



universität  
wien

# MAGISTERARBEIT

Titel der Magisterarbeit:

**„Modellentwicklung zur Vorhersage  
von Körperfettwerten aus dem  
3D Ganzkörperscanner“**

Verfasserin:

Holnsteiner Martina, Bakk. rer. nat.

Angestrebter akademischer Grad:

Magistra der Naturwissenschaft (Mag. rer. nat.)

Wien, im Juli 2011

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 066 826

Studienrichtung lt. Studienblatt : Magisterstudium Sportwissenschaft

Betreuer: Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. techn. Arnold Baca



# EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

„Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Magisterarbeit selbst verfasst habe und die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken als solche kenntlich gemacht habe. Die gegenständliche Arbeit wurde bisher noch keinen anderen Prüfungsgremien vorgelegt und keinerlei Veröffentlichung zugeführt.“

Wien, im Juli 2011

Holnsteiner Martina, Bakk. rer. nat





# INHALTSVERZEICHNIS

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 1. EINLEITUNG .....                                                   | 5  |
| 1.1 Motivation.....                                                   | 6  |
| 1.2 Überblick über die Arbeit .....                                   | 8  |
| 2. GRUNDLAGEN DER KÖRPERZUSAMMENSETZUNG .....                         | 9  |
| 2.1 Die Bestandteile des Körpers .....                                | 11 |
| 2.1.1 Problematik der Erforschung der Körperzusammensetzung .....     | 11 |
| 2.1.2 Terminologie .....                                              | 14 |
| 2.1.3 Schlussfolgerung .....                                          | 18 |
| 2.2 Modelle der Körperzusammensetzung .....                           | 18 |
| 2.2.1 Kompartiment-Modelle innerhalb des „Five-Level Models“ .....    | 20 |
| 2.2.1.1 Die atomare Ebene: Level 1 .....                              | 20 |
| 2.2.1.2 Die molekulare Ebene: Level 2 .....                           | 22 |
| 2.2.1.3 Die zelluläre Ebene: Level 3 .....                            | 25 |
| 2.2.1.4 Die Gewebsebene: Level 4.....                                 | 27 |
| 2.2.1.5 Die Ganzkörper-Ebene: Level 5.....                            | 28 |
| 2.2.1.6 Zusammenfassung der fünf Ebenen von Wang et al. ....          | 29 |
| 2.2.2 Untersuchungsmethoden – Theoretische Modelle in der Praxis..... | 30 |
| 2.2.2.1 Ganzkörperkaliumzählung .....                                 | 33 |
| 2.2.2.2 Densitometrie .....                                           | 35 |
| 2.2.2.2.1 Hydrodensitometrie (HD) .....                               | 37 |
| 2.2.2.2.2 Air Displacement Plethysmographie (ADP) .....               | 37 |
| 2.2.2.2.3 Vor- und Nachteile von HD und ADP .....                     | 39 |
| 2.2.2.3 Isotopendilution .....                                        | 40 |
| 2.2.2.4 Dual Energy X-Ray Absorptiometrie .....                       | 41 |
| 2.2.2.5 Neutronenaktivierungsanalyse.....                             | 43 |
| 2.2.2.6 Bildgebende Verfahren: CT, MRT, Ultraschall .....             | 43 |
| 2.2.2.7 Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) .....                    | 44 |
| 2.2.2.8 Hautfaltendickemessung .....                                  | 48 |
| 2.2.2.9 Infrarot-Spektroskopie .....                                  | 52 |
| 2.2.2.10 Zusammenfassung der Untersuchungsmethoden.....               | 53 |
| 2.2.2.11 Überblick über aktuelle Validierungsstudien der BIA.....     | 54 |

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 3. ZIEL- UND PROBLEMSTELLUNG .....                                     | 56 |
| 4. GRUNDLAGEN DER 3D KÖRPERSCANTECHNOLOGIE .....                       | 58 |
| 4.1 Einsatzgebiete.....                                                | 59 |
| 4.2 Technische Aspekte .....                                           | 62 |
| 4.3 Genauigkeit und Präzision.....                                     | 64 |
| 4.3.1 Messgenauigkeit.....                                             | 65 |
| 4.3.2 Präzision.....                                                   | 67 |
| 4.3.3 Einflussfaktoren auf Messgenauigkeit und Präzision.....          | 68 |
| 4.3.4 Zusammenfassung .....                                            | 71 |
| 5. MODELLENTWICKLUNG.....                                              | 73 |
| 5.1 Parameter und ihre Aussagekraft.....                               | 73 |
| 5.1.1 Geschlecht.....                                                  | 74 |
| 5.1.2 Alter .....                                                      | 75 |
| 5.1.3 BMI .....                                                        | 75 |
| 5.1.4 Bauchumfang/Hüftumfang .....                                     | 76 |
| 5.2 Mathematische Modellierung.....                                    | 78 |
| 5.3 Empirie.....                                                       | 79 |
| 5.3.1 Methodik .....                                                   | 79 |
| 5.3.1.1 Probanden/innen .....                                          | 79 |
| 5.3.1.2 Messmethoden.....                                              | 79 |
| 5.3.1.2.1 Anthropometrie .....                                         | 80 |
| 5.3.1.2.2 Lungenfunktionsmessung .....                                 | 80 |
| 5.3.1.2.3 Bioelektrische Impedanzanalyse.....                          | 81 |
| 5.3.1.2.4 Nahinfrarot-Spektroskopie.....                               | 81 |
| 5.3.1.2.5 3D Ganzkörperscan .....                                      | 81 |
| 5.3.2 Statistische Datenanalyse.....                                   | 82 |
| 5.3.2.1 Grundprinzip der multiplen linearen Regression .....           | 83 |
| 5.3.2.2 Gütekriterien.....                                             | 84 |
| 5.3.2.2.1 Streudiagramm .....                                          | 84 |
| 5.3.2.2.2 Pearson Produkt-Moment Korrelationskoeffizient.....          | 85 |
| 5.3.2.2.3 Bestimmtheitsmaß .....                                       | 85 |
| 5.3.2.2.4 Residuen.....                                                | 85 |
| 5.3.2.3 Prüfung auf Ausreißer und/oder einflussreiche Datensätze ..... | 86 |

|                                                            |     |
|------------------------------------------------------------|-----|
| 5.3.2.4 Variablenselektion und Modellformulierung .....    | 89  |
| 5.3.2.4.1 Wahl des Regressionsmodells für Männer .....     | 90  |
| 5.3.2.4.2 Wahl des Regressionsmodells für Frauen.....      | 92  |
| 5.3.2.5 Modellentwicklung Männer .....                     | 95  |
| 5.3.2.5.1 Prüfung der Regressionsfunktion .....            | 95  |
| 5.3.2.5.2 Prüfung der Regressionskoeffizienten.....        | 96  |
| 5.3.2.5.3 Prüfung der Modellvoraussetzungen.....           | 97  |
| 5.3.2.5.4 Kreuzvalidierung .....                           | 100 |
| 5.3.2.5.5 Übereinstimmung der Messmethoden.....            | 101 |
| 5.3.2.6 Modellentwicklung Frauen.....                      | 103 |
| 5.3.2.6.1 Prüfung der Regressionsfunktion .....            | 104 |
| 5.3.2.6.2 Prüfung der Regressionskoeffizienten.....        | 105 |
| 5.3.2.6.3 Prüfung der Modellvoraussetzungen.....           | 106 |
| 5.3.2.6.4 Kreuzvalidierung .....                           | 111 |
| 5.3.2.6.5 Übereinstimmung der Messmethoden.....            | 112 |
| 5.3.3 Zusammenfassung der statistischen Datenanalyse ..... | 113 |
| 5.4 Diskussion und Ausblick.....                           | 115 |
| LITERATURVERZEICHNIS.....                                  | 117 |
| ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....                                 | 124 |
| TABELLENVERZEICHNIS.....                                   | 125 |
| ANHANG .....                                               | 127 |



# 1. EINLEITUNG

Der Mensch steht seit geraumer Zeit im Fokus der Wissenschaften, nicht zuletzt, weil er sich in einer engen Wechselwirkung mit seiner Umwelt befindet und seine gesamte funktionelle Organisation dahingehend ausgerichtet ist. Er gilt als komplexer Organismus, der Reize und Informationen aus seiner Umgebung wahrnimmt und auf seine Umwelt reagiert. Die Systeme, mit denen der Mensch funktioniert, um mit seiner Umwelt in Kontakt zu treten, können nur aufrechterhalten werden, wenn bestimmte Voraussetzungen erfüllt sind. So müssen beispielsweise ausreichend Nährstoffe für den Stoffwechsel zur Verfügung stehen, damit das Nervensystem mit seinem zentralen Bestandteil, dem Gehirn, einwandfrei arbeiten kann (Speckmann & Wittkowski, 1998, S. 2). Der Mensch steht auch als soziales Wesen in Verbindung mit seiner Umgebung. Er durchläuft Prozesse menschlichen Erlebens und Verhaltens und stellt Beziehungen zu anderen Menschen her. Die wissenschaftliche Erforschung des Menschen und der menschlichen Entwicklung spiegelt sich in verschiedenen Menschenbildern wider, die sich im Laufe der Zeit gemeinsam mit den Erkenntnissen der Wissenschaft verändert haben. Ob nun der Mensch als passiver Empfänger von Entwicklungsreizen oder als aktiver Gestalter seines Lebens gesehen wird (Preiser & Dresel, 2003, S. 25f, 204), das Forschungsfeld Mensch ist Gegenstand zahlreicher literarischer Werke sowie etlicher Forschungsarbeiten, welche verschiedene Aspekte des Menschen untersuchen.

Nicht allein die Medizin und die Sozialwissenschaften erforschen den Menschen auf Basis ihrer jeweiligen Forschungsschwerpunkte, auch die Geistes- und Naturwissenschaften haben ein grundlegendes Interesse am Forschungsfeld Mensch. Die Erkenntnisse der einzelnen Wissenschaftsdisziplinen beschreiben diesen komplexen Organismus nur nie als Ganzes. Grenzen, die bei der Erforschung des Menschen zu Tage treten, geben den Anstoß für neue Forschungsansätze, sowie den Impuls für die Entwicklung und den Einsatz neuer Untersuchungsmethoden. Der Mensch wird immer häufiger von Wissenschaftsdisziplinen in interdisziplinärer Zusammenarbeit untersucht, um das Potenzial, das er als Forschungsfeld für die Wissenschaft darstellt, besser ausschöpfen zu können. Dies gilt auch für die vorliegende wissenschaftliche Arbeit, welche grob betrachtet darauf abzielt, einen konkreten wissenschaftlichen Aspekt des Menschen interdisziplinär zu untersuchen und dadurch besser verstehbar bzw. greifbar zu machen: die Bestimmung der Körperkonstitution des Menschen.

## 1.1 Motivation

Das Forschungsfeld Mensch wird von einer medizinischen als auch von einer biomechanischen Perspektive beleuchtet, um im Zuge dessen dem/der Leser/in die Komplexität der gesamten Thematik zu verdeutlichen. Eine klare Definition des Forschungsschwerpunktes ist an dieser Stelle unerlässlich, um eine wissenschaftliche Analyse aus zwei verschiedenen Blickwinkeln durchführen zu können. Der Forschungsschwerpunkt legt grundsätzlich fest, welcher Aspekt genauer erforscht werden soll. Am Beispiel des Forschungsfeldes Mensch können die Persönlichkeit, die kleinsten Vorgänge innerhalb einer Zelle oder etwa die Mechanik in den Gelenken Schwerpunkte darstellen. In der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit wird die Körperkonstitution des Menschen als Forschungsschwerpunkt gewählt, da sowohl die Medizin als auch die Biomechanik vom Erscheinungs-, Funktions- und Leistungsgefüge des Menschen (Beyer, 1992, S. 330) wertvolle Erkenntnisse ableiten können. Bevor jedoch konkrete Aussagen getroffen werden können, muss im Bewusstsein erst eine Vorstellung davon entstehen, was notwendig ist, um die Konstitution eines Menschen zu beschreiben. Eine rein optische Betrachtung oder Beschreibung der Körperkonstitution ist für wissenschaftliche Analysen weder zweckdienlich, noch in irgendeiner Form verwertbar. Ein Rückschluss auf die Körperkonstitution eines Menschen ist vor allem dann möglich, wenn der Mensch, in seine kleinsten Bestandteile zerlegt, betrachtet wird. Jener Wissenschaftszweig, der eine solche Betrachtung des Menschen erlaubt, beschäftigt sich mit der Bestimmung der Körperzusammensetzung. Erst das Wissen um die Parameter, aus denen der Mensch zusammengesetzt ist sowie die Kenntnis über verschiedene Messmethoden zur Ermittlung dieser Parameter, ermöglichen eine gut fundierte Herangehensweise zur genauen Untersuchung der Körperkonstitution.

