

Manfred Pohl

Vergleichsmaße über den Körperbau

In vielen Bereichen, in denen der Körperbau des Menschen beurteilt werden soll, hat sich ein Verfahren etabliert, das auf Grund eines elementaren Fehlers nicht geeignet ist, die anstehende Aufgabe der rechnerischen Ermittlung verbindlicher Werte über den menschlichen Körper, seine Gestalt, seine Körperfülle zu lösen.

Das Verfahren ist der im 19. Jahrhundert von dem belgischen Mathematiker Adolphe Quetelet entwickelte Index, der in die Praxis unter der Bezeichnung „Body Mass Index“ (BMI) Eingang gefunden hat.

Wegen der strukturellen Unzulänglichkeiten findet das Verfahren nur zusammen mit einer Vielzahl empirischer Korrekturen Anwendung, die von den Benutzern ihren Berechnungen in Form von Tabellen, Grafiken oder verbalen Erklärungen der unterschiedlichsten Art beigegeben werden, von denen keine eine wissenschaftlich haltbare Theorie begründen kann.

Die vorliegende Arbeit zeigt diesen Grundfehler und bietet auf der Basis des erstmals im Jahre 1908 vorgeschlagenen Rohrer-Index ein Verfahren an, das auf mathematischen Grundlagen beruht und damit besser geeignet ist, die Probleme einer Lösung zuzuführen.

Dr. Manfred Pohl

Manfred Pohl

Vergleichsmaße über den Körperbau

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

Potsdam, Oktober 2009

Verzeichnis der Tabellen

- Tabelle 1: Korrekturwerte zur Berücksichtigung amputierter Gliedmaßen
- Tabelle 2: BMI-Klassifikation der Deutschen Gesellschaft für Ernährung
- Tabelle 3: BMI-Klassifikation von Llewellyn-Jones und Abraham
- Tabelle 4: Berechnung der Körpermasse aus dem BMI und dem Figurfaktor in Abhängigkeit von der Körpergröße
- Tabelle 5: Altersabhängige BMI-Tabelle für Frauen und Männer
- Tabelle 6: BMI-Tabelle nach Cole für Jungen und Mädchen
- Tabelle 7: Auswertung der Lebensdaten eines realen Probanden
- Tabelle 8: Gegenüberstellung BMI und Figurfaktor für verschiedene Tiere
- Tabelle 9: Ergänzung der Tabelle 1 mit dem Figurfaktor
- Tabelle 10: Mögliche Grenzwerttabelle für den Figurfaktor

Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1: Figurfaktor des Enkels im Lebensverlauf
- Abb. 2: BMI des Enkels im Lebensverlauf
- Abb. 3: Beispielfoto des Enkels 1999
- Abb. 4: Beispielfoto des Enkels 2008

Inhaltsverzeichnis

	Seite
0. Einführung	1
1. Gegenüberstellung und Bewertung verschiedener Methoden	2
1.1. Der Broca-Index	2
1.2. Die Körpermassenzahl	2
1.3. Der Taille-Hüft-Index (Waist to Hip Ratio)	3
1.4. Der Rohrer-Index und die Livi-Formel	3
2. Der Figurfaktor	5
2.1. Der Grundfehler des BMI und die zwingende Alternative	5
2.2. Mathematische Grundlagen des Figurfaktors	5
2.3. Das Körpergrundmaß	8
2.4. Analytische Vergleichsmöglichkeiten mit Hilfe des Figurfaktors	8
2.5. Ein Beispiel	9
2.6. Der praktische Wert des Figurfaktors	9
3. Praktische Anwendungen	12
3.1. Gegenüberstellungen	12
3.2. Analyse der Lebensdaten eines realen Probanden (Enkel)	14
3.3. Erweiterung des Figurfaktors auf andere Lebewesen	17
4. Weitere Ausblicke	19
5. Eine mögliche praktische Anwendung	20
Literaturverzeichnis	21
Bilder zu 3.2	24

Ein besonderer Dank gebührt Herrn Dipl. rer. nat. Felix Sachs, Gymnasiallehrer aus St. Gallen, Schweiz, der mir zum Abschnitt 3.3 schwer erlangbares Datenmaterial zur Verfügung gestellt hat.

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.

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, 1824-1880 ⁷⁾), 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.

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

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

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-

melement ist, dargestellt im kartesischen Koordinatensystem, das Produkt der Längenelemente $dx \cdot dy \cdot dz$ in den drei Raumkoordinaten:

$$dR = dx \cdot dy \cdot dz \quad (5)$$

Läßt die Raumfunktion $f(x,y,z)$ eine Trennung in die drei kartesischen Ebenen zu, kann das Raumintegral auch in drei nacheinander ausführbare Integrationen über je eine der linearen Integrationsvariablen zerlegt werden.

$$\iiint_R f(x, y, z) dR = \int_{a_1}^{a_2} \left\{ \int_{y_1(x)}^{y_2(x)} \left[\int_{z_1(x,y)}^{z_2(x,y)} f(x, y, z) dz \right] dy \right\} dx \quad (6)$$

a_1 und a_2 sind die Integrationsgrenzen der x-Koordinate. Hieraus ist auch für einen allgemeinen Körper die Proportionalität des Volumens zur dritten Potenz der Längenausdehnungen erkennbar. Stehen die Längenausdehnungen der drei Raumdimensionen in einer linearen Proportionalität, so ist das Volumen der dritten Potenz einer beliebigen der drei Raumausdehnungen proportional.

Für die weiteren Untersuchungen wird wegen der direkten Proportionalität von Masse zu Volumen nur das Volumen verwendet.

Die Massen ähnlicher geometrischer Körper sind für gleiche Materialdichten proportional dem Kubik einer beliebigen ihrer drei Raumdimensionen. Dies bedeutet endlich, daß unter der Annahme $V \sim m$ bei ähnlichen Körpern wegen (1)

$$\frac{V_1}{x_1^3} = \frac{V_2}{x_2^3} = \frac{V_3}{x_3^3} = \dots = \frac{V_n}{x_n^3} = const \quad (7)$$

ist. Betrachten wir dieses Ergebnis an drei Beispielen in der Praxis.

