischen 4 und 6 % des Gesamtkörpervolumens. Es läßt sich jedoch ohne umfangreiche Berechnungen als sicher feststellen, daß es für jeden Menschen einen Wert der mittleren Atmungstiefe gibt, bei dem die mittlere Dichte der Körpersubstanz gleich 1 kg/dm^3 ist. Beweisbar



ist dies durch die triviale Tatsache, daß der menschliche Körper im Wasser bei völliger Ausatmung untergeht, während er bei völliger Einatmung schwimmt.

1.4 Der Rohrer-Index und die Livi-Formel

Bereits in den Jahren 1908 und 1921 veröffentlichte der Schweizer Physiologe Fritz Rohrer (Zürich) zwei Arbeiten, in denen er sich mit dem Körperfülleindex auseinandersetzt.^{29), 30)} In den beiden Arbeiten rechnet er zur Beurteilung des Ernährungszustandes menschlicher Individuen mit dem Quotienten aus Körpervolumen und der dritten Potenz der Körperlänge. In seiner ersten Arbeit findet man eine kritische Bewertung des Ansatzes von Ridolfo Livi, der um 1900 erkannt hatte, daß der lineare Quotient aus Körpergewicht und Körperlänge für die Beurteilung der Körperfülle ungeeignet ist und an seiner Stelle den Quotienten aus der dritten Wurzel des Körpergewichtes und der Körperlänge einführte. Dieser Ansatz ist, wie später noch gezeigt wird, im Grundsatz richtig, wird aber von Livi nicht mathematisch nachgewiesen, so daß er über einen empirischen Charakter nicht hinauskommt. Rohrer kritisiert Livis verbale Begründung und stellt der Livi-Formel seinen Ansatz gegenüber, bei dem er die Körperfülle mit dem Quotienten aus dem Körpervolumen und der dritten Potenz der Körperlänge beurteilt. Aber auch Rohrer führt für seinen Ansatz keinen mathematischen Beweis vor, mit dem er sonst hätte bemerken können, daß beide Ansätze im Wesen identisch sind und sein Ansatz lediglich die dritte Potenz des Livi-Indexes ist. Somit verbleibt das von beiden richtig erkannte Verhältnis im Bereich empirischer Einschätzungen und der Ansatz verharrt in dem Status, eines von mehreren Verfahren zu sein, die ihre Qualität über die Auswertung statistischer Angaben mit nachfolgendem Vergleich der erhaltenen Resultate mit anderen Methoden erbringen müssen. Beide erkannten nicht, daß ihre Ansätze die einzig richtige und theoretisch tragbare Methode zur Beurteilung der Körperfülle darstellen.

Der Nachteil des Livi- gegenüber dem Rohrer-Index besteht darin, daß durch die Verwendung einer dritten Wurzel praktisch erhaltene Zahlen eine sehr geringe Streubreite für verschiedene Körperfüllen haben, wodurch die praktische Anwendbarkeit gemindert wird. Auch entzieht sich die Maßeinheit dritte Wurzel aus einem Gewicht geteilt durch eine Länge weitgehend dem menschlichen Vorstellungsvermögen. Die von Rohrer verwendete Maßeinheit entspricht einem Dichtemaß, das man sich vorstellen kann. Da Rohrer aber in seiner praktischen Arbeit die Werte in Gramm und Zentimeter gemäß dem damals in der Physik noch verbreiteten CGS-Maßsystem in seine Berechnungen einsetzt, erhält er winzigkleine Zahlen, die erst mit Hilfe von Zehnerpotenzen auf überschaubare Größen zurückgeführt werden müssen, wodurch die praktische Handhabbarkeit seiner Methode erschwert wird. Zudem findet man weder bei Livi noch bei Rohrer Darlegungen über die Grundvoraussetzung für die allgemeingültige Verwendbarkeit ihrer Indizes: das Körpergrundmaß (s. 2.3).

Vermutlich sind diese Umstände als Ursache dafür anzusehen, daß die beiden im Grundsatz und als einzige richtigen Verfahren in der Praxis keine Anwendung fanden und die Anwender sich stattdessen dem auf falschen Voraussetzungen fußenden Body Mass Index zuwandten.



2. Der Figurfaktor

2.1 Der Grundfehler des BMI und die zwingende Alternative

Für die Beurteilung der Figur (Statur, Körperfülle) einer Person, eines Lebewesens oder eines Körpers allgemein wird ein Zusammenhang benötigt, der bei gleicher Figur für verschiedene Körpergrößen eine Konstante ergibt. Der sogenannte BMI, bei dem die Masse des Körpers durch das Quadrat der Körpergröße dividiert wird, ergibt eine solche Konstante nicht. Bei gleicher Figur und unterschiedlicher Größe entstehen stets verschiedene Werte. Der Ansatz für den BMI ist strukturell falsch. Dies ist nach rein geometrischen Überlegungen auch zu erwarten, denn die Masse eines beliebigen Körpers ist seinem Volumen proportional und nicht einem fiktiven Flächenäquivalent. Der Proportionalitätsfaktor ist die mittlere Dichte des Materials, aus dem der Körper besteht.

$$m = V \cdot d \quad \text{mit } m - \text{Masse [kg]} \quad (1)$$

$$d - \text{Dichte [kg/m}^3]$$

$$V - \text{Volumen [m}^3]$$

Geht man nun davon aus, daß sich die mittlere Dichte der Körpermassen verschiedener Menschen nur in vernachlässigbar kleinen Größen unterscheidet, kann man sich bei den weiteren Untersuchungen auf die Zusammenhänge zwischen Volumen und Längenausdehnung beschränken.

2.2 Mathematische Grundlagen des Figurfaktors

Das Volumen eines Körpers ist stets eine Funktion der dritten Potenz seiner Längenausdehnung. Im kartesischen Koordinatensystem (x,y,z) läßt es sich darstellen als

$$V = f(x,y,z) \quad [\text{m}^3] \quad (2)$$

Das Volumen V ändert sich folglich mit der Änderung einer, zweier oder auch aller drei Raumkoordinaten x , y und z dieser Funktion. Eine Funktion $f_1(x_1,y_1,z_1)$ sei das Raumabbild eines anderen Körpers mit dem Volumen V_1 . In dem Fall, in dem sich alle drei Koordinaten proportional verändern, wenn also $x/x_1 = y/y_1 = z/z_1$ ist, ist der geänderte Körper f_1 dem Ausgangskörper f ähnlich, denn es ist in anderer Schreibweise

$$x/y = x_1/y_1, \quad x/z = x_1/z_1 \quad \text{und mithin} \quad y/z = y_1/z_1. \quad (3)$$

Diese Feststellung gilt für alle Körper, gleich welcher Form und Größe, wenn bei der Änderung der Raumdimensionen deren Verhältnisse Länge/Breite und Länge/Höhe und mithin Breite/Höhe konstant bleiben – wenn also der geänderte Körper und der Ausgangskörper ähnlich sind.

Allgemein ist für einen beliebigen Körper

$$V = \iiint_R f(x, y, z) dR \quad (4)$$

Hierin ist $f(x,y,z)$ die Funktion, die das zu integrierende Raumgebiet beschreibt. dR ist das Raumelement, nach dem im Raumgebiet $f(x,y,z)$ integriert wird. Dieses Rau-