Forscher/innen und Entwickler/innen aus unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen beschäftigen sich bereits seit geraumer Zeit mit der Erforschung der Körperzusammensetzung, denn das Wissen um die Parameter des Körpers kann aus unterschiedlichen Gründen von Interesse sein. Die Entwicklungspsychologie profitiert von diesem Wissen, weil der Entwicklungsverlauf in der Bevölkerung anhand ausgewählter Parameter relativ einfach beobachtet und quantitativ erfasst werden kann. Auch ist es möglich, anhand der Körperzusammensetzung auf den Lebensstandard einer Bevölkerung zu schließen und daraus wesentliche prophylaktische und/oder therapeutische Maßnahmen im Gesundheitsbereich zu treffen. Fachleute, die im Gesundheits- und/oder Fitnessbereich tätig sind, verwenden ausgewählte Parameter der Körperzusammensetzung auch um das optimale Körpergewicht ihrer Klienten/innen zu

definieren. Die frühe Identifikation von Gesundheitsrisiken durch die Beobachtung von Veränderungen in der Körperzusammensetzung wird vor allem im medizinischen Bereich genutzt (Heyward & Wagner, 2004, S. 3f). Für Mediziner/innen ist oftmals eine Beurteilung der Körperzusammensetzung wesentlich, um mögliche Pathologien zu erkennen und um darauf entsprechend reagieren zu können. Beispielsweise wird bei alten oder chronisch kranken Menschen eine Veränderung der Körperzusammensetzung häufig nicht entdeckt, wenn das Körpergewicht unverändert bleibt (Speckmann, Hescheler & Köhling, 2008, S. 587). Die Bestimmung von Parametern der Körperzusammensetzung kann diesem Problem gezielt entgegenwirken. Mittlerweile haben auch Textil- und Schuhindustrie ein grundlegendes Interesse an der Körperzusammensetzung entwickelt, um ihr breites Angebot auf die Bedürfnisse der Bevölkerung abstimmen zu können. In der Sportwissenschaft wird die Beurteilung der Körperzusammensetzung eingesetzt, um einen Bezug zum Gesundheits- und Ernährungszustand des/der Sportlers/in herzustellen und daraus Maßnahmen für Training und Wettkampf zu entwickeln.

Die Körperzusammensetzung ist auch von persönlichem Interesse, vor allem wenn Unzufriedenheit mit einzelnen Körperparametern herrscht. Da körperbauliche Merkmale wie beispielsweise die Länge des Oberarms oder der Kopfumfang nicht willkürlich beeinflussbar sind, gewinnen äußere Erscheinungsmerkmale, wie Hüft- oder Bauchumfang, zunehmend an Aufmerksamkeit. Durch deren Vermessung erhalten wir jedoch keine klare Information darüber, wie hoch Körperfettanteil und Anteil der fettfreien Masse sind (Schlicht & Brand, 2007, S. 36). Die Körperzusammensetzung wird auch durch den Body Mass Index<sup>1</sup> nicht eindeutig definiert. Dieser wird der Einfachheit halber sehr häufig als Maß herangezogen, um das Ausmaß der Fettleibigkeit eines Menschen zu beurteilen. Der errechnete Wert berücksichtigt allerdings nur Körpermasse und Körperhöhe und gibt keine Auskunft darüber, in welchem Verhältnis der Körperfettanteil zur fettfreien Masse steht. Das Ziel vieler Wissenschaftler/innen, valide Labor- und Feldmethoden zur Bestimmung des individuellen Körperfettanteils zu entwickeln (Heyward & Wagner, 2004, S. 3f), ist daher berechtigt. Mittlerweile gibt es eine Vielzahl an Messmethoden, die allesamt unterschiedliche Vor- und Nachteile aufweisen.

Im Zuge dieser wissenschaftlichen Arbeit wird versucht, eine neue Methode zur Bestimmung des individuellen Körperfettanteils zu entwickeln, um die Forschung im Bereich Körperfettanalysen voranzutreiben. Es soll ein Verfahren entwickelt werden, mit welchem die Nachteile anderer Verfahren umgangen werden können.

---

<sup>1</sup> Körpermasse(kg) / Körperhöhe(m)<sup>2</sup> (Heyward & Wagner, 2004, S. 4)

## 1.2 Überblick über die Arbeit

Gesamt betrachtet ist die vorliegende wissenschaftliche Arbeit sehr umfassend, geht jedoch ausschließlich dort ins Detail, wo Notwendigkeit gegeben ist. Aufgrund der Komplexität der Grundthematik wird besonders darauf geachtet, zugrunde liegende Hintergründe aufzudecken, um ein grundlegendes Verständnis zu schaffen. Daher werden drei große Kernkomponenten besonders hervorgehoben, wovon die ersten beiden den theoretischen Teil bilden und die dritte Komponente den empirischen Teil darstellt.

Die erste Komponente behandelt die Grundlagen der Körperzusammensetzung. Der Mensch wird aus einer medizinischen Perspektive betrachtet und hinsichtlich der Bestandteile seines Körpers erforscht. Im Zuge dessen werden die theoretischen Modelle einiger ausgewählter Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung mit ihren Vor- und Nachteilen präsentiert. Die zweite Komponente erörtert die Grundlagen der 3D Ganzkörperscantentechnologie. Der Einsatz dieser potenziell brauchbaren Methode aus dem Bereich der Biomechanik sowie deren Anwendungsfelder und Messmethoden werden vorgestellt. Im theoretischen Teil erlangt der/die Leser/in ein grundlegendes Basiswissen, das den Prozess der Entwicklung eines neuen theoretischen Modells nachvollziehbar macht. Die Modellentwicklung ist Inhalt der dritten Komponente dieser wissenschaftlichen Arbeit. In diesem empirischen Teil wird zu Beginn die 3D Scan Studie der Universität Wien vorgestellt, welche im Sommer 2010 in Kooperation mit der Firma Human Solutions/Vitronic durchgeführt wurde. Ausgewählte Parameter werden dieser Studie entnommen und für die statistische Datenanalyse verwendet. Das Modell zur Vorhersage des Körperfettgehalts aus den Werten eines 3D Ganzkörperscanners wird mittels der multiplen linearen Regressionsanalyse entwickelt und geprüft. Im Anschluss wird dieses Vorhersagemodell kritisch beleuchtet und ausführlich diskutiert. Die Frage, ob das Modell eine Vorhersage des Körperfettanteils auch in der Grundgesamtheit ermöglicht, wird untersucht.



## 2. GRUNDLAGEN DER KÖRPERZUSAMMENSETZUNG

Aus welchen Bestandteilen setzt sich der menschliche Körper zusammen? Wie viele Komponenten gibt es und in welcher Beziehung stehen sie zueinander? Welche Methoden können eingesetzt werden, um sie zu bestimmen und wie wirken äußere Faktoren auf diese Bestandteile? Die Forschung rund um die Körperzusammensetzung hat sich die Beantwortung dieser Fragen zum Ziel gesetzt. Als eigenständiger Wissenschaftszweig der Humanbiologie beschäftigt sie sich mit den quantitativ erfassbaren Charakteristiken und Komponenten des menschlichen Körpers (Wang, Wang & Heymsfield, 1999, S. 161).

Bereits im Jahre 440 vor Christus versuchten Wissenschaftler/innen den menschlichen Körper zu erfassen. Die Griechen waren die Ersten, die ihre Annahmen konkretisierten. Sie gingen davon aus, dass der Mensch aus denselben Elementen zusammengesetzt ist wie das Universum, aus Feuer, Wasser, Luft und Erde (Schultz, 2002, S. 175). Die Hypothese, der Mensch bestünde aus Metall, Holz, Wasser, Feuer und Erde, wurde etwa zur selben Zeit im fernen China aufgestellt (Wang et al., 1999, S. 157). Die Entwicklung experimentell gestützter Konzepte begann allerdings erst im 2. Jahrhundert nach Christus mit der Analyse von tierischen Kadavern.

Als moderne Wissenschaft hat die Erforschung der Körperzusammensetzung eine ca. 160 Jahre alte Geschichte, in der Untersuchungen an menschlichen Kadavern die wichtigste Informationsquelle darstellten. In den Jahren 1843 bis 1876 wurde von Schwann, Bischoff und Fehling der Wassergehalt des menschlichen Körpers untersucht sowie menschliche Organe hinsichtlich ihrer Beschaffenheit analysiert. Von Liebig, ein bedeutender deutscher Chemiker, kam im Jahre 1850 zu der Erkenntnis, dass Substanzen aus der Nahrung auch im Körper nachweisbar sind. Seine Arbeit gilt bis heute als richtungsweisend für zahlreiche nachfolgende Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Körperzusammensetzung (Wang et al., 1999, S. 157f). Am lebenden Organismus forschten zum ersten Mal Schaffer und Coleman im Jahre 1909, indem sie vom Kreatiningehalt im Harn auf die Skelettmuskelmasse schlossen (Wang et al., 1999, S. 158). Als Meilenstein in der Geschichte gilt bis heute die Methode des Unterwasserwiegens von Behnke aus dem Jahre 1942. Sie wird als die erste in vivo<sup>2</sup>-Methode zur Bestimmung der relativen Anteile von Fettmasse und fettfreier Masse bezeichnet (Shen, St-Onge, Wang & Heymsfield, 2005, S. 5).

---

<sup>2</sup> am lebenden Organismus (Reiche, 2006, S. 943)

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich die Erforschung des Menschen hinsichtlich seiner Bestandteile sehr weit in unsere Vergangenheit zurückverfolgen lässt (Shen et al., 2005, S. 1). Namhafte Persönlichkeiten und hochkarätige Experten haben mit ihren Forschungsarbeiten wesentlich zur Entwicklung des derzeitigen Wissensstandes rund um die Bestimmung der Körperzusammensetzung beigetragen (Wang, Pierson & Heymsfield, 1992, S. 19). Allein seit dem Jahre 1850 hat sich dermaßen viel Wissen angesammelt, dass es durchaus sinnvoll ist, dieses Wissen in Kategorien zu gliedern. Die Erforschung der Körperzusammensetzung ist laut Shen et al. (2005, S. 3f) und Wang et al. (1992, S. 19f) in drei Kategorien gegliedert, welche in Abbildung 1 dargestellt sind.

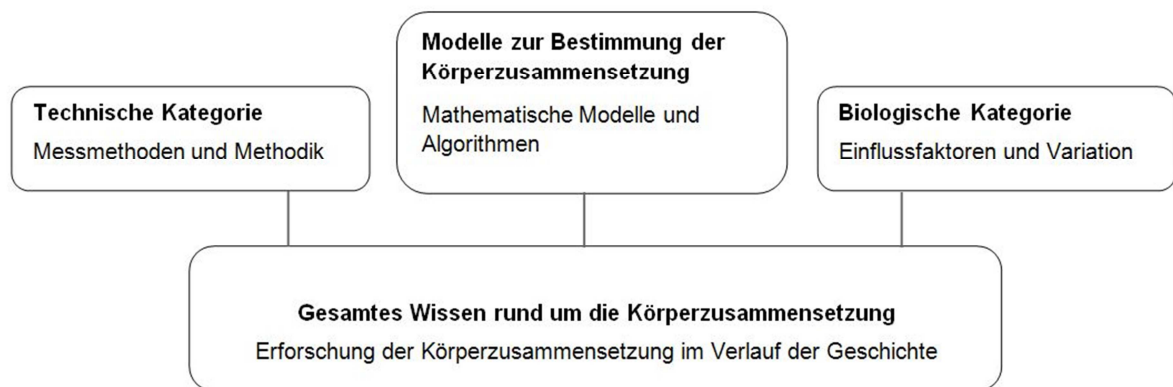


Abb. 1: Die Erforschung der Körperzusammensetzung, unterteilt in drei Kategorien (modifiziert nach Shen et al., 2005, S. 3 und Wang et al., 1992, S. 19)

Mittlerweile gibt es zahlreiche Möglichkeiten, einzelne Komponenten des menschlichen Körpers zu bestimmen. Die technische Kategorie umfasst alle bisher entwickelten Methoden zur Bestimmung der Parameter des menschlichen Körpers (Shen et al., 2005, S. 3). Die biologische Kategorie beinhaltet das Wissen um den Einfluss äußerer und innerer Faktoren auf die Körperzusammensetzung. Beispielsweise können Alter, Geschlecht und körperliche Aktivität Veränderungen der Körperzusammensetzung zur Folge haben und/oder diese nachhaltig beeinflussen (Wang et al., 1992, S. 19).