Beispiel 1: Ein Würfel

Das Volumen eines Würfels mit der Kantenlänge a ist

$$V = a^3 \quad (8)$$

Nun sei $a_1 = a/2$ die Kante eines Würfels mit der halben Kantenlänge. Sein Volumen ist

$$V_1 = a_1^3 = a^3/8 = V/8. \quad (9)$$

Folglich ist

$$V/a^3 = V_1/a_1^3 = const. \quad (10)$$

Hingegen ist

$$V/a^2 \neq V_1/a_1^2, \quad \text{denn} \quad .$$

$$V_1 = V/8 \quad \text{aber} \quad a_1^2 = a^2/4.$$

Beispiel 2: Ein Quader

Ein Quader habe die Kantenlängen a , b und c . Das Volumen des Quaders ist daraus

$$V = a \cdot b \cdot c. \quad (11)$$

Werden nun die Kantenlängen des Quaders um den Faktor k verändert, so daß der neu entstehende Körper dem Ausgangskörper ähnlich ist, also

$$\begin{aligned} a_1 &= a \cdot k, \\ b_1 &= b \cdot k, \\ c_1 &= c \cdot k. \end{aligned}$$

So entsteht

$$V_1 = a_1 \cdot b_1 \cdot c_1 = a \cdot b \cdot c \cdot k^3 = V \cdot k^3. \quad (12)$$

Beispiel 3: Ein Kegel

Ein Kegel mit kreisförmiger Grundfläche habe den Radius des Grundkreises r und die Höhe h . Sein Volumen ist daraus

$$V = \pi r^2 \cdot h / 3 \quad (13)$$

Die Längen r und h werden um den Faktor k geändert.

$$\begin{aligned} r_1 &= k \cdot r \\ h_1 &= k \cdot h. \end{aligned}$$

So entsteht

$$V_1 = \pi r_1^2 \cdot h_1 / 3 = \pi r^2 \cdot k^2 \cdot h \cdot k / 3 = V \cdot k^3. \quad (14)$$

Durch den Beweis des Ansatzes für ähnliche Körper (7) ist erreicht worden, daß für beliebige geometrische Körper ein Faktor ermittelt werden kann, der die Figur dieses Körpers eindeutig charakterisiert, weil er von dessen Größe unabhängig ist. Dieser Faktor sei mit F bezeichnet. Er hat den Wert

$$\boxed{F = m/l^3} \quad (15)$$

Figurfaktor eines Körpers.

Angewendet auf den Menschen ist dieser Faktor mit

$$\begin{aligned} m &= \text{Körpermasse in kg} \quad \text{und} \\ l &= \text{Körpergröße in m} \end{aligned}$$

ein Maß für die Figur (Statur oder Körperfülle), unabhängig von seiner Größe oder etwa seinem Alter. Für die gleiche figurliche Gestalt ergibt sich stets der gleiche Faktor.

Dieses in der Literatur als Rohrer-Index, auch iBMI, erwähnte Verfahren wird in verschiedenen Arbeiten als lediglich ein anderes Meßverfahren charakterisiert und vergleichend neben den BMI gestellt. Die Tragweite des Übergangs zur räumlichen Darstellung, mit der erst die Möglichkeiten zu multilateralen Vergleichen entstehen, und mit der die Körpermessung auf mathematische Grundlagen gestellt wird, ist nirgends dokumentiert. Außerdem machte es sich Rohrer nicht notwendigerweise recht schwer, indem er die Körpermasse in g und Körperhöhe in cm einsetze. So muß zum Erhalt brauchbarer Zahlengrößen mit größeren Zehnerpotenzen multipliziert werden, wodurch die Übersichtlichkeit erheblich beeinträchtigt wird: Zum Beispiel erhält man mit der Körperhöhe 170 cm und einer Körpermasse von 70.000 g

$$\begin{aligned} F &= 70.000 / 4.913.000 = 0,01425 \text{ g/cm}^3 \\ &= 0,01425 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6 \text{ kg/m}^3 = 14,25 \text{ kg/m}^3. \end{aligned}$$

Bei unmittelbarer Verwendung der Werte in kg und m umgeht man diese Umständlichkeiten.

2.3 Das Körpergrundmaß

Grundvoraussetzung für die Anwendung des Figurfaktors ist, daß der verwendete Längenparameter (l) für alle gemessenen Körper der gleiche ist. Wird zum Beispiel vom Kopf bis zum Steiß gemessen, ergeben sich andere Werte als bei der Messung der Körperhöhe vom Kopf bis zu den Füßen, die aber wieder für alle Personen gleicher Gestalt (Körperfülle, Figur) die gleichen sind. Nur hat man in ersten Falle die Beinlänge aus der Beurteilung herausgenommen. Änderte sich nun die Beinlänge und blieben alle anderen Maße dieselben, so würde dies in den berechneten Werten lediglich durch die geänderte Gesamtmasse abgebildet, nicht aber durch eine veränderte Größenangabe. Es sind spezielle Bedingungen denkbar, in denen das notwendig sein und einen geometrischen Sinn haben könnte. Beispielsweise könnte auf diese Weise untersucht werden, ob die unterschiedliche relative Beinlänge bei Männern und Frauen als ursächlich dafür anzusehen wäre, daß für Frauen andere Figurfaktorwerte als normal gelten müßten. Dies könnte man herausfinden, indem man statistisch bevölkerungsrepräsentativ eine größere Zahl Probanden auswertet und Durchschnittswerte für Männer und Frauen errechnet. Man könnte auch alle Personen horizontal von der Wirbelsäule bis zum Bauchnabel messen. Man erhielte dann Werte, die nur die Fülligkeit des Rumpfes vergleichbar beurteilen. Ein Figurfaktor im primär verstandenen Sinne wäre das nicht mehr, interessant könnte jedoch sein, wie sich mit diesem Meßparameter der Ablauf einer Schwangerschaft auf den Faktor auswirken würde. **Mit dem BMI können solche Fragestellungen gar nicht entstehen, weil mit ihm ein Vergleich unterschiedlicher körperlicher Beschaffenheiten verschiedener Individuen oder Individuengruppen sowie die Verwendung verschiedener Meßparameter gar nicht möglich ist bzw. zu keinen Aussagen führt.**

Welche Messung also für die Bestimmung der Werte vorgenommen wird, ist von der Zielstellung abhängig, nur muß für den Erhalt vergleichbarer Angaben für alle Messungen der gleiche Parameter verwendet werden.

Der verwendete Meßparameter heiße **Körpergrundmaß**. Im weiteren sei zur Bestimmung des Figurfaktors als Körpergrundmaß die Körperhöhe des aufrechtstehenden Menschen verwendet. Dieses Maß ermöglicht die Gesamtbewertung des Körpers und bildet spezifische Besonderheiten des Körperbaus unabhängig von der Körpergröße im Figurfaktor auf die gleiche Weise ab. Anders gesprochen: Ähnliche Körper haben den gleichen Figurfaktor, Abweichungen von der Ähnlichkeit werden im Figurfaktor ausgewiesen.

2.4 Analytische Vergleichsmöglichkeiten mit Hilfe des Figurfaktors

Mit dem Figurfaktor ergeben sich bei Verwendung dieser Definition objektive Vergleichsmöglichkeiten für die Körperfülle von Menschen verschiedener Körpergröße. Angenommen, ein Mensch mit der Größe 1,80 m und einer Masse von 80 kg werde als normalgewichtig angesehen. Er hat einen Figurfaktor von

$$F = 80/1,8^3 = 13,72. \quad (16)$$

Welche Körpermasse sollte nun ein Mensch von der gleichen Körperfülle haben, der 1,60 m groß ist? Man erhält aus (15)

$$m = F \cdot l^3 = 13,72 \cdot 1,6^3 = 56,2 \text{ kg.} \quad (17)$$

Wie groß ist ein Mensch von der gleichen Körperfülle, dessen Körpermasse 70 kg beträgt? Es ergibt sich

$$\begin{aligned} 70 &= 13,72 \cdot l^3 && \text{daraus} \\ l &= 1,72 \text{ m.} \end{aligned} \quad (18)$$

Der BMI läßt solche Vergleiche nicht zu. An obigem Beispiel ist das zu sehen. Die drei verschiedengroßen Personen mit der gleichen Figur haben verschiedene BMI:

$$\begin{aligned} 80/1,8^2 &= 24,7, \\ 56,2/1,6^2 &= 22,0, \\ 70/1,72^2 &= 23,7. \end{aligned} \quad (19)$$

Um diese Diskrepanzen auszugleichen, muß man sachlich nicht belegbare Korrekturen einführen, wie zum Beispiel eine Abhängigkeit des BMI von der Größe oder vom Alter oder andere willkürliche Eingriffe. Es ist nicht möglich, mit derart empirischen Abwandlungen die Unordnung in dem System aufzuheben. Die Objektivität der Maßzahl ist wegen ihrer falschen Berechnungsbasis in keiner Weise gegeben. Dies wissen auch die Autoren und die Anwender, denn alle geben zu ihren berechneten BMI-Werten umfangreiche und umständliche Tabellen oder Grafiken hinzu, mit denen die Rechenwerte dann manipuliert, diskutiert und interpretiert werden, bis vom ursprünglichen Rechenwert kaum noch etwas übrig ist; oder sie schließen bestimmte Personengruppen von vornherein aus.

In den zahlreichen Internetbeiträgen zum Thema BMI, von denen es gegenwärtig weltweit rund 123 Mio. Einträge gibt – in Deutschland sind es 23 Mio. –, findet man ganz unterschiedliche Ausdeutungen der berechneten Werte.

2.5 Ein Beispiel

In seiner Dissertation zum Thema „Expression der Gene des Renin-Angiotensin Systems humaner Adipocyten bei adipositas-assoziiierter Hypertonie“⁽²⁵⁾ schreibt Dipl.-Biol. Stefan Engeli, Berlin:

„**Tabelle:** Alters- und geschlechtsunabhängige Einteilung der Adipositas laut WHO.

Grad der Adipositas	BMI [kg/m ²]	Risiko für Folgeerkrankungen
Normalgewicht	18,5 – 24,9	durchschnittlich
Übergewicht	25,0 – 29,9	leicht erhöht
Adipositas Grad I	30,0 – 34,9	erhöht
Adipositas Grad II	35,0 – 39,9	stark erhöht
Adipositas Grad III	> 40,0	sehr stark erhöht

Die MONICA-Studie der WHO untersuchte Männer und Frauen (25 bis 69 Jahre) und fand einen BMI > 30 kg/m² bei 18 % bis 24 % der deutschen Bevölkerung. Der Bundes-Gesundheitssurvey 1998 beschreibt 20 % der deutschen Männer und Frauen (18 bis 79 Jahre) als adipös und fand bei 20 % der adipösen Frauen und 12 % der adipösen Männer (> 60 Jahren) zusätzlich die Akkumulation viszeralen Fettgewebes. Daten zu den USA stammen aus dem 'Third National Health and Nutrition Examination Survey' (NHANES III, 1988-1994), der 63 % der Männer und 55 % der Frauen älter als 18 Jahren als übergewichtig/adipös beschreibt.“

Diese Angaben verlieren durch die Tatsache an Aussagekraft, daß die Körpergröße der in der Analyse erfaßten Personen unberücksichtigt ist. Gleiche BMI-Werte liefern, wie in (19) gezeigt, keine eindeutige Aussage darüber, zu welcher Gewichtskategorie gemäß Tabelle des Zitats ein Proband gehört. Anders ausgedrückt, für verschiedene Körpergrößen müssen die BMI-Grenzwerte, die Normalität oder Anomalität der Körpermassen ausweisen, unterschiedlich sein. Dadurch können die im Zitat angegebenen Prozentwerte erheblichen Abweichungen unterliegen.

2.6 Der praktische Wert des Figurfaktors

Wie in 2.2 bis 2.4 gezeigt wurde, kann der Figurfaktor die Körperfülle als geometrisches Maß unabhängig von der Größe der gemessenen Person beschreiben. Offen ist aber die Frage, ob der Figurfaktor eine gesundheitsrelevante Aussage treffen kann. Sagt der Figurfaktor aus, ob eine berechnete Körperfülle zu gering, normal, oder zu groß ist? Nicht ohne Bedingungen. Zur Beurteilung der Gesundheitsrelevanz des Figurfaktors muß bekannt sein, welchen Anteil zum Beispiel Fettgewebe oder Muskelgewebe am Zustandekommen seines Wertes haben. Fest steht hierbei nur, daß der Zahlenwert des Figurfaktors durch das Verhältnis von Muskelgewebe zu Fettgewebe nur unwesentlich beeinflusst wird. Fettgewebe hat die mittlere Dichte $0,97 \text{ g/cm}^3$, Muskelgewebe $1,04 \text{ g/cm}^3$. Das entspricht einer Differenz von $0,07 \text{ g/cm}^3$. So werden also Personen mit hohem Anteil Fettgewebe fast den gleichen Figurfaktor haben wie Personen mit entsprechend hohem Anteil Muskelgewebe. Für die gesundheitsrelevante Bewertung, das heißt für die Bestimmung von Wertekategorien wie Untergewicht oder Übergewicht, ist aber das Verhältnis von Muskelgewebe zu Fettgewebe signifikant. Diese Bewertung kann ohne die Kenntnis dieser Zusammensetzung nicht vorgenommen werden. Jedoch kann man allgemein sagen, daß Personen mit auffällig höherem Muskelgewebeanteil sehr selten sind. Für die große Allgemeinheit lassen sich ohne weiteres einheitliche gesundheitsbewertende Kategoriegrenzen bestimmen.

Eine andere Bewertungsgruppe, deren Anzahl aber nur Bruchteile eines Prozentes ausmacht, sind Personen mit amputierten Gliedmaßen. Bevor man für solche Personen einen Figurfaktor bestimmt, muß man berechnen, wie groß ihre Körpermasse ohne Amputation wäre, das heißt, man muß ihre theoretische Körpermasse ermitteln. Hierzu gibt es verschiedene Näherungsverfahren.

Am häufigsten verwendet man eine Korrekturwertetabelle (Tabelle 1) und bestimmt die theoretische Körpermasse nach der empirischen Beziehung

$$\text{Theoretische Masse} = \text{Masse} \cdot 100 / (100 - \text{Summe der Korrekturwerte}) \quad (20)$$

Körperteil	Korrekturwert
Hand	0,8
Unterarm	2,2
Oberarm	8,5
Fuß	1,8
Unterschenkel	5,3
Oberschenkel	11,6

Tabelle 1

Am genauesten ist jedoch die Methode, das durch Amputation fehlende Körpervolumen durch Messung des Volumens des verbliebenen Körpergliedes zu bestimmen (sofern nicht beide amputiert sind), daraus die fehlende Masse zu berechnen und sie zur tatsächlichen Körpermasse zu addieren.

3. Praktische Anwendungen

3.1 Gegenüberstellungen

Laut Klassifikation der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) liegt der ideale BMI bei Frauen zwischen 19 und 24, bei Männern zwischen 20 und 25. Durchschnittliche Grenzwerte sind in der Tabelle 2 angegeben.