Laut Wang et al. (1992, S. 19) vernachlässigen diese beiden Kategorien jedoch die Tatsache, dass die verschiedenen Methoden ausschließlich über mathematische Modelle auf die Körperzusammensetzung schließen. Das erste historisch überlieferte und experimentell gestützte Modell wurde im Jahre 1921 von Matiegka entwickelt. Er errechnete die Körpermasse anhand der Summe der fünf Hauptkomponenten Knochen, Fettmasse, Muskelmasse, Organe sowie Gewebe (Shen et al., 2005, S. 5). Allerdings können laut Shen et al. (2005, S. 5) etwa dreißig bis vierzig Hauptkomponenten im Körper

verzeichnet und in mathematische Modelle integriert werden. Die dritte Kategorie beschäftigt sich daher eingehend mit den Modellen zur Bestimmung der Körperzusammensetzung. Laut Wang et al. (1992, S. 19) kann in dieser Kategorie die Körperzusammensetzung auf fünf verschiedenen Ebenen untersucht werden. Dieses zentrale Modell ist auch als „Five-Level Model“ bekannt (Shen et al., 2005, S. 3f) und wird in Kapitel 2.2 vorgestellt. Die folgenden Kapitel 2.1 sowie 2.2 widmen sich eingehend dem theoretischen Hintergrundwissen, das aus diesen drei Kategorien geschöpft werden kann.

## **2.1 Die Bestandteile des Körpers**

Je nach Betrachtungsweise kann der menschliche Körper in unterschiedliche Bestandteile zerlegt werden. Um jedoch ein Verständnis für die Körperzusammensetzung zu entwickeln, muss vorbereitend ein Bewusstsein, nicht ausschließlich für die Existenz einzelner Bestandteile, sondern auch für die Problematik, die damit in Zusammenhang steht, geschaffen werden.

### **2.1.1 Problematik der Erforschung der Körperzusammensetzung**

Wissenschaftler/innen, die sich mit der Erforschung der Körperzusammensetzung beschäftigen, stoßen bei ihrer Arbeit immer wieder auf Barrieren, die auf inkonsistente Definitionen von Fachbegriffen zurückzuführen sind. Werden mehrere Literaturquellen verwendet, um einzelne Begriffe per Definition zu erörtern, so findet man sehr häufig unterschiedliche Auffassungen von den Begriffen *fettfreie Masse*, *Lean-Body-Mass* und *lipidfreie Masse* (Wang et al., 1992, S. 19). Oft wird diesen drei Begriffen dieselbe Bedeutung zugeschrieben, obwohl sie in der Literatur unterschiedlich definiert werden. Abbildung 2 verdeutlicht dies beispielhaft in Anlehnung an Wang et al. (1992, S. 21) und Heyward und Wagner (2004, S. 5). Die linke Grafik zeigt, dass im Begriff *fettfreie Masse* essenzielle Lipide inkludiert sind, in der rechten Grafik werden jedoch die Lipide von der fettfreien Masse zur Gänze ausgeschlossen.

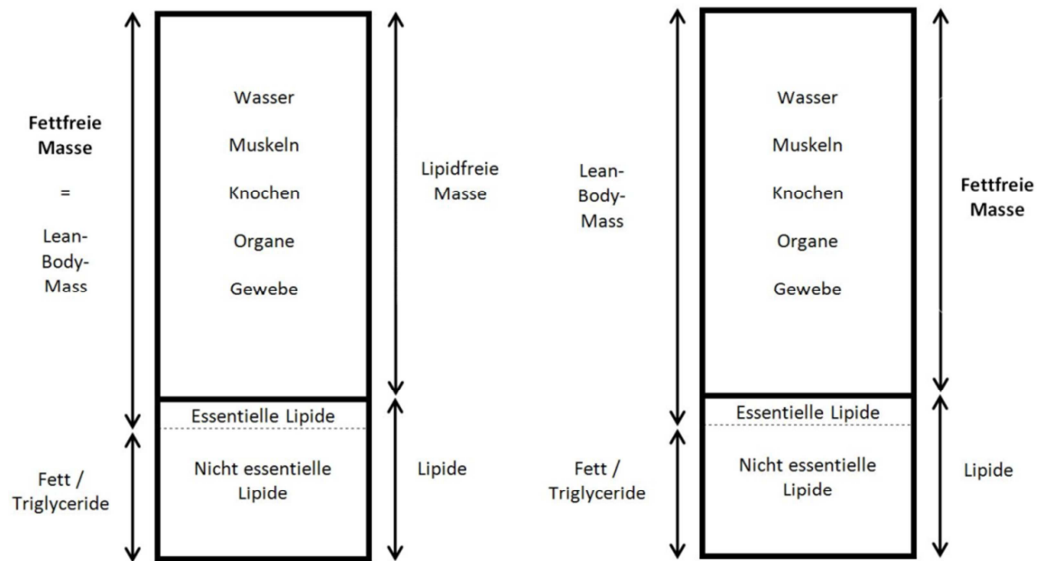


Abb. 2: Unterschiedliche Definitionen des Begriffs fettfreie Masse von Wang et al. in der linken Grafik und Heyward und Wagner in der rechten Grafik (modifiziert nach Wang et al., 1992, S. 21 und Heyward & Wagner, 2004, S. 5)

Ein weiterer Irrtum ist beispielsweise die synonyme Verwendung der Begriffe *Fette* und *Lipide*. Fette sind zu 98 % in Nahrungslipiden<sup>3</sup> enthalten (Rehner & Daniel, 2010, S. 222) und werden großteils über die Nahrung aufgenommen. Sie werden aufgrund ihrer chemischen Beschaffenheit auch Triglyceride genannt, da sie sich aus dem dreiwertigen Alkohol Glycerin und drei höheren Fettsäuren zusammensetzen. Jene Nahrungsfette, die der Körper nicht für den Stoffwechsel benötigt, werden in sogenannten Fettdepots in Form von Triglyceridmolekülen innerhalb der Fettzellen gespeichert (Bartels & Bartels, 2004, S. 16f). Diese Fettdepots im Unterhautgewebe und im Bereich der Eingeweide dienen als Wärmeisolatoren und stehen als Energiereserve zur Verfügung (Pschyrembel, 1998, S. 331). Der Begriff *Lipide* ist laut Pschyrembel (1998, S. 932) eine Bezeichnung für eine große, chemisch heterogene Gruppe organischer Substanzen, die nicht in Wasser löslich sind. Man unterscheidet essenzielle von nichtessenziellen Lipiden, wobei essenzielle Lipide die Grundlage für wichtige Funktionen darstellen, wie beispielsweise den Aufbau der Zellmembran. Fette bzw. nicht essenzielle Lipide stellen daher eine Unterkategorie der Lipide dar und machen ca. 90 % des gesamten Lipidgehalts im Körper eines Erwachsenen aus.

<sup>3</sup> Lipide, die aus der Nahrung aufgenommen werden, die restlichen 2 % davon sind Cholesterin und Phospholipide (Rehner & Daniel, 2010, S. 222)

Eine ähnliche Problematik stellten Shen et al. (2005, S. 13) auch bei den Begriffen *Fett* und *adipöses Gewebe* fest. Im herkömmlichen Sprachgebrauch werden diese beiden Begriffe häufig synonym verwendet, obwohl sie bei näherer Betrachtung zwei unterschiedliche Komponenten darstellen. *Fette*, oder auch Triglyceride genannt, findet man einerseits intrazellulär, beispielsweise in der Leber, im Skelettmuskel oder in den Fettdepots des Unterhautgewebes, andererseits extrazellulär in Form von sogenannten Lipoproteinen<sup>4</sup> im Blutkreislauf. Mit dem Begriff *Fett* werden grundsätzlich Fettzellen assoziiert, die lediglich einen Teil des adipösen Gewebes bilden. Adipöses Gewebe besteht nicht ausschließlich aus Fett, sondern auch aus extrazellulärer Flüssigkeit, Nerven sowie aus Blutgefäßen (Shen et al., 2005, S. 13).

Oft werden auch die Begriffe *Ganzkörperflüssigkeit* und *Ganzkörperwasser* sinngemäß nicht voneinander getrennt. Wang et al. (1992, S. 23) haben in diesem Fall herausgearbeitet, wie die beiden Begriffe definiert werden können. In Abbildung 3 ist deutlich erkennbar, dass unter dem Begriff *Ganzkörperwasser* (TBW) ausschließlich das intrazelluläre sowie das extrazelluläre Wasser (ICW und ECW) verstanden wird. Inkludiert man die nichtwässrigen intrazellulären und extrazellulären festen Bestandteile (Ri und Re), so wird der Begriff *Ganzkörperflüssigkeit* (TBF) verwendet (Wang et al., 1992, S. 23).

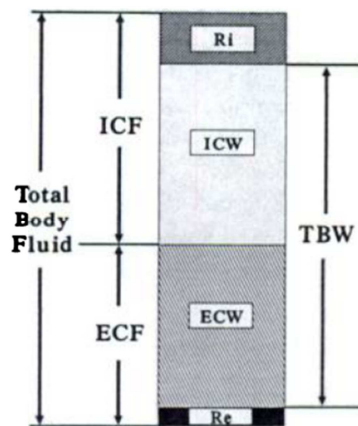


Abb. 3: Verhältnis zwischen Ganzkörperflüssigkeit und Ganzkörperwasser (Wang et al., 1992, S. 23)

Diese Beispiele zeigen, dass ein und derselbe Begriff unterschiedliche Auffassungen zugrunde liegen können. Werden ähnliche Begriffe synonym verwendet, so treten spätestens dann Probleme auf, wenn Ergebnisse aus verschiedenen wissenschaftlichen Studien miteinander verglichen werden (Koula-Jenik, Kraft, Miko & Schulz, 2006, S. 274). Bedenkt man nun, dass bereits zahlreiche mathematische Modelle anhand einzelner,

<sup>4</sup> Hauptaufgabe der Lipoproteine: Transport von Blutfetten (VLDL, LDL, HDL) (Pschyrembel, 1998, S. 934)

möglicherweise falsch definierter Parameter entwickelt wurden, wird die Wichtigkeit von eindeutigen Definitionen und einheitlichen Terminologien noch deutlicher (Wang et al., 1992, S. 19).

### 2.1.2 Terminologie

Auf den folgenden Seiten werden die wichtigsten Begriffe und ihre Definitionen in deutscher sowie in englischer Sprache zusammengefasst vorgestellt. Dabei erhält der/die Leser/in eine realistische Einschätzung bezüglich der vorhandenen Vielfalt an unterschiedlichen Definitionen von ein und denselben Begriffen. Darüber hinaus hat er/sie die Möglichkeit, sich ein fundiertes Basiswissen für die spätere Auseinandersetzung mit den Modellen der Körperzusammensetzung anzueignen.

| Deutscher Term          | Englischer Term       | Definition                                                                             | Quelle                           |
|-------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Körpermasse (KM)        | Body weight           | Lipide (nicht essentielle und essentielle) + Wasser + Proteine + Mineralien + Glycogen | Wang et al., 1992, S. 22         |
| Trockene Körpermasse    | Dry Body weight       | Lipide (nicht essentielle und essentielle) + Proteine + Mineralien + Glycogen          | Wang et al., 1992, S. 22         |
| Körpermasse (KM)        | Body Mass (BM)        | Gemessenes Gewicht des Körpers, Körpergewicht                                          | Heyward & Wagner, 2004, S. 5     |
| Körpermasse (KM)        | Body Mass (BM)        | Masse des gesamten intakten Organismus                                                 | Koula-Jenik et al., 2006, S. 275 |
| Körpermassenindex (KMI) | Body Mass Index (BMI) | Körpermasse (kg) / Körperhöhe (m <sup>2</sup> )                                        | Wang et al., 1992, S. 22         |

Tab. 1: Terminologie: Körpermasse

Der Begriff *Körpermasse* wird im Grunde sehr einheitlich verwendet. Die drei Definitionen lassen keine fälschlichen Interpretationen zu, weil sie lediglich aus unterschiedlichen Auffassungen resultieren.

| Deutscher Term           | Englischer Term      | Definition                                                                                                               | Quelle                       |
|--------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Lipide                   | Lipids               | Alle extrahierbaren Lipide aus den Geweben, essenzielle und nicht essenzielle Lipide                                     | Wang et al., 1992, S. 21     |
| Essenzielle Lipide       | Essential lipids     | Zusammengesetzte Lipide – Phospholipide, essentiell für den Aufbau der Zellmembran, ca. 10% des Gesamt-Körperfettgehalts | Heyward & Wagner, 2004, S. 5 |
| Essenzielle Lipide       | Essential lipids     | Kein Speicherfett, z.B. in Membranen                                                                                     | Müller et al., 2007, S. 30   |
| Nicht essenzielle Lipide | Non essential lipids | Speicherfett im Fettgewebe                                                                                               | Müller et al., 2007, S. 30   |
| Nichtessenzielle Lipide  | Non essential lipids | Triglyceride, hauptsächlich vorkommend in adipösem Gewebe, ca. 90% des Gesamt-Körperfettgehalts                          | Heyward & Wagner, 2004, S. 5 |

Tab. 2: Terminologie: Lipide

Der Begriff *Lipide* ist in der Literatur ebenfalls sehr einheitlich definiert, wodurch einer synonymen Verwendung mit dem Begriff Fett vorgebeugt wird.

| Deutscher Term        | Englischer Term           | Definition                                                                                                                             | Quelle                                                         |
|-----------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Fett                  | Fat, non essential Lipids | Triglyceride, ca. 90% aller Lipide                                                                                                     | Wang et al., 1992, S. 21                                       |
| Fettmasse (FM)        | Fat, Fat Mass             | Alle extrahierbaren Lipide aus adipösen Geweben oder anderen Geweben im Körper                                                         | Heyward & Wagner, 2004, S. 5                                   |
| Körperfettmasse (KFM) | Body Fat Mass (BFM)       | Menge der Triglyceride im Körper                                                                                                       | Müller et al., 2007, S. 30<br>Koula-Jenik et al., 2006, S. 275 |
| Adipöses Gewebe       | Adipose tissue Mass       | Fett (Triglyceride) + unterstützende Strukturen (Proteine und Wasser)<br>Adipozyten + extrazelluläre Flüssigkeit + Nerven + Blutgefäße | Heyward & Wagner, 2004, S. 5<br>Shen et al., 2005, S. 13       |
| Fettgewebe            | Adipose tissue            | Fett + Eiweiß + Wasser                                                                                                                 | Müller et al., 2007, S. 30<br>Koula-Jenik et al., 2006, S. 275 |
| Relatives Körperfett  | Relative body Fat (%BF)   | Fettmasse / Körpergewicht · 100                                                                                                        | Heyward & Wagner, 2004, S. 5                                   |

Tab. 3: Terminologie: Fette

Der Begriff *Fett* und seine Wortvariationen können grundsätzlich nicht synonym verwendet werden, weil ihnen per Definition unterschiedliche Bedeutungen zugeschrieben werden. In der Praxis kann eine klare Definition dieser Begriffe ausschlaggebend für ein richtiges oder falsches Untersuchungsergebnis sein.

| Deutscher Term         | Englischer Term                              | Definition                                                                                                    | Quelle                                                         |
|------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Lipidfreie Masse (LFM) | Lipid-free Mass                              | Chemische Bestandteile und Strukturen des Körpers: Wasser, Muskeln, Knochen, Organe und Gewebe – keine Lipide | Wang et al., 1992, S. 21                                       |
| Fettfreie Masse (FFM)  | Fat free Mass (FFM) or Fat free Body (FFB)   | Alle lipid-freien Chemikalien + alle Gewebe inklusive Wasser, Muskeln, Knochen, Organe                        | Heyward & Wagner, 2004, S. 5                                   |
| Fettfreie Masse (FFM)  |                                              | Lean Body Mass + nicht-Fettanteile des Fettgewebes                                                            | Müller et al., 2007, S. 30<br>Koula-Jenik et al., 2006, S. 275 |
| Fettfreie Masse (FFM)  | Lean Body Mass (LBM)                         | Wasser, Proteine, Mineralien, Glycogen + essenzielle Lipide                                                   | Wang et al., 1992, S. 21 und S. 22                             |
| Magermasse             | Lean Body Mass (LBM) oder Fat-free Body Mass | Fettfreie Masse + essenzielle Lipide                                                                          | Heyward & Wagner, 2004, S. 5                                   |
| Magermasse             | Lean Body mass (LBM)                         | Nicht-Fettgewebs-Körpermasse                                                                                  | Müller et al., 2007, S. 30<br>Koula-Jenik et al., 2006, S. 275 |

Tab. 4: Terminologie: Magermasse und fettfreie Masse

Hier weichen die Begriffsdefinitionen der Autorengruppen eindeutig voneinander ab. Es ist nicht klar definiert, ob die synonyme Verwendung von *Lean Body Mass* und *fettfreie Masse* oder *fettfreie Masse* und *lipidfreie Masse* zulässig ist.



| Deutscher Term         | Englischer Term        | Definition                                                                                                                                                                                    | Quelle                                                           |
|------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Ganzkörper-Wasser      | Total Body Water (TBW) | Intra- und extrazelluläres Wasser                                                                                                                                                             | Wang et al., 1992, S. 23                                         |
| Ganzkörper- Wasser     | Total Body Water (TBW) | Intra- und extrazelluläre Flüssigkeit                                                                                                                                                         | Heyward & Wagner, 2004. S. 5<br>Koula-Jenik et al., 2006, S. 276 |
| Ganzkörper-Flüssigkeit | Total Body Fluid       | Intra- und extrazelluläre Flüssigkeit = Intrazelluläres Wasser + intrazelluläre nicht wässrige feste Bestandteile + extrazelluläres Wasser + extrazelluläre nicht wässrige feste Bestandteile | Wang et al., 1992, S. 23                                         |

Tab. 5: Terminologie: Ganzkörperwasser & Ganzkörperflüssigkeit

In diesem Fall zeigt sich ganz klar, dass nicht in jeder Literatur zwischen den Begriffen *Ganzkörperwasser* und *Ganzkörperflüssigkeit* unterschieden wird.

| Deutscher Term                    | Englischer Term            | Definition                                                                                                                                                                     | Quelle                                                         |
|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Zellmasse                         | Cell Mass                  | Zellmasse inklusive Fettzellen                                                                                                                                                 | Wang et al., 1992, S. 23                                       |
| Körperzellmasse (KZM)             | Body cell Mass (BCM)       | Zellmasse inklusive nur jenen Fettzellen die aktiv am Stoffwechsel beteiligt sind, d.h. passives Baufett ist exkludiert                                                        | Wang et al., 1992, S. 23                                       |
| Körperzellmasse (KZM)             | Body cell Mass (BCM)       | Zellen inklusive des intrazellulären Wassers (ISF+ICS)<br><br>Lean Body mass exklusive extrazellulärem Wasser inklusive den festen extrazellulären Bestandteilen (LBM-EZW+ECS) | Müller et al., 2007, S. 30<br>Koula-Jenik et al., 2006, S. 275 |
| Extrazelluläre Masse              | Extracellular Mass (ECM)   | Extrazelluläres Wasser (EZW) + feste extrazelluläre Bestandteile (ECS)                                                                                                         | Müller et al., 2007, S. 30<br>Koula-Jenik et al., 2006, S. 275 |
| Feste extrazelluläre Bestandteile | Extracellular Solids (ECS) | Knochenmasse, Faszien, Knorpel                                                                                                                                                 | Koula-Jenik et al., 2006, S. 275                               |

Tab. 6: Terminologie: Zellmasse

Der Begriff *Körperzellmasse* kann laut obigen Definitionen nicht synonym für den Begriff *Zellmasse* verwendet werden, da zwischen den aktiv und den passiv am Stoffwechsel beteiligten Fettzellen unterschieden werden kann. An diesem Beispiel ist gut ersichtlich, wie diese Begriffe in ihre Einzelteile zerlegt betrachtet werden können.

### **2.1.3 Schlussfolgerung**

Dieser Auszug aus dem terminologischen Repertoire der Grundlagen der Körperzusammensetzung verdeutlicht sehr gut, wie komplex sich die Thematik gestaltet. Die Fülle an Informationen, mit welcher die Bestandteile des menschlichen Körpers aufwarten, birgt allerdings die Gefahr in sich, darüber einen klaren Überblick zu verlieren. Aus diesem Grund werden im folgenden Kapitel die einzelnen Bestandteile in ihrer vereinten Form dargestellt und dem/der Leser/in als Modelle der Körperzusammensetzung vorgestellt. Die Kenntnis über die Terminologie gekoppelt mit dem Wissen um die Parameter der Körperzusammensetzung hat den Vorteil, dass die Auseinandersetzung mit den Modellen der Körperzusammensetzung und ihren Komponenten von einem kritischen Standpunkt aus erfolgen kann.

## **2.2 Modelle der Körperzusammensetzung**

Aufgrund der zahlreichen Komponenten, aus denen der menschliche Körper besteht, kann die Auffassung über seine Zusammensetzung unter verschiedenen Blickwinkeln erfolgen (Schutz, 2004, S. 10). Fasst man jene Bestandteile, die sich in ihrer chemischen Beschaffenheit, ihrer Funktionalität oder ihrer Struktur ähneln, in Gruppen zusammen, erhält man ein Bild vom menschlichen Körper, in dem diese verschiedenen Blickwinkel berücksichtigt werden. Laut Wang et al. (1992, S. 19f) kann die Körperzusammensetzung des Menschen auf fünf verschiedenen Ebenen dargestellt und untersucht werden. Die Darstellung in Abbildung 4 auf der nachfolgenden Seite zeigt die von Wang et al. (1992, S. 20) entwickelte Gliederung, auf die aufgrund ihrer praktischen Anwendbarkeit bis heute häufig zurückgegriffen wird.

Die fünf Ebenen von Wang et al. sowie die darin enthaltenen einzelnen Komponenten sind klar voneinander abgegrenzt. Konkret differenzieren Wang et al. zwischen Elementen, Molekülen, Zellen, Geweben sowie den äußeren Erscheinungsmerkmalen des Körpers (Wang et al., 1992, S. 20). Wang et al. liefern mit der Entwicklung des „Five-Level Models“ den Grundbaustein für weitere Gliederungsmöglichkeiten, weil die einzelnen Ebenen wiederum aus mehreren Komponenten bestehen, die in Anzahl und Ausmaß je nach Schwerpunkt der Betrachtungsweise variieren.

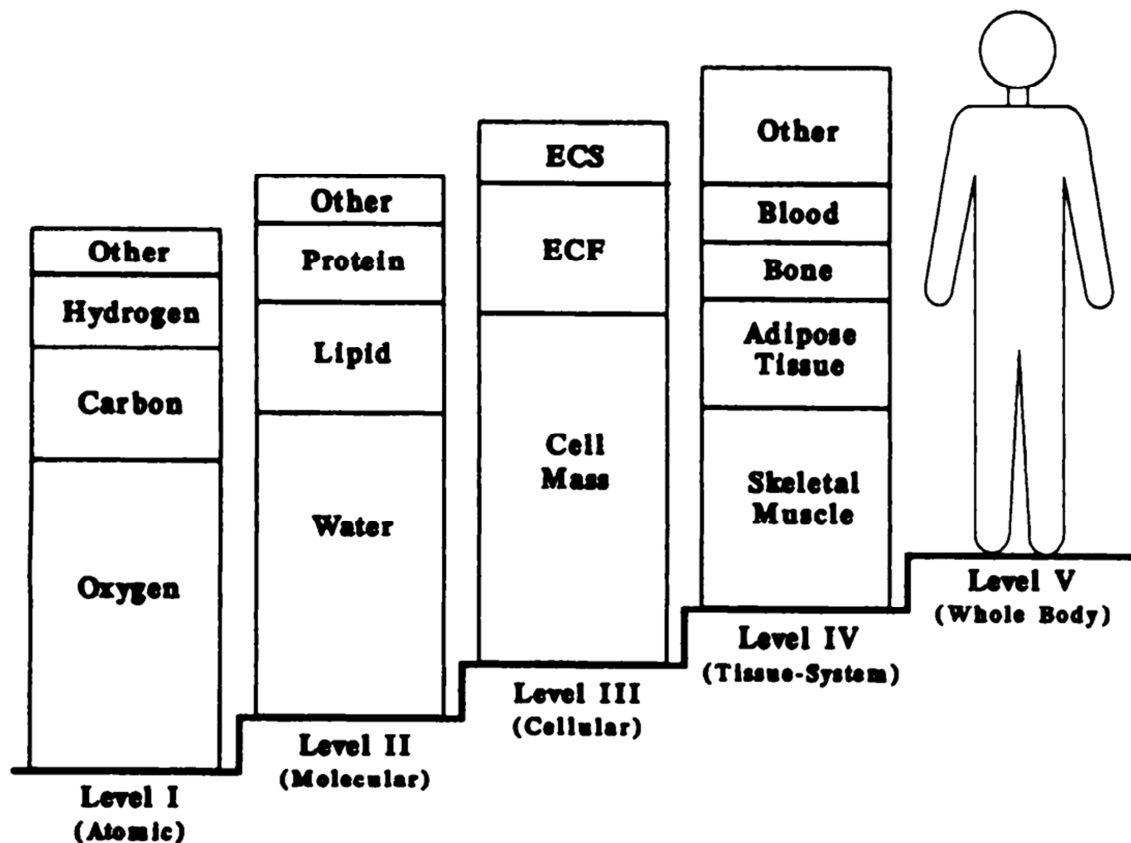


Abb. 4: Das „Five-Level Model“ von Wang et al. (Wang et al., 1992, S. 20)

Aufgrund dieses flexibel gestaltbaren Aufbaus können innerhalb jeder Ebene mehrere sogenannte Kompartiment-Modelle unterschieden werden. Kompartiment-Modelle definieren, welche spezifischen Komponenten innerhalb einer Ebene für die Berechnung der Gesamtkörpermasse herangezogen werden können. Man unterscheidet zwei oder drei Kompartiment-Modelle von Multi-Kompartiment-Modellen, wobei die Anzahl der verwendeten Komponenten je nach Relevanz für einzelne Wissenschaftsdisziplinen unterschiedlich ist.