BMI	Auswertung
unter 18,5	Untergewicht
18,5 bis 25	Normalgewicht
25 bis 30	Übergewicht
über 30	starkes Übergewicht

Tabelle 2

Die Autoren weisen ausdrücklich darauf hin, daß der BMI **nicht geeignet** ist zur Bestimmung des Idealgewichts von Kindern und Jugendlichen und zur Bestimmung des Idealgewichts von besonders muskulösen Sportlern.

Eine andere Klassifikation wurde 1984 von Llewellyn-Jones und Abraham²⁰⁾ vorgestellt (Tabelle 3). Sie unterscheidet sich nicht grundsätzlich von der Tabelle 2, im wesentlichen sind nur zwei weitere Randgruppen oberhalb und unterhalb der Grenzwerte angefügt worden, für die neue Grenzwerte festgelegt sind.

Ausgezehrt	< 15,0
Untergewicht	15,0 - 18,9
Normal	19,0 - 24,9
Übergewicht	25,0 - 29,9
Fettleibigkeit	30,0 - 39,9
krankhafte Fettleibigkeit	> 40,0

Tabelle 3

Berechnet man die den BMI-Wertegrenzen der Tabelle 1 entsprechenden Körpermassen für verschiedene Körpergrößen so erhält man die Tabelle 4.

$$m \text{ [kg]} = \text{BMI [kg/m}^2] \cdot l^2 \text{ [m}^2] \quad (21)$$

Im rechten Teil der Tabelle sind die Körpermassen gegenübergestellt die aus der Berechnung mit dem Figurfaktor entstehen, wenn man die Körpergröße 1,75 m als Schnittpunkt der beiden Funktionen verwendet.

$$F_{1,75} = \text{BMI}_{1,75} \cdot 1,75^2 / 1,75^3 = \text{BMI}_{1,75} / 1,75 = m_{1,75} / 1,75^3 \quad (22)$$

und für alle anderen

$$m = m_{1,75} \cdot l^3 / 1,75^3 \quad (23)$$

Körpermasse in kg bei BMI

l [m]	BMI		
	18,5	25,0	30,0
1,40	36,3	49,0	58,8
1,45	38,9	52,6	63,1
1,50	41,6	56,3	67,5
1,55	44,4	60,1	72,1
1,60	47,4	64,0	76,8
1,65	50,4	68,1	81,7
1,70	53,5	72,3	86,7
1,75	56,7	76,6	91,9
1,80	59,9	81,0	97,2
1,85	63,3	85,6	102,7
1,90	66,8	90,3	108,3
1,95	70,3	95,1	114,1
2,00	74,0	100,0	120,0

<-- Normalgewicht -->

<-- Übergewicht -->

Körpermasse in kg bei F

l [m]	Figurfaktor		
	10,6	14,3	17,1
1,40	29,09	39,24	46,92
1,45	32,32	43,60	52,13
1,50	35,78	48,26	57,71
1,55	39,47	53,25	63,68
1,60	43,42	58,57	70,04
1,65	47,62	64,24	76,82
1,70	52,08	70,26	84,01
1,75	56,81	76,64	91,65
1,80	61,82	83,40	99,73
1,85	67,12	90,54	108,27
1,90	72,71	98,08	117,29
1,95	78,60	106,03	126,79
2,00	84,80	114,40	136,80

<-- Normalgewicht -->

<-- Übergewicht -->

Tabelle 4

Die Tabelle 4 zeigt, daß die zurückgerechneten Körpermassen aus den vorgegebenen BMI-Grenzwerten lediglich im Bereich von 1,70 bis 1,80 m Körperhöhe eine vertretbare Genauigkeit haben. Mit zunehmender Distanz von dieser Körpergröße werden die Verzerrungen unverträglich hoch.

Zudem hänge nach Aussagen der Autoren der ideale BMI auch vom Alter ab. Aus diesem Grunde wurde zusätzlich eine Liste mit den Empfehlungen des Instituts für Ernährungswissenschaft der Universität Hohenheim zum idealen BMI in Abhängigkeit vom Alter aufgeführt (Tabelle 5). Hierin bleibt jedoch unklar, warum bei älteren Menschen ein Mehrgewicht von über 30 kg als normal angesehen werden soll. Die Zahl errechnet sich aus den Mittelwerten für die Untergrenze bei jüngeren Menschen (19,5) und der Obergrenze für ältere Menschen (29,5) bei einer mittleren Körperhöhe von 1,75 m.

Völlig unverständlich ist aber, warum der BMI überhaupt in Altersklassen eingeteilt worden ist. Damit wird doch die Aufgabenstellung umgedreht. Die Aufgabe einer Körpermassenzahl besteht doch nicht darin, festzulegen, welche Körpermasse man einer Person zugesteht, sondern vielmehr darin, festzustellen, daß zum Beispiel ältere Menschen eine andere Körperfülle haben, um damit in der Folge erforschen zu können, warum das so ist.

Alter	BMI für Normalgewicht	
	Frauen	Männer
19 - 24 Jahre	19 - 24	20 - 25
25 - 34 Jahre	20 - 25	21 - 26
35 - 44 Jahre	21 - 26	22 - 27
45 - 54 Jahre	22 - 27	23 - 28
55 - 64 Jahre	23 - 28	24 - 29
> 64 Jahre	24 - 29	25 - 30

Tabelle 5

Um den BMI für Kinder verwendbar zu machen, hat Cole¹²⁾ eine Tabelle zusammengestellt, in der versucht wird, die Grenzen der durch die Weltgesundheitsorganisation (WHO) herausgegebenen BMI-Werte für Übergewicht und Adipositas bei Erwachsenen auf Kinder umzurechnen (Tabelle. 6). Für diese Werte gibt es jedoch keine rechnerischen Grundlagen, sie wurden empirisch analytisch ermittelt, anders ausgedrückt, nach einem erwarteten Leitbild konstruiert. Dazu hat Cole die Daten von

192.727 Kindern und Jugendlichen im Alter von 0-25 Jahren aus Brasilien, Großbritannien, Hong Kong, den Niederlanden, Singapur und den USA ausgewertet. Die Tabelle zeigt einen Auszug dieser Auswertung für Kinder im Vorschulalter. Unrichtig ist dabei insbesondere, daß die Werte nicht etwa auf die Körperhöhen umgesetzt wurden, sondern auf das Alter. Das erhöht die Ungenauigkeiten der Angaben und untergräbt ihre Glaubwürdigkeit, weil die Körperhöhen in den Altersgruppen erhebliche Streubreiten haben.