Das nachfolgende Kapitel 2.2.1 gibt in Anlehnung an das „Five-Level Model“ von Wang et al. (1992, S. 20) einen detaillierten Überblick über diese fünf Ebenen und ihre Kompartiment-Modelle. Durch eine klare Abgrenzung der einzelnen Komponenten können Überschneidungen vermieden werden, was eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung von mathematischen Modellen ist. Dem/der Leser/in wird die Möglichkeit geboten, über den Vergleich von einzelnen Kompartiment-Modellen verschiedene Blickwinkel kennenzulernen.

### **2.2.1 Kompartiment-Modelle innerhalb des „Five-Level Models“**

Kompartiment-Modelle determinieren die wesentlichen Bestandteile innerhalb dieser fünf Ebenen. Das Ziel ist die Bestimmung der Gesamtkörpermasse (BM), errechnet durch die Summe der jeweiligen Komponenten. Da in jeder Ebene zwei, drei oder mehrere Hauptkomponenten unterschieden werden können, beeinflusst vor allem die Anzahl der Komponenten den methodischen Aufwand der Bestimmung der Gesamtkörpermasse. Die praktische Relevanz, die Aussagekraft für einzelne Wissenschaftsdisziplinen sowie das Vorhandensein valider Messmethoden entscheiden schlussendlich darüber, welche Komponenten innerhalb einer Ebene bei der Berechnung der Gesamtkörpermasse berücksichtigt werden. So reicht beispielsweise in der Adipositastherapie ein 2-Kompartiment-Modell aus, um das Verhältnis zwischen Fettmasse und fettfreier Masse aufzuzeigen. Mediziner/innen hingegen haben sehr wohl Interesse an der Verteilung von Muskel-, Fett- und Knochenmasse und somit an einem Multi-Kompartiment-Modell, weil sich aus Veränderungen einzelner Komponenten therapeutisch relevante Schlüsse ziehen lassen (Müller, Westenhöfer, Bosy-Westphal, Löser & Selberg, 2007, S. 30). Grundsätzlich gilt, je komplexer ein Kompartiment-Modell ist, desto größer ist auch seine Aussagekraft, die in der Erforschung der Körperzusammensetzung von Bedeutung sein kann.

#### **2.2.1.1 Die atomare Ebene: Level 1**

Die Gesamtkörpermasse wird in der atomaren Ebene durch eine bestimmte Anzahl von Atomen definiert. Von allen Atomen, die es gibt, sind ca. fünfzig im menschlichen Körper nachweisbar (Wang et al., 1992, S. 20), davon werden elf als Hauptkomponenten der atomaren Ebene zugeschrieben. Sauerstoff, Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff machen 96 % der Gesamtkörpermasse aus (Shen et al., 2005, S. 11). Rechnet man den Anteil von Calcium und Phosphor noch dazu, werden laut Wang et al. (1992, S. 20) sogar 98 % der Gesamtkörpermasse anhand dieser sechs Atome repräsentiert. Die restlichen 2 % der Gesamtkörpermasse resultieren hauptsächlich aus den Elementen Schwefel, Kalium, Natrium, Chlor und Magnesium (Wang et al., 1992, S. 20). Die nachfolgende Abbildung 5 zeigt, dass die Gesamtkörpermasse auf atomarer Ebene mittels unterschiedlicher Kompartiment-Modelle berechnet werden kann:

| Wang et al., 1992     | Schutz, 2004 in<br>Anlehnung an Wang et<br>al., 1992                                                              | Heyward et al., 2004                                | Shen et al.<br>in Heymsfield et al.,<br>2005                                                                                                            |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| andere                | Natrium <b>Na</b> Kalium <b>K</b> Chlorid <b>Cl</b><br>Calcium <b>Ca</b> Phosphor <b>P</b><br>Stickstoff <b>N</b> | Fett                                                | Natrium <b>Na</b> Kalium <b>K</b> Chlorid <b>Cl</b><br>Stickstoff <b>N</b> Calcium <b>Ca</b> Phosphor <b>P</b><br>Schwefel <b>S</b> Magnesium <b>Mg</b> |
| Wasserstoff <b>H</b>  | Wasserstoff <b>H</b>                                                                                              | Calcium <b>Ca</b>                                   | Wasserstoff <b>H</b>                                                                                                                                    |
| Kohlenstoff <b>C</b>  | Kohlenstoff <b>C</b>                                                                                              | Natrium <b>Na</b> Kalium <b>K</b> Chlorid <b>Cl</b> | Kohlenstoff <b>C</b>                                                                                                                                    |
| Sauerstoff <b>O</b>   | Sauerstoff <b>O</b>                                                                                               | Stickstoff <b>N</b>                                 | Sauerstoff <b>O</b>                                                                                                                                     |
| 4-Kompartiment-Modell | 9-Kompartiment-Modell                                                                                             | 6-Kompartiment-Modell                               | 11-Kompartiment Modell                                                                                                                                  |

Abb. 5: Vergleich von Kompartiment-Modellen innerhalb der atomaren Ebene (modifiziert nach Wang et al., 1992, S. 21, Schutz, 2004, S. 10, Heyward & Wagner., 2004, S. 7 und Shen et al., 2005, S. 4 und 11)

Die Berechnung nach dem 11-Kompartiment-Modell von Shen et al. (2005, S. 11) wird an dieser Stelle beispielhaft genannt und sieht wie folgt aus:

$$BM = H + O + N + C + Na + K + Cl + P + Ca + Mg + S$$

Dieser Vergleich von Kompartiment-Modellen zeigt, dass sie vollkommen unabhängig voneinander betrachtet werden können. Die Existenz mehrerer Kompartiment-Modelle ist durchaus berechtigt, denn für Radiobiologen/innen sind andere Komponenten vorrangig als für Nuklearmediziner/innen. Die Anzahl der Kompartimente hängt auch davon ab, welcher Aspekt genauer untersucht werden soll bzw. welche Messmethoden<sup>5</sup> für die Analysen zur Verfügung stehen (Shen et al., 2005, S. 11). Die Erforschung der Körperzusammensetzung auf Basis ausgewählter Elemente hat eine zentrale Bedeutung, weil ausgehend von der atomaren Ebene Verbindungen zu höheren Ebenen geknüpft werden können. Laut Sutcliffe, Smith, Barker und Smith (1993, zit. in: Shen et al., 2005, S. 11) kann von den Elementen Kohlenstoff, Stickstoff und Kalium auf Parameter höherer Ebenen rückgeschlossen werden und beispielsweise die Körperzellmasse, die Fettmasse, das Ganzkörperwasser oder der Proteinanteil ermittelt werden.

<sup>5</sup> Messmethoden der atomaren Ebene: Neutronenaktivierung und Ganzkörperkaliumzählung (Müller et al., 2007, S. 31)

### **2.2.1.2 Die molekulare Ebene: Level 2**

Da sich Moleküle aus mehreren Atomen zusammensetzen, finden sich die wichtigsten Atome des menschlichen Körpers in der molekularen Ebene wieder. Von den über hunderttausend Molekülen, die im menschlichen Körper verschiedenste Funktionen erfüllen, sind nur einige wenige für die Erforschung der Körperzusammensetzung wirklich relevant (Wang et al., 1992, S. 20). Laut Wang et al. setzt sich die molekulare Ebene aus den fünf Hauptkomponenten Wasser, Lipide, Proteine, Mineralien und Glykogen zusammen.

Ein 70 kg schwerer erwachsener Mann hat einen Körperwasseranteil von 60 bis 65 %. Davon kommen 45 % intrazellulär und 15 bis 20 % extrazellulär vor. Ein kleiner Teil der extrazellulären Flüssigkeit befindet sich im Blutplasma (Müller et al., 2007, S. 50). Das Körperwasser macht demnach den prozentuell größten Anteil der molekularen Ebene aus, dicht gefolgt von den Lipiden und den Proteinen. Lipide gelten als die wichtigsten Energiespeicher und werden aufgrund ihres chemisch sehr unterschiedlichen Aufbaus in verschiedene Klassen eingeteilt. Grundsätzlich unterscheidet man einfache von zusammengesetzten Lipiden. Eine Einteilung kann jedoch auch nach ihrer Kettenlänge (kurzkettige, mittelkettige, langkettige) oder nach dem Grad ihrer Sättigung (gesättigte, einfach ungesättigte und mehrfach ungesättigte Fettsäuren) erfolgen (Schutz, 2004, S. 74f). Die wichtigsten Lipide stellen Glyceride (Monoglyceride, Diglyceride, Triglyceride), Cholesterinester, Phospholipide, Cholesterin und Vitamine dar (Wang et al., 1992, S. 20). In Proteinen, auch Eiweiße genannt, sind die zwei Elemente Stickstoff und Schwefel enthalten. Man unterscheidet zwischen tierischen und pflanzlichen Proteinen sowie aufgrund ihrer biologischen Funktionen im Körper auch zwischen Hormonen, kontraktile Proteinen, Schutzproteinen, Speicherproteinen, Strukturproteinen und Transportproteinen (Schutz, 2004, S. 91f). Mineralstoffe und Glykogen repräsentieren im Vergleich zu den bereits genannten Bestandteilen einen verhältnismäßig kleinen Anteil der molekularen Ebene. Sie fließen je nach Autorengruppe unterschiedlich in die Berechnung der Gesamtkörpermasse mit ein (siehe Abb. 6). Zu den Mineralstoffen zählen Eisen, Calcium, Magnesium und Phosphor (Schutz, 2004, S. 703). Das Glykogen gilt als Speicherform der Glukose und ist in der Leber sowie im Muskel vorrätig (Schutz, 2004, S. 60f). Abbildung 6 zeigt beispielhaft, dass das Glykogen im 4-Kompartiment-Modell von Wang et al. (1992, S. 20) nicht berücksichtigt wird. Auch die Kompartiment-Modelle von Shen et al. (2005, S. 4) und Heyward und Wagner (2004, S. 7), bildlich dargestellt in Abbildung 7, beziehen das Glykogen nicht mit ein. Schutz (2004, S. 10) führt dies darauf zurück, dass die Glykogenspeicher täglichen Schwankungen unterliegen, die sich auf den Wasserhaushalt

auswirken können. Die Berücksichtigung des Glykogens hat bei der Berechnung der Gesamtkörpermasse daher immerzu unterschiedliche Ergebnisse zur Folge, was den Vergleich von Daten wissenschaftlicher Studien wesentlich erschwert.

| Wang et al., 1992     | Biesalski et al., 2004<br>in Anlehnung an Wang et al., 1992 |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------|
| Andere                | Mineralien                                                  |
|                       | Glykogen                                                    |
| Proteine              | Proteine                                                    |
| Lipide                | Lipide                                                      |
| Wasser                | Wasser                                                      |
| 4-Kompartiment-Modell | 5-Kompartiment-Modell                                       |

Abb. 6: Divergente Darstellung der molekularen Ebene in Bezug auf das Glykogen (modifiziert nach Wang et al., 1992, S. 20 und Schutz, 2004, S. 10)

Laut Shen et al. (2005, S. 11) gibt es nicht fünf, sondern sechs Hauptkomponenten, welche die molekulare Ebene bestimmen. Dazu zählen Wasser, Lipide, Proteine, Kohlenhydrate, Knochen- und Weichteilmineralien, wobei diese einzelnen Komponenten wiederum auf unterschiedliche Art und Weise in den Kompartiment-Modellen zusammengefasst werden können.

Bezüglich den Kompartiment-Modellen in der molekularen Ebene gibt es in den Werken von Shen et al. (2005, S. 4, 11f) und Heyward und Wagner (2004, S. 7) fünf verschiedene Ansichten. Von den 2- und 7-Kompartiment-Modellversionen ist ein kleiner Auszug in Abbildung 7 dargestellt. Darin wird sehr anschaulich verdeutlicht, dass vor allem die fettfreie Masse in mehrere Komponenten aufgeteilt wird.

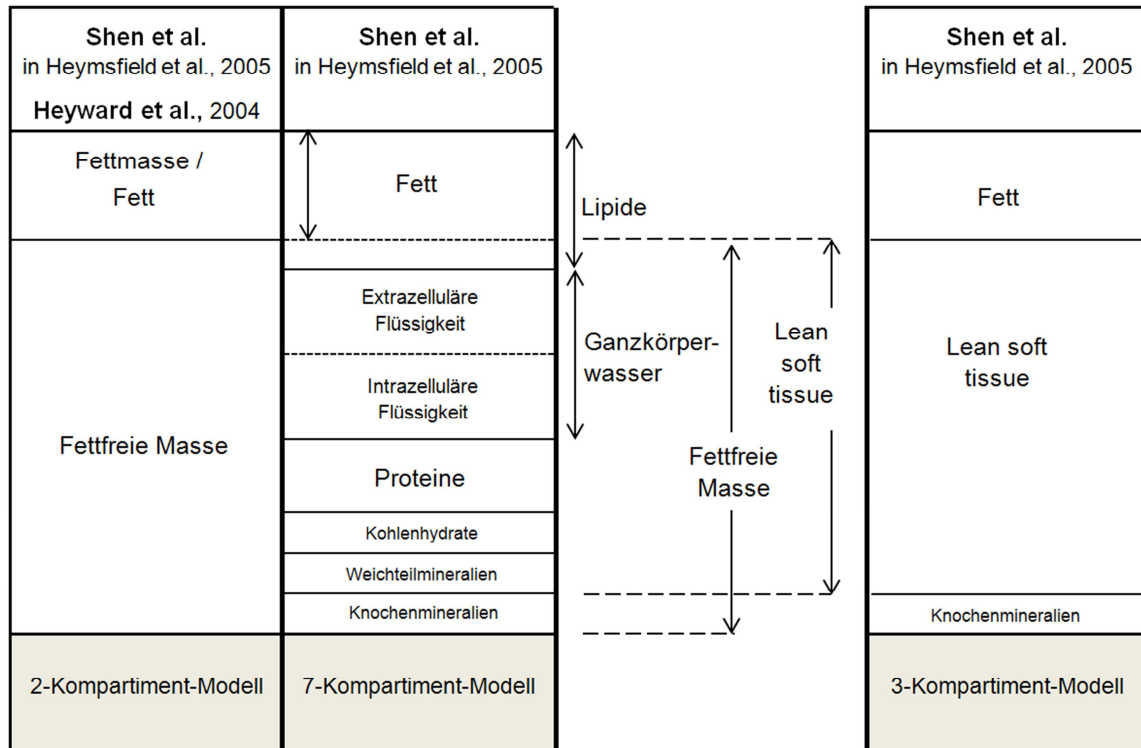


Abb. 7: Vergleich der gängigsten Kompartiment-Modelle der molekularen Ebene (modifiziert nach Heyward & Wagner, 2004, S. 7 und Shen et al., 2005, S. 11f)

Ein 2-Kompartiment-Modell ist aufgrund seiner Einfachheit am weitesten verbreitet und findet auch am häufigsten Anwendung in der Praxis. Laut Shen et al. (2005, S. 11) sieht eine Berechnung nach dem 2-Kompartiment-Modell folgendermaßen aus:

$$BM = FM + FFM$$

Bei der Bestimmung ausgewählter Parameter der Körperzusammensetzung können unterschiedliche Methoden<sup>6</sup> zum Einsatz kommen. Diese beziehen teilweise Parameter der nächst höher gelegenen Ebene, der zellulären Ebene, mit ein.

<sup>6</sup> Messmethoden der molekularen Ebene: DEXA-Methode, Densitometrie, BIA, MRT (Müller et al., 2007, S. 31)



### **2.2.1.3 Die zelluläre Ebene: Level 3**

Laut Wang et al. (1992, S. 23) ist die zelluläre Ebene in der Erforschung der Körperzusammensetzung wichtig, weil sie im Vergleich zu niedrigeren Levels erstmals den Aspekt der Lebendigkeit des Organismus miteinbezieht. Betrachtet man die Zelle als Grundbaustein für das Leben, so wird die zentrale Bedeutung dieser kleinsten Einheit des Körpers in unserem Bewusstsein gewahrt. Die zelluläre Ebene unterscheidet laut Wang et al. (1992, S. 22) drei Hauptkomponenten: Zellen, extrazelluläre Flüssigkeit und extrazelluläre feste Bestandteile.

Zellen bilden in Form von Zellgruppen unsere Organe und unser Gewebe und sind somit maßgeblich am Bau des menschlichen Körpers beteiligt. Ihre unterschiedlichen Funktionen spiegeln sich in Form, Größe, Aufbau und Stoffwechsel wider, woraus vier Kategorien von Zellen unterschieden werden können: Epithelzellen, Muskelzellen, Nervenzellen und Bindegewebszellen. Diese können wiederum in Subkategorien unterteilt werden, wobei vor allem die Fettzellen für die Erforschung der Körperzusammensetzung eine wesentliche Rolle spielen. Sie gehören zur Gruppe der Bindegewebszellen und zeichnen sich durch eine lockere Verbindung innerhalb ihres Zellverbandes aus (Wang et al, 1992, S. 22). Zellen können jedoch auch nach ihrer aktiven Beteiligung am Stoffwechsel gegliedert werden, woraus sich zwei Gruppen ergeben: Fettzellmasse und Körperzellmasse (Shen et al., 2005, S. 12). Abbildung 8 zeigt, dass bereits Wang et al. (1992, S. 23) diese Unterscheidung bei ihrem 3-Kompartiment-Modell berücksichtigten. Die Körperzellmasse als Teil der Zellmasse inkludiert in diesem Fall jenen Anteil an Fettzellen, der aktiv am Stoffwechsel beteiligt ist und für die Energiebereitstellung zur Verfügung steht. Von der Körperzellmasse ausgenommen ist jedoch das Baufett, der passive Anteil der Fettzellen, der nur abgebaut wird, wenn keine anderen Ressourcen mehr vorhanden sind.

Als extrazellulärer Raum wird der Bereich außerhalb der Zelle bezeichnet. Dort befinden sich extrazelluläre Flüssigkeit sowie extrazelluläre feste Bestandteile. Die extrazelluläre Flüssigkeit umgibt die Zellen und dient als Medium für Gasaustausch oder Nährstofftransport. Die Hauptkomponenten der extrazellulären Flüssigkeit sind Plasma und interstitielle Flüssigkeit. Als extrazelluläre feste Bestandteile werden organische (kollagene, retikuläre und elastische Fasern) und anorganische (Calcium, Phosphor und Sauerstoff) chemische Substanzen definiert (Wang et al, 1992, S. 22).

|                 | Wang et al., 1992                    | Heyward et al., 2004                 | Schutz, 2004 in<br>Anlehnung an Wang et<br>al., 1992<br><b>Shen et al.</b><br>in Heymsfield et al., 2005 |
|-----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | Extrazelluläre<br>feste Bestandteile | Extrazelluläre<br>feste Bestandteile | Extrazelluläre<br>feste Bestandteile                                                                     |
|                 | Extrazelluläre<br>Flüssigkeit        | Extrazelluläre<br>Flüssigkeit        | Extrazelluläre<br>Flüssigkeit                                                                            |
| Speicherfett    | Fettzellen                           | Körperzellmasse                      | Adipozyten                                                                                               |
| Körperzellmasse | Zellmasse                            |                                      | Zellen                                                                                                   |
|                 |                                      |                                      |                                                                                                          |
|                 | 3-Kompartiment-Modell                | 3-Kompartiment-Modell                | 4-Kompartiment-Modell                                                                                    |

Abb. 8: Vergleich der Kompartiment-Modelle auf zellulärer Ebene (modifiziert nach Wang et al., 1992, S.22f, Schutz, 2004, S. 10, Heyward & Wagner, 2004, S. 7 und Shen et al., 2005, S. 4)

Wird nun die Körperzusammensetzung auf zellulärer Ebene durch ein 4-Kompartiment-Modell beschrieben, kann folgende Gleichung beispielhaft herangezogen werden:

$$BM = BCM + \text{Fettzellen} + ECF + ECS$$

Eine direkte in vivo-Bestimmung der Körperzusammensetzung auf zellulärer Ebene ist nicht möglich, allerdings gibt es mehrere indirekte Methoden<sup>7</sup> zur Bestimmung dieser einzelnen Komponenten.

<sup>7</sup> Messmethoden der zellulären Ebene: Isotopendilution, Neutronenaktivierung (Wang et al., 1992, S. 23), BIA, Ganzkörperkaliumzählung (Müller, et al., 2007, S. 31)

### 2.2.1.4 Die Gewebsebene: Level 4

Die zelluläre Ebene beschreibt indirekt die vorletzte Ebene des „Five-Level Models“ von Wang et al. (1992, S. 20), weil die drei Hauptkomponenten der Gewebsebene, Gewebe, Organe und Systeme, aus Zellen aufgebaut sind. Das Gewebe im menschlichen Körper besteht aus einem Verband von Zellen, die sich in ihrem Erscheinungsbild, ihrem Aufbau und ihrer Funktion ähneln.

In der Gewebsebene sind speziell drei Arten von Geweben von Bedeutung: Muskelgewebe, Knochengewebe und adipöses Gewebe. Aber auch Organe sind Bestandteile der Kompartiment-Modelle in dieser Ebene. Innere Organe setzen sich aus mindestens zwei oder mehreren Geweben zusammen und formen meist große funktionelle Einheiten wie beispielsweise die Nieren oder die Leber. Als System bezeichnet man mehrere Organe, die miteinander in einer funktionellen Verbindung stehen und gemeinsam eine spezielle Funktion erfüllen, wie beispielsweise das Verdauungssystem, das Atmungssystem oder das Blutkreislaufsystem. Die Gewebsebene ist sehr komplex, weil ihre Komponenten miteinander interagieren und ineinander verflochten sind. Daher können nicht alle Komponenten bei der Bestimmung der Körperzusammensetzung berücksichtigt werden (Wang et al., 1992, S. 23f). Abbildung 9 gibt einen Überblick über die wichtigsten Komponenten der Gewebsebene.

| Wang et al., 1992     | Heyward et al., 2004  | Biesalski et al., 2004<br>in Anlehnung an Wang et al., 1992 | Shen et al.<br>in Heymsfield et al., 2005 |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Fettgewebe            | Fettgewebe            | Fettgewebe                                                  | Fettgewebe                                |
| Innere Organe         | Knochen-freies Gewebe |                                                             | anderes Gewebe                            |
| Restliches Gewebe     |                       | Skelettmuskel                                               |                                           |
| Skelettmuskel         |                       |                                                             | Innere Organe                             |
| Blut                  |                       |                                                             |                                           |
| Knochen               |                       | Knochen                                                     | Knochen                                   |
| 6-Kompartiment-Modell | 3-Kompartiment-Modell | 4-Kompartiment-Modell                                       | 5-Kompartiment-Modell                     |

Abb. 9: Überblick über die Kompartiment-Modelle auf der Gewebs-Ebene (modifiziert nach Wang et al., 1992, S.22f, Schutz, 2004, S. 10, Heyward & Wagner, 2004, S. 7 und Shen et al., 2005, S. 4)

Da mit einigen ausgewählten Methoden<sup>8</sup> nicht alle Gewebe, Organe und Systeme gemessen werden können, wird an dieser Stelle folgende Gleichung zur Bestimmung der Gesamtkörpermasse exemplarisch vorgestellt:

$$\text{BM} = \text{Adipöses Gewebe} + \text{Muskeln} + \text{Knochen} + \text{andere Gewebe} + \text{innere Organe}$$

### 2.2.1.5 Die Ganzkörper-Ebene: Level 5

Die Kompartiment-Modelle der ersten vier Ebenen sind bei Mensch und Tier sehr ähnlich. In der Ganzkörper-Ebene kann der Mensch aufgrund seines äußeren Erscheinungsbildes jedoch klar von anderen Säugetieren abgegrenzt werden (Wang et al., 1992, S. 24). Laut Shen et al. (2005, S. 13) setzt sich der menschliche Körper aus den Hauptkomponenten Kopf, Rumpf, sowie den oberen und unteren Extremitäten zusammen. Die Berechnung der Körpermasse auf der Ganzkörper-Ebene nach einem 3-Kompartiment-Modell sieht demnach wie folgt aus:

$$\text{BM} = \text{Kopf} + \text{Rumpf} + \text{Extremitäten}$$

Mittels spezieller Methoden aus dem Bereich der Anthropometrie<sup>9</sup> können ausgewählte Parameter vermessen werden, wie beispielsweise die Körperhöhe, Segmentlängen, Breiten, Umfänge, Hautfaltendicken oder die Körpermasse. Dadurch wird die Ermittlung weiterer Parameter und folglich die Bestimmung der Körperzusammensetzung auf der Ganzkörper-Ebene möglich. Durch die Entwicklung neuer Methoden zur Erfassung äußerer Erscheinungsmerkmale erlangt die Ganzkörper-Ebene immer mehr an Bedeutung. Die Idee, mittels eines 3D Ganzkörperscanners auf die Körperzusammensetzung eines Menschen zu schließen, wurde in den 1950er Jahren erstmals entwickelt. Ein dreidimensionaler Photonen-Scanner wurde damals eingesetzt, um von der Körperoberfläche auf das Körpervolumen und folglich auf die Körperzusammensetzung zu schließen (Davies & Murphy, 2005, S. 121). Kapitel 4 berichtet ausführlicher über die Möglichkeiten der 3D Ganzkörperscantentechnologie und setzt diese in Bezug zur Ganzkörper-Ebene von Wang et al. (1992, S. 24).