BMI-Tabelle nach Cole für Jungen und Mädchen

Alter in Jahren	BMI äquivalent zu Erwachsenen 25 kg/m ² = übergewichtig		BMI äquivalent zu Erwachsenen 30 kg/m ² = adipös	
	männlich	weiblich	männlich	weiblich
3	17,89	17,56	19,57	19,36
3,5	17,69	17,40	19,39	19,23
4	17,55	17,28	19,29	19,15
4,5	17,47	17,19	19,26	19,12
5	17,42	17,15	19,30	19,17
5,5	17,45	17,20	19,47	19,34
6	17,55	17,34	19,78	19,65
6,5	17,71	17,53	20,23	20,08

Tabelle 6

Um für diese Streubreiten ein auswertbares Schema entwickeln zu können, ist man gezwungen, sie statistisch zu erfassen und aufzubereiten. Dazu werden sogenannte Perzentilenkurven²⁸⁾ ausgefiltert, indem die prozentualen Anteile verschiedener Größengruppen ermittelt werden. Wird die Körpergröße eines Kindes in Perzentilen ausgedrückt, bedeutet dies, ähnlich wie bei der Standardverteilung, daß die Körpergröße in Bezug auf die Körpergrößen der Altersgenossen angegeben wird. Eine Körpergröße auf der 50. Perzentile bedeutet, daß 50% der Kinder gleichen Alters und gleichen Geschlechts kleiner als das betreffende Kind sind; Körpergröße auf der 3. Perzentile bedeutet, daß 3% der vergleichbaren Kinder kleiner als das betreffende Kind sind. Die Aussagekraft der diesen Kurven zugeordneten BMI-Werte erhöht sich dadurch aber kaum. Auch kann mit dieser Methode kein Zusammenhang zwischen den unterschiedlich großen Kindern einer Altersgruppe und den verschiedenen – ihnen mehr oder weniger empirisch zugewiesenen – BMI-Werten sichtbar gemacht werden. Das ganze System wird dadurch lediglich komplizierter, hat aber keine höhere Aussagekraft.

3.2 Analyse der Lebensdaten eines realen Probanden (Enkel)

Nachfolgend werden an Hand eines praktischen Beispiels mit realen Daten aus dem Leben meines Enkels einige Berechnungen mit Hilfe des BMI einerseits und des Figurfaktors andererseits ausgeführt. Der Genannte wurde am 03.05.1990 geboren und in regelmäßigen Abständen, stets jedoch an seinem Geburtstag, gemessen und gewogen. Die Werte wurden über sein ganzes Leben hinweg in knapp 200 Wertepaaren in einer Datenbankdatei gesammelt. Für die folgende Darstellung wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit nur die Meßdaten an den Geburtstagen belassen (Tabelle 7).

Datum	t [a]	nach Formel	Enkel real		F [kg/m ³]	BMI [kg/m ²]
		h [m]	h [m]	m [kg]		
1	2	3	4	5	6	7
03.05.1990	0	0,520	0,510	3,950	29,777	15,186
03.05.1991	1	0,640	0,630	5,500	21,996	13,857
03.05.1992	2	0,752	0,750	6,800	16,119	12,089
03.05.1993	3	0,857	0,850	9,900	16,120	13,702
03.05.1994	4	0,954	0,960	13,500	15,259	14,648
03.05.1995	5	1,045	1,030	17,400	15,923	16,401
03.05.1996	6	1,130	1,120	21,800	15,517	17,379
03.05.1997	7	1,210	1,210	26,700	15,071	18,236
03.05.1998	8	1,284	1,290	31,800	14,814	19,109
03.05.1999	9	1,353	1,360	44,700	17,770	24,167
03.05.2000	10	1,417	1,420	51,600	18,021	25,590
03.05.2001	11	1,477	1,490	55,800	16,868	25,134
03.05.2002	12	1,534	1,550	50,900	13,669	21,186
03.05.2003	13	1,586	1,590	56,000	13,931	22,151
03.05.2004	14	1,635	1,660	61,800	13,510	22,427
03.05.2005	15	1,681	1,720	66,500	13,069	22,478
03.05.2006	16	1,723	1,750	71,600	13,360	23,380
03.05.2007	17	1,763	1,790	75,900	13,234	23,688
03.05.2008	18	1,800	1,810	80,000	13,491	24,419

Tabelle 7

Die Spalten 4 und 5 enthalten die realen Meßdaten Körpergröße h in m und Masse m in kg. Aus diesen Werten wurde einerseits der Figurfaktor nach $F = m/h^3$ (Spalte 6) und andererseits der BMI nach $BMI = m/h^2$ (Spalte 7) berechnet.

Ein interessantes Detail am Rande der hier zu behandelnden Analyse zeigt die Spalte 3. Hier wurden die Körperhöhen nach der allgemeinen Wachstumsgleichung $h = h_0 + h_e(1 - e^{-at})$ mit $h_e = 1,8$, $h_0 = 0,52$ und $a = 0,069$ berechnet. Man sieht eine sehr gute Übereinstimmung mit den realen Meßwerten des Probanden, was für sein normales Wachstum spricht, einer Voraussetzung für die durchgeführten Analysen.

Grafisch dargestellt ergeben sich die Abbildungen 1 (Figurfaktor) und 2 (BMI).

Deutlich sichtbar ist in der Abb. 1 die Abbauphase des sogenannten Babyspecks zwischen der Geburt und der Vollendung des zweiten Lebensjahres.

Die zeitweilige Erhöhung des Figurfaktors im Alter zwischen 9 und 11 Jahren weist auf ein Problem, das mit meinem Enkel tatsächlich bestanden hat. In diesem Alter hatte er eine Phase unkontrollierter Nahrungsaufnahme, was zu einer sichtbar übermäßigen Körperfülle geführt hatte. Durch Überzeugungsarbeit und etwas sanften Druck von seinen Eltern und auch von uns, den Großeltern, hat er diese Krise überwunden. Sein Gewicht normalisierte sich wieder. Im Alter von 12 Jahren war er schlanker denn je, deutlich zu sehen in der Abb. 1 (Hierzu zwei Anschauungsfotos im Anhang 1).

Die Abb. 2 zeigt mit großer Klarheit die Unzulänglichkeiten des BMI. Die natürliche Abbauphase des Babyspecks wird nur undeutlich ausgewiesen. Der Gesamtverlauf der Grafik erweckt den Anschein, als sei der Proband im Verlaufe seiner Entwicklung immer korpulenter geworden. Das entspricht in keiner Weise den Realitäten. Auch die Tatsache, daß er nach der Überwindung der Ernährungskrise schlanker als je zuvor war, kann mit dem BMI nicht gezeigt werden. Der berechnete BMI zum Zeit-

punkt seiner Geburt (15,0) suggeriert eine ganz besondere Magerkeit. Das Fallen des BMI auf den Wert von etwa 12 nach den ersten beiden Lebensjahren würde auf extreme Unterernährung hinweisen. Beide Aussagen liegen völlig außerhalb der Realität.

Wie jedoch bereits erwähnt, wissen die Autoren und die Anwender des BMI um diese Unzulänglichkeiten und schließen Darstellungen in der Art der Abb. 2 ausdrücklich aus oder versuchen Korrekturen auf der Grundlage fiktiver Festlegungen ohne naturwissenschaftliche Inhalte einzubringen.