---

<sup>8</sup> Messmethoden der Gewebsebene: CT, Harnkreatinin-Bestimmung, Neutronenaktivierung (Wang et al., 1992, S. 24)

<sup>9</sup> Messmethode der Ganzkörper-Ebene: „Lehre der Erfassung menschlicher Körpermerkmale“ oder „menschliche Vermessungslehre“

### 2.2.1.6 Zusammenfassung der fünf Ebenen von Wang et al.

Eine überblicksmäßige Darstellung der fünf Ebenen von Wang et al. mit ihren unterschiedlichen Kompartiment-Modellen ist in der nachfolgenden Tabelle 7 dargestellt. Diese Zusammenfassung hat den Zweck, die verschiedenen Möglichkeiten zur Bestimmung der Gesamtkörpermasse besser erfassen zu können.

| Ebene            | Kompartiment-Modelle                                                                                                               | Anzahl der Komponenten |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Atomare Ebene    | $BM = H + O + N + C + Na + K + Cl + P + Ca + Mg + S$                                                                               | 11                     |
|                  | $BM = H_2O + N + Na + K + Cl + Ca + \text{Fett}$                                                                                   | 6                      |
|                  | $BM = O + C + H + \text{andere}$                                                                                                   | 4                      |
| Molekulare Ebene | $BM = \text{Lipide} + \text{GKW} + \text{Proteine} + \text{Kohlenhydrate} + \text{Weichteilmineralien} + \text{Knochenmineralien}$ | 6                      |
|                  | $BM = \text{Lipide} + \text{Proteine} + \text{Mineralien} + \text{Glykogen} + \text{Wasser}$                                       | 5                      |
|                  | $BM = FM + FFM$                                                                                                                    | 2                      |
| Zelluläre Ebene  | $BM = \text{Zellen} + \text{Fettzellen} + \text{ECF} + \text{ECS}$                                                                 | 4                      |
|                  | $BM = \text{Körperzellmasse} + \text{ECF} + \text{ECS}$                                                                            | 3                      |
| Gewebs-Ebene     | $BM = \text{Adipöses Gewebe} + \text{Muskeln} + \text{Knochen} + \text{andere Gewebe} + \text{innere Organe}$                      | 5                      |
|                  | $BM = \text{Fettgewebe} + \text{Knochen-freies Gewebe} + \text{Knochen}$                                                           | 3                      |
| Ganzkörper-Ebene | $BM = \text{Kopf} + \text{Rumpf} + \text{Arme} + \text{Beine}$                                                                     | 4                      |
|                  | $BM = \text{Kopf} + \text{Rumpf} + \text{Extremitäten}$                                                                            | 3                      |

Tab. 7: Überblicksmäßige Darstellung der 5 Ebenen mit ihren Kompartiment-Modellen

### **2.2.2 Untersuchungsmethoden – Theoretische Modelle in der Praxis**

Die Auseinandersetzung mit den Kompartiment-Modellen der verschiedenen Ebenen muss nicht zwingend im Detail erfolgen. Allerdings erleichtert das Wissen um die Möglichkeiten, wie einzelne Parameter in zusammengesetzter Form betrachtet werden können, die Entwicklung von neuen mathematischen Modellen und schafft darüber hinaus auch Verständnis für bereits existierende Untersuchungsmethoden.

Die Erkenntnisse betreffend die Parameter, aus denen der Körper zusammengesetzt ist, führten zur Entwicklung zahlreicher Messmethoden und mathematischer Modelle, mit denen schlussendlich auf die Körperzusammensetzung rückgeschlossen werden kann. Diese Vielfalt an Messmethoden resultiert daraus, dass alle Methoden, jede für sich, unterschiedliche Zielgrößen messen. Sie unterscheiden sich in ihrer Messmethodik und kommen aus diesem Grund auch zu unterschiedlichen Ergebnissen. Ein direkter Vergleich zwischen den Methoden ist daher laut Müller et al. (2007, S. 31) nicht empfehlenswert. Sehr häufig werden allerdings mehrere Methoden eingesetzt, um einen einzelnen Parameter zu erfassen. Diese Kombination von Messmethoden hat den Vorteil, dass Ungenauigkeiten und Fehler aufgedeckt werden können, allerdings wird dadurch laut Müller et al. (2007, S. 32) die Aussagekraft der Untersuchung für die Praxis nicht verbessert.

Um eine Untersuchung der Körperzusammensetzung innerhalb einer bestimmten Versuchsgruppe durchführen zu können, ist es unerlässlich, die einzelnen Methoden hinsichtlich ihrer Probleme und Fehlerquellen zu analysieren (Schutz, 2007, S. 17). Welche Methode schlussendlich zum Einsatz kommt, hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie beispielsweise von der zu messenden Zielgröße, von der für die Lösung der Fragestellung erforderlichen Genauigkeit oder von der Anwendbarkeit in der Praxis (Müller et al., 2007, S. 32). Auch die zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel, die praktischen Gegebenheiten vor Ort sowie die Präsenz von kompetenten und geschulten Untersuchern beeinflussen die Wahl der Methode (Schutz, 2007, S. 17). Die drei gängigsten Möglichkeiten, Messmethoden zur besseren Übersichtlichkeit zu gliedern, sind in der nachfolgenden Tabelle 8 dargestellt.

| Methoden                | direkt | indirekt | doppelt<br>indirekt | Teilkörper | Ganzkörper | Feld | Labor |
|-------------------------|--------|----------|---------------------|------------|------------|------|-------|
|                         |        |          |                     |            |            |      |       |
| BIA                     |        |          | x                   | x          | x          | x    |       |
|                         |        |          |                     |            |            |      |       |
| CT / MR                 |        | x        |                     | x          |            |      | x     |
|                         |        |          |                     |            |            |      |       |
| Densitometrie           |        | x        |                     |            | x          |      | x     |
|                         |        |          |                     |            |            |      |       |
| DEXA-Methode            |        | x        |                     |            | x          |      | x     |
|                         |        |          |                     |            |            |      |       |
| Ganzkörperkaliumzählung |        | x        |                     |            | x          |      | x     |
|                         |        |          |                     |            |            |      |       |
| Hautfaltendickemessung  |        |          | x                   | x          |            | x    |       |
|                         |        |          |                     |            |            |      |       |
| Infrarot-Spektroskopie  |        |          | x                   | x          |            | x    |       |
|                         |        |          |                     |            |            |      |       |
| Isotopendilution        |        | x        |                     |            | x          |      | x     |
|                         |        |          |                     |            |            |      |       |
| Neutronenaktivierung    | x      |          |                     |            | x          |      | x     |
|                         |        |          |                     |            |            |      |       |
| Ultraschall             |        |          | x                   | x          |            | x    |       |

Tab. 8: Gliederungsmöglichkeiten der Messmethoden

Die Gliederung in direkte, indirekte oder doppelt indirekte Methoden nach Schutz (2004, S. 11f) bezieht sich auf die Art und Weise, wie das Ergebnis der Messung erlangt wird. Direkt bedeutet, dass durch die Messung das Ergebnis sofort vorliegt. Bei Kadaveruntersuchungen kann zum Beispiel der Parameter von Interesse unmittelbar erhoben und quantifiziert werden. Auch die Neutronenaktivierung liefert sofortige Ergebnisse bezüglich der ausgewählten Komponenten. Unter einer indirekten Methode

wird verstanden, dass die durch Messungen erhobenen Parameter für weitere Berechnungen herangezogen werden. Beispielsweise wird das mittels Densitometrie ermittelte Körpervolumen zur Berechnung der Körperdichte verwendet, um anschließend den Körperfettgehalt zu bestimmen. Doppelt indirekte Methoden basieren auf einem statistischen Zusammenhang zwischen den gemessenen und den durch indirekte oder direkte Methoden erhobenen Körperparametern. So wird beispielsweise angenommen, dass die Dicke des Unterhautgewebes das Gesamtkörperfett repräsentiert und die Messung einiger weniger Hautfalten ausreicht, um den Körperfettanteil zu ermitteln. Laut Schutz (2004, S. 13) ist eine Methode umso genauer, je direkter sie ist.

Die Gliederung in Teilkörper- und Ganzkörpermethoden von Leweling (1995, S. 3) unterscheidet lediglich, ob bei einer Messung der ganze Körper berücksichtigt wird, oder nur einzelne Körperregionen für die Bestimmung der Körperzusammensetzung herangezogen werden. Teilkörpermessungen gelten als weniger genau, weil von einzelnen Teilen des Körpers auf den gesamten Körper hochgerechnet wird und dabei Ungenauigkeiten entstehen können.

Eine Unterteilung in Feld- und Labormethoden von Heyward und Wagner (2004, S. 27) rückt die praktische Anwendbarkeit in den Vordergrund. In der klinischen Praxis haben sich grundsätzlich Feldmethoden etabliert, die aufgrund ihrer einfachen und schnellen Durchführbarkeit von gesunden sowie kranken Versuchsgruppen gut toleriert werden. Labormethoden sind generell aufwendiger, teurer, zeitintensiver und werden aufgrund ihrer höheren Genauigkeit meist nur im Rahmen wissenschaftlicher Untersuchungen angewendet bzw. für die Validierung neuer Methoden eingesetzt.

Unabhängig von diesen drei Gliederungsmöglichkeiten findet man in ausgewählten Literaturquellen oftmals eine Trennung zwischen „Golden Standard“-Methoden und den übrigen Methoden. Welche Methode als „Golden Standard“ betrachtet werden kann, ist jedoch nicht einheitlich definiert. Laut Heyward und Wagner (2004, S. 27) gelten die Densitometrie, die Isotopendilution sowie die DEXA-Methode als „Golden Standard“-Methoden und können somit als Referenzmethoden zur Validierung anderer Methoden verwendet werden. Heyward und Wagner (2004, S. 27) sowie Müller et al. (2007, S. 32) sind sich allerdings einig, dass eine wahre „Golden Standard“-Methode als perfekte Referenzmethode nicht existiert, weil die zugrunde liegenden mathematischen Modelle allesamt auf Annahmen beruhen, die nicht als allgemeingültig angesehen werden können. Im nachfolgenden Kapitel werden die in Tabelle 7 bereits genannten Messmethoden mit ihren Vor- und Nachteilen im Detail vorgestellt.



### 2.2.2.1 Ganzkörperkaliumzählung

Diese Methode zur Ermittlung des Ganzkörperkaliums (TBK) gilt als die beste Methode zur Bestimmung der Körperzellmasse (BCM) und basiert auf der Annahme, dass das chemische Element Kalium-40 nur in der fettfreien Körperzellmasse und nicht in der Fettmasse vorhanden ist (Davies & Murphy, 2010, S. 118). Laut Ellis (2005, S. 51) ist Kalium in einer konstanten Konzentration durch drei Isotopen-Stadien im Körper vertreten. Der Anteil von Kalium-39 im Körper beträgt dabei 93,1 %, der von Kalium-41 beträgt 6,9 % und der von Kalium-40 stellt mit 0,0118 % den kleinsten Anteil dar. Allerdings kann nur Kalium-40, ein natürlich im Körper vorkommendes radioaktives Isotop, durch die spezielle Messmethodik eines sogenannten Whole Body Counters (WBC) erfasst werden (Davies & Murphy, 2010, S. 118). Die im Messsystem eingearbeiteten Natriumjodidkristalle erfassen die vom Kalium-40 ausgehenden Gammastrahlen und ermitteln auf diese Weise die im Körper vorhandene Konzentration (Ellis, 2005, S. 55). Je nach Anzahl der Natriumjodidkristalle dauert der Vorgang zur Ermittlung des Kaliumgehalts im Körper wenige Minuten bis zu einer Stunde (Davies & Murphy, 2010, S. 118).