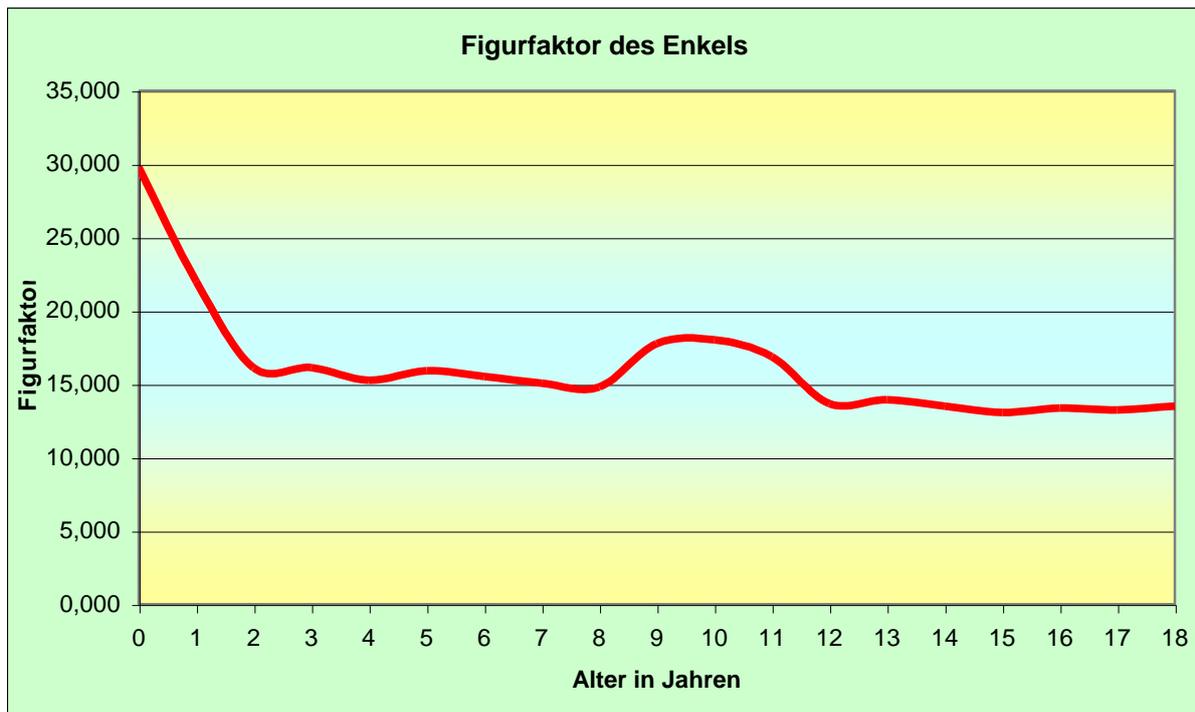


Abb. 1

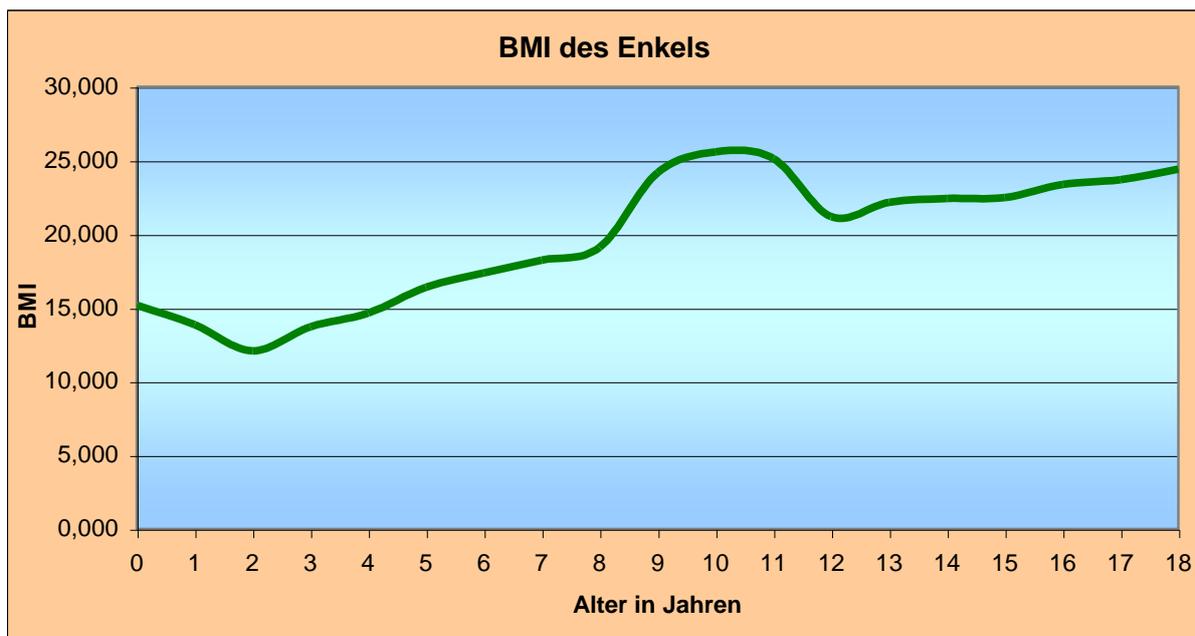


Abb. 2

3.3 Erweiterung des Figurfaktors auf andere Lebewesen

Für einen weiteren Analyseteil hat mir Herr Dipl. rer. nat. Felix Sachs, Gymnasiallehrer aus St. Gallen, Schweiz, einige Meßdaten aus dem Tierreich zur Verfügung gestellt. Nachfolgend wird die Möglichkeit nachgewiesen, die Anwendung des Figurfaktors bei Beachtung einiger Grundvoraussetzungen problemlos auf diesen Bereich zu verallgemeinern.

Von den im folgenden genannten Tieren liegen Längen- und Massewerte vor. Es ist voranzustellen, daß diese Daten vor ihrer Verwendung gesonderter Erläuterungen, insbesondere hinsichtlich des Körpergrundmaßes bedürfen. Zum Vergleich wurde ein Durchschnittsmensch angefügt.

Hausmaus:	Länge ca. 11 cm,	Masse ca. 25 g
Katze:	Länge ca. 80 cm	Masse ca. 7 kg
Wolf:	Länge ca. 1,6 m,	Masse ca. 80 kg
Wildpferd:	Höhe ca. 1,80 m	Masse ca. 300 kg
Elefant:	Höhe ca. 6 m	Masse ca. 5000 kg
Mensch:	Höhe ca. 1,75 m	Masse ca. 72 kg

Es ist festzuhalten, daß die Länge der Hausmaus über Kopf und Rumpf gemessen wurde. Die Längen der Katze und des Wolfes sind vom Kopf bis zum Ende der Hinterläufe bestimmt worden, so als stünden die Tiere aufrecht. Beim Wildpferd versteht man unter Höhe üblicherweise die Widerristhöhe, also die Schulterhöhe über den Vorderläufen, ebenso beim Elefanten, dessen Angaben von einem afrikanischen Bullen stammen. Man erkennt, daß drei verschiedene Körpergrundmaße vorliegen. Wollte man vergleichende Beurteilungen der Körpergestalt nur in jeweils einer Tiergruppe vornehmen, könnte man alle Meßparameter unter Verzicht auf Vergleiche zwischen den Gruppen belassen. Sollen aber auch die Gruppen miteinander verglichen werden, müssen die Meßparameter vereinheitlicht werden. Zum Erhalt vergleichender Angaben sollen die Körpergrundmaße an den eingefügten mittleren Menschen angepaßt werden. Als Körpergrundmaß wird seine Körperhöhe verwendet. Deshalb müssen zum Erlangen von Vergleichsmöglichkeiten drei Änderungen vorgenommen werden. Bei der Hausmaus muß man die Hinterbeine in die Messung einbeziehen, so daß man etwa 13 cm erhält. Das Wildpferd muß man ähnlich über die Hinterläufe messen, als hätte es sich aufgerichtet. So könnte es durchaus 2,8 bis 3 m hoch sein. Ähnlich muß man mit dem Elefanten verfahren, der dann eine Höhe von etwa 7,5 bis 8 m erreichen würde. Mit diesen Änderungen hätte man mit Hilfe vertretbarer Schätzungen die Voraussetzungen für analoge Körpergrundmaße geschaffen. Für die Analyse werden deshalb folgende Werte verwendet:

Hausmaus:	Länge 13 cm,	Masse 25 g
Katze:	Länge 80 cm	Masse 7 kg
Wolf:	Länge 1,6 m,	Masse 80 kg
Mensch:	Länge 1,75 m	Masse 72 kg
Wildpferd:	Länge 2,8 m	Masse 300 kg
Elefant:	Länge 7,5 m	Masse 5000 kg

Mit diesen korrigierten Angaben werden Figurfaktor (Spalte 3) und BMI (Spalte 4) berechnet (Tabelle 8).

	Größe [m]	Masse [kg]	Figurfaktor	BMI
	1	2	3	4
Hausmaus	0,13	0,025	11,38	1,48
Katze	0,80	7	13,67	10,94
Wolf	1,60	60	14,65	23,44
Mensch	1,80	80	13,72	24,69
Wildpferd	2,80	300	13,67	38,27
Elefant	7,50	5000	11,85	88,89

Tabelle 8

Gravierend ist in dieser Tabelle zu erkennen, daß der BMI überhaupt keine Aussage zur Körperbeschaffenheit der Individuen hat. Folgte man ihm, käme man zum Schluß, daß stets kleinere Individuen mager sind und größere korpulent. Das widerspricht allen Erfahrungswerten, und auch die Streubreite der Werte in Spalte 4 zeigt widersinnige Ergebnisse. Der Figurfaktor hingegen bildet die tatsächlichen Verhältnisse in augenscheinlicher Realität ab. Sicher gibt es von allen dargestellten Tieren auch in breiteren Grenzen individuell andere Werte. Stets aber lassen sich mit dem Figurfaktor brauchbare Vergleiche über die Körperbeschaffenheit anstellen, der BMI liefert dazu keinerlei Ansatzpunkte.

4. Weitere Ausblicke

Ausgehend von den theoretischen Grundlagen der vorliegenden Arbeit könnte eine Aufgabe der anwendenden Wissenschaften darin bestehen, begründete sinnvolle Einteilungen für den Figurfaktor zu erarbeiten, um beispielsweise Untergewicht, Normalgewicht, leichtes Übergewicht, erhebliches Übergewicht, Fettleibigkeit (Adipositas) - oder aber andere Kategoriedefinitionen - zu unterscheiden. Die vorgenommene Kategorisierung gilt dann aber für alle Menschen beliebiger Größe und beliebigen Alters. Es sind keine Kunstgriffe oder empirischen Manipulationen mehr nötig, um den Faktor zur Erhaltung seiner Glaubwürdigkeit bzw. seiner Aussagekraft zu korrigieren.

Eine Möglichkeit der Gliederung wäre beispielsweise die Umrechnung der von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) vorgeschlagenen BMI-Grenzen für Normalgewicht und Übergewicht für den Durchschnittsmenschen in Figurfaktorgrenzen. De facto ist diese Umrechnung schon in der Tabelle 4 vorgenommen worden, indem die BMI-Grenzen für die Körperhöhe von 1,75 m als Übertragungspunkt für den Figurfaktor angenommen wurden.

Die Tabelle 2 würde dann mit dem Figurfaktor ergänzt die Form der Tabelle 9 annehmen:

BMI	Figurfaktor	Auswertung
unter 18,5	unter 10,6	Untergewicht
18,5 bis 25	10,6 bis 14,3	Normalgewicht
25 bis 30	14,3 bis 17,1	Übergewicht
über 30	über 17,1	starkes Übergewicht

Tabelle 9

Diese Grenzwerte für den Figurfaktor sind nun aber nicht mehr von der Größe oder vom Alter des zu beurteilenden Menschen abhängig, sie gelten für alle Personen.

Man kann nun endlich durch weiterführende Forschungen auch herausfinden, ob zum Beispiel im statistischen Mittel Männer und Frauen unterschiedliche Figurfaktoren haben müssen, und wenn ja, worin die Unterschiede begründet sind. Oder man kann zum Beispiel statistisch herausfinden, ob es gravierende Unterschiede in der Figurgestaltung von Kindern und Erwachsenen gibt. Der Figurfaktor bietet ein objektives Vergleichsmaß. Wenn es so wäre, müßten dann in statistischen Meßreihen für Kinder abweichende Durchschnittswerte für den Figurfaktor entstehen. Mit dem BMI sind solche Fragen nicht analysierbar, da für unterschiedlich große Menschen keine Vergleichskriterien ableitbar sind, mit denen ein Bezug zwischen den verschiedenen Personengruppen herstellbar wäre.

5. Eine mögliche praktische Anwendung

Ich arbeite im privaten Bereich seit mehreren Jahren mit den nach Augenmaß entworfenen Kategorien der Tabelle 10.

Figurfaktor	Beschreibung
$F < 10$	Magerkeit (evtl. Bulimie)
$10 \leq F < 12$	Untergewicht
$12 \leq F < 14$	Normalgewicht
$14 \leq F < 16$	geringes Übergewicht
$16 \leq F < 18$	erhebliches Übergewicht
$18 \leq F$	Fettleibigkeit (Adipositas)

Tabelle 10

Nach Einschätzung aller an regelmäßigen Messungen Beteiligten treffen die Werte im wesentlichen zu. Jedoch habe ich in meinem Umfeld für die erste und die letzte Tabellenzeile keine verfügbaren Beispielpersonen, an denen solche Meßwerte aufgenommen werden konnten. Aber es lassen sich alle 12 Erwachsene und 10 Kinder verschiedenen Alters, mit denen regelmäßige Messungen durchgeführt werden, mit allgemeiner Akzeptanz in diese Kategorien eingliedern. Auch einzelne andere Personen, von denen gelegentliche Meßwerte genommen wurden, bestätigten intuitiv die Brauchbarkeit der angegebenen Grenzen. Sicher ist die Tabelle Streitbar und müßte durch medizinische Wissenschaftler einer Analyse unterzogen werden. Strittige Fragen würden jedoch mit Sicherheit nur die aufgestellten Bereichsgrenzen oder die Zweckmäßigkeit und die Zahl der verbalen Kategorienbenennungen betreffen. Das Einbringen zusätzlicher Korrekturkriterien oder anderer Abhängigkeiten für die dann vorliegenden Werte wird nicht erforderlich sein.

Literaturverzeichnis

1. Kersting, M., Sichert-Hellert, W., Alexy, U., Manz, F., Schöch, G. (1998): Macro-nutrient intake of 1 to 18 year old German children and adolescents. *Zu Ernährungswissenschaft* 37: 252-259.
2. Internet: <http://www.geophys.tu-bs.de/geschichte/quetelet.html>
3. Internet: <http://de.wikipedia.org/wiki/Quetelet>
4. AID Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung. Landwirtschaft und Forsten e.V.: *Alternative Wege bewusster Ernährung*. 1994.
5. Baden-Baden: Nomos. Remer, T., Neubert, A. (1998): A never ending story of an insufficient iodine status without mandatory iodization of foods? A German experience. *J Clin Endocrinol Metab.* 83: 3755-3756.
6. Falorni, A., Galmacci, G., Bini, V., Papi, F., Molinari, D., De Giorgi, G., Faraoni, F., Celi, F., Di Stefano, G., Brioli, M.G., Contessa, G., Bacosi, M.I.: Fasting serum leptin levels in the analysis of body mass index cut-off values are they usefull for overweight screening in children an adolescents? A scholl population-based survey in three provinces of central Italy. *Int. J. Obestity*, 22. 1998, 1197-1208.
7. Internet: https://en.wikipedia.org/wiki/Paul_Broca
8. Schaefer, F., Georgi, M., Wuhl, E., Schärer, K.: Body mass index an percentage fat mass in healthy German schoolchildren and adolescents. *Int. J. Obesity*, 22, 1998, 461 - 469.
9. Zarli, B., Elmadfa, I.: Body Mass Index (BMI) als Indikator für das Übergewicht bei Kindern und Jugendlichen - Ergebnisse der ASNS Akt. *Ernähr-Med.* 20. 1995, 201-206.
10. Asbeck I., Grund A., Langnäse K., Mast M., Müller M. J., Die Kieler Adipositaspräventions-studie (KOPS) – Ein Erfahrungsbericht. In: *Kindheit und Entwicklung*, 2, 108-115, 2000
11. Calle E., Thun M. J., Petrelli J. M., Rodriguez C., Heath C. W., Body-Mass Index and Mortality in a Prospective Cohort of U.S. Adults. In: *The New England Journal of Medicine*, Vol 341, 1097 – 1105, October 1999
12. Cole, T.J., Bellizzi, M.C., Flegal, K.M. & Dietz, W.H. (2000). Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey. *British Medical Journal* 320, 1-6.
13. Eng E., *Too big to ignore: the impact of obesity on mortality trends*. Swiss Reinsurance Company, Zürich, 2004

14. Freedman D. S., Shear C. L., Burke, G. L., Srinivasan S. R., Webber, L. S., Harsha D. W., Berenson G. S., Persistence of juvenile-onset obesity over eight years: The Bogalusa Heart Study. *Am J Public Health* 77, 588-592, 1987
15. Koletzko B., Strauß A., Ernährung und Bewegung für gesunde Kinder: Prävention von Übergewicht. In: *e.balance - magazin für soziales, elektronische Zeitschrift der Bundesregierung*, Nr. 29 04/2005, Berlin, 2005
16. Kromeyer-Hauschild K., Wabitsch M., Geller F., Ziegler A., Geiß H. C., Hesse V., v. Hippel, Jaeger U., Johnsen D., Kiess W., Korte W., Kunze D., Menner K., Müller M., Niemann-Pilatus A., Remer Th., Schaefer F., Wittchen H. U., Zabransky S., Zellner K., Hebebrand J., Perzentile für den Body Mass Index für das Kindes- und Jugendalter unter Heranziehung verschiedener deutscher Stichproben. In: *Monatsschrift Kinderheilkunde* 8, 807-818, 2001
17. Kuhn J., Wildner M., Gesundheitsmonitor Bayern. Übergewicht und Adipositas bei Kindern in Bayern. Hrsg. Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, Erlangen, 2005
18. Wabitsch M., Verbreitung von Adipositas im Kindes- und Jugendalter und die Folgen, in: *Erst Babyspeck – dann Schwergewicht?*, Institut Danone für Ernährung, 2001
19. Willet W. C., Manson J. E., Epidemiological studies of health risks due to excess weight. In: K. D. Kelley & c. G. Fairburn (Eds.), *Eating disorder and obesity* (pp. 396-405), New York: Guilford, 1996
20. Llewellyn-Jones D, Abraham SF. Quetelet index in diagnosis of anorexia nervosa. *Brit Med J* 1984; 288: 1800
21. Flodin L, Svensson S, Cederholm T: Body mass index as a predictor of 1 year mortality in geriatric patients. *Clin Nutr* 19 (2000) 121-125
22. Stevens J et al.: The effect of age on the association between Body-Mass-Index and mortality. *N Engl J Med* 338 (1998) 1-7
23. Kromeyer-Hauschild, K., Wabitsch, M., Kunze, D., Geller, F., Geiß, H. C., Hesse, V., Hippel, A. von, Jaeger, U., Johnsen, D., Korte, W., Menner, K., Müller, G., Müller, J.M., Niemann-Pilatus, A., Remer, T., Schaefer, F., Wittchen, H.-U., Zabransky, S., Zellner, K., Ziegler, A., Hebebrand, J. (2001). Perzentile für den Body-mass-Index für das Kindes- und Jugendalter unter Heranziehung verschiedener deutscher Stichproben. *Monatsschrift Kinderheilkunde*, 149 (8), 807-818.
24. Rolland-Cachera, M.F., Cole, T.J., Sempé, M., Tichet, J., Rossignol, C., Charraud, A. (1991). Body mass index variations: Centiles from birth to 87 years. *European Journal of Clinical Nutrition* 45, 13-21.
25. Dipl.-Biol. Stefan Engeli, Dissertation: Expression der Gene des Renin-Angiotensin Systems humaner Adipocyten bei adipositas-assoziiierter Hypertonie, 2001, Medizinische Fakultät Charité der Humboldt-Universität zu Berlin, S.8

26. Tobias Reploh, Dissertation: Munich Obesity Pilot Study (MOPS): Langfristige Evaluation des Erfolges der stationären Rehabilitationsmaßnahme bei Adipositas im Kindes- und Jugendalter, 2007, Technische Universität München, Fakultät für Medizin
27. B.-M. Kurth, A. Schaffrath Rosario, Robert-Koch-Institut Berlin, Die Verbreitung von Übergewicht und Adipositas bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland, Internet
http://www.kiggs.de/experten/downloads/Basispublikation/Kurth_Uebergewicht.pdf
28. Barbara Luise Döner Geis, Risikofaktoren für Übergewicht: Verschiebung der gesamten BMI-Verteilung oder nur der oberen Perzentilen, Dissertation, München, 2006
29. Fritz Rohrer, Eine neue Formel zur Bestimmung der Körperfülle, Zeitschrift „Korrespondierende Blätter der Deutschen Gesellschaft für Anthropologie, Ethnologie und Urgeschichte“, Jahrgang 39, 1908, Nr. 1/2,
30. Fritz Rohrer, Der Index der Körperfülle als Maß des Ernährungszustandes, Münchner Medizinische Wochenzeitschrift, Nr. 19, Mai 1921.

Anhang 1

Zwei Bilder, die die Ergebnisse zu 3.2 veranschaulichen:



Abb. 3

Enkel November 1999



Abb. 4

Enkel Juni 2008