Whole Body Counters wurden ursprünglich entwickelt, um eine mögliche Kontamination mit radioaktivem Material bei besonders disponierten Personen (Arbeiter/innen in Atomkraftwerken, Wissenschaftler/innen, Menschen nach einem Atomreaktorunfall) zu überprüfen. Heute finden diese Systeme Anwendung in Tierlaboren oder auch im medizinischen Setting zur Bestimmung des Ernährungsstatus oder zur Dokumentation von Krankheitsverläufen (Ellis, 2005. S. 51).

Die Ermittlung des Kaliumgehalts im Körper ermöglicht einerseits die Bestimmung der Körperzellmasse, andererseits die Bestimmung von Fettmasse und fettfreier Masse (Ellis, 2005, S. 55). Die Ganzkörperkaliumzählung wird hauptsächlich zur Bestimmung der Körperzellmasse angewendet, weil Veränderungen der Körperzellmasse pathologische Zustände im Körper aufdecken können (Ellis, 2005. S. 56). Unter der Annahme, dass der Kaliumgehalt im Körper konstant ist, haben Francis und Moore im Jahre 1963 folgende Gleichung entwickelt (Ellis, 2005. S. 55):

$$\text{BCM [kg]} = 0,00833 \cdot \text{Kalium [mmol]}$$

Bsp.: Eine Person mit einer durchschnittlichen Menge an gemessenem Kalium von 3000 mmol hat eine Körperzellmasse von ca. 25 kg.

Da die Körperzellmasse nur einen Teil der fettfreien Masse ausmacht (ca. 50 - 60 % der FFM), ist ein direkter Rückschluss auf die fettfreie Masse nicht möglich (Ellis, 2005, S. 56). Basierend auf Kadaveruntersuchungen haben daher Forbes und Lewis im Jahre 1956 über die Annahme eines stabilen Verhältnisses des Ganzkörperkaliums zur fettfreien Masse von 68,1 mmol/kg bei Männern und 64,1 mmol/kg bei Frauen eine Gleichung für die Bestimmung der fettfreien Masse entwickelt (Ellis, 2005, S. 55).

$$\text{FFM [kg]} = \text{Kalium [mmol]} / \text{konstantes Verhältnis von TBK:FFM}$$

Bsp.: Ein Mann mit einem angenommenen Verhältnis TBK:FFM von 68,1 mmol/kg und einem gemessenen Kalium von 3000 mmol hat eine fettfreie Masse von 44 kg.

Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass der Kaliumgehalt von Alter und Geschlecht abhängt sowie durch Veränderungen des Verhältnisses der extrazellulären zur intrazellulären Flüssigkeit bedingt ist (Ellis, 2005, S. 55). Das stabile Verhältnis des Ganzkörperkaliums zur fettfreien Masse für Männer und Frauen gilt daher nicht für alle Personengruppen und ist demnach nicht universell anwendbar. Die Bestimmung der fettfreien Masse sowie folglich des Körperfettanteils auf Basis der Ganzkörperkaliummethode wird aus diesem Grund als problematisch angesehen und in der Praxis nicht angewendet.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Vor- und Nachteile der Ganzkörperkaliummethode zur Bestimmung der Körperzellmasse aufgelistet:

| Vorteile                                                        | Nachteile                                 |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Nichtinvasive Methode                                           | Sehr teure Apparatur                      |
| Kooperationsbereitschaft der Probanden/innen nicht erforderlich | Nicht überall verfügbar                   |
| Kurze Untersuchungsdauer, jederzeit wiederholbar                | Nicht geeignet für stark adipöse Personen |
| Unbeeinflusst von Flüssigkeitsveränderungen im Körper           |                                           |
| Bei Gesunden sowie bei Kranken einsetzbar                       |                                           |

Tab. 9: Vor- und Nachteile der Ganzkörperkaliummethode

### 2.2.2.2 Densitometrie

Unter dem Begriff *Densitometrie* kann allgemein die Methode zur Bestimmung der Körperdichte, aus dem Quotienten von Körpergewicht und Körpervolumen, verstanden werden:

$$D_b \text{ [g/cm}^3\text{]} = MA \text{ [g]} / BV \text{ [cm}^3\text{]}$$

Grund für das Interesse an der Körperdichte ist die Tatsache, dass von der Dichte eines Körpers auf die Körperfettmasse rückgeschlossen werden kann. Da laut Going (2005, S. 17) die Dichte eines Körpers auch von den Dichten seiner Komponenten abhängt, gibt es basierend auf 2-, 3- oder 4-Kompartiment-Modellen unterschiedliche mathematische Modelle zur Berechnung des Körperfettanteils.

Ausgehend von der Annahme, dass die Fettmasse des menschlichen Körpers eine Dichte von 0,9007 g/cm<sup>3</sup> und die fettfreie Masse eine Dichte von 1,100 g/cm<sup>3</sup> hat, wurde im Jahre 1956 von Siri folgende Gleichung auf Basis des 2-Kompartiment-Modells entwickelt:

$$BF \text{ [\%]} = (4,95 / D_b \text{ [g/cm}^3\text{]} - 4,50) \cdot 100$$

Aufgrund der Annahme, dass sich die fettfreie Masse konstant zu 73,72 % aus Wasser mit einer Dichte von 0,9937 g/cm<sup>3</sup>, zu 19,41 % aus Proteinen mit einer Dichte von 1,34 g/cm<sup>3</sup> und zu 6,87 % aus Mineralien mit einer Dichte von 3,038 g/cm<sup>3</sup> zusammensetzt, hat Brozek im Jahre 1963 folgendes mathematisches Modell auf Basis des 2-Kompartiment-Modells entwickelt (Going, 2005, S. 18):

$$BF \text{ [\%]} = (4,57 / D_b \text{ [g/cm}^3\text{]} - 4,142) \cdot 100$$

Die Gleichungen von Siri und Brozek werden aufgrund ihrer einfachen Anwendbarkeit sehr häufig zur Berechnung des Körperfettanteils herangezogen. Allerdings ist Vorsicht geboten, weil der Rückschluss von der Körperdichte auf den Körperfettanteil nicht für alle Personengruppen zulässig ist. Die Zusammensetzung sowie die Dichte der fettfreien Masse und der Fettmasse werden in den oben dargestellten Formeln als konstant angenommen. In Wirklichkeit sind sie jedoch variabel und von bestimmten Faktoren wie beispielsweise Alter, Geschlecht oder Trainingszustand abhängig.

Derzeit gibt es keine Anpassung der Gleichungen an variable Personengruppen. Aus diesem Grund ist die Anwendung von densitometrischen Methoden zur Bestimmung des Körperfettanteils auf Basis des 2-Kompartiment-Modells nur mit Vorbehalt zu empfehlen (Heyward & Wagner, 2004, S. 27f).

Da 3- oder 4-Kompartiment-Modelle zusätzliche Messungen, beispielsweise des Ganzkörperwassers oder anderer Parameter, erfordern und diese in die Gleichung miteinbeziehen, gelten sie grundsätzlich als genauer. Beispielhaft erwähnt wird an dieser Stelle die Gleichung von Siri aus dem Jahre 1961, in der das Ganzkörperwasser berücksichtigt wird (Going, 2005, S. 18):

$$\text{BF [\%]} = (2,118 / D_b [\text{g/cm}^3] - 0,78 \cdot \text{TBW [l]} - 1,354) \cdot 100$$

Der Anwendung von densitometrischen Methoden auf Basis von 3- oder 4-Kompartiment-Modellen in Kombination mit anderen Methoden wird grundsätzlich Vorrang geboten. Ungeachtet der Tatsache, dass zusätzliche Messungen die Wahrscheinlichkeit von auftretenden Messfehlern erhöhen können (Going, 2005, S. 17f und S. 33).

Die Bestimmung der Körperdichte erfordert die Ermittlung des Körpergewichts und des Körpervolumens. Die Ermittlung des Körpergewichts stellt keine große Anforderung in der Praxis dar, die Ermittlung des Körpervolumens dahingegen schon. Obwohl es mehrere densitometrische Methoden gibt, wird der Begriff *Densitometrie* oft synonym mit dem Begriff *Hydrodensitometrie* verwendet. Die Hydrodensitometrie ermittelt das Körpervolumen auf präzise Art und Weise mittels Wasserverdrängung. Sie gilt auch als sehr gute Methode vor allem in Labors, die keine Möglichkeit haben, neuere Methoden zu verwenden (Going, 2005, S. 33). Obwohl die Umrechnung vom Körpervolumen auf die Körperdichte und weiterführend auf den Körperfettanteil aus oben genannten Gründen fehleranfällig ist, wird diese Methode trotzdem sehr häufig als „Golden Standard“-Methode bezeichnet und als Referenzmethode für Validierungsstudien verwendet (Going, 2005, S. 17). Da das Eintauchen in Wasser allerdings eine hohe Kooperationsbereitschaft voraussetzt, kann diese Methode nicht bei jeder Versuchsgruppe angewendet werden. Die Air Displacement Plethysmographie stellt mittlerweile eine sehr gute und brauchbare alternative Methode zur Hydrodensitometrie dar. Laut Davies und Murphy (2010, S. 118f) ist das derzeit einzige verfügbare System der sogenannte Bod Pod® (siehe Kapitel 2.2.2.2.2), bei dem das Körpervolumen durch Luftverdrängung ermittelt wird (Going, 2005, S. 17).

### 2.2.2.2.1 Hydrodensitometrie (HD)

Laut Going (2005, S. 19) ermittelt die Hydrodensitometrie das Unterwassergewicht ( $W_w$ ) eines Körpers basierend auf der Annahme, dass der Gewichtsverlust eines in Wasser getauchten Körpers ident ist mit seinem Körpervolumen. Unter Berücksichtigung der Dichte von Wasser ermöglicht folgende Gleichung die Berechnung des Körpervolumens:

$$BV = (W_a - W_w) / D_w$$

Das Körpervolumen wird allerdings auch durch die Luft in den Lungen sowie durch die Gase in den Gedärmen beeinflusst. Um für die Bestimmung der Körperdichte die Gleichung um diese beiden Faktoren zu erweitern, wird das Residualvolumen<sup>10</sup> (RV) mittels Spirometrie ermittelt und das Gasvolumen in den Gedärmen mit 100 ml angenommen:

$$D_b [g/cm^3] = W_a [g] / BV [cm^3] - RV [l] + 0,100$$

Am genauesten ist derzeit eine gleichzeitige Messung des Unterwassergewichtes und des Residualvolumens, wie in Abbildung 10 dargestellt. Empfehlenswert ist ein Behälter aus Plexiglas oder rostfreiem Stahl mit mindestens drei Metern Höhe sowie Wasser mit einer Temperatur von 32 - 35 Grad Celsius (Going, 2005, S. 19).

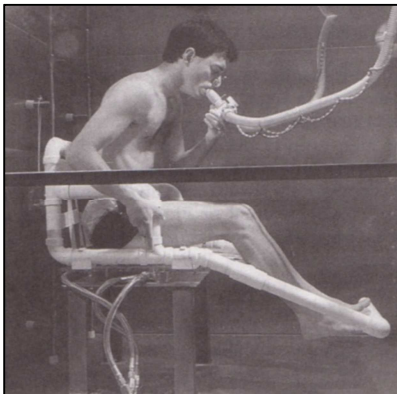


Abb. 10: Hydrodensitometrie mit simultaner Messung des Residualvolumens mittels Spirometrie (Organ, L.W.; Eklund, A.D.; Ledbetter, J.D. zit. in: Going, 2005, S. 20)

### 2.2.2.2.2 Air Displacement Plethysmographie (ADP)

Ein Plethysmograph besteht aus 2 Kammern, einer Messkammer mit einem Volumen von 450 Litern und einer Referenzkammer mit einem Volumen von 300 Litern. Die Kammern sind durch eine flexible Membran voneinander getrennt (Müller et al., 2007, S. 40). Sitzt nun eine Person in der Messkammer, beginnt die Membran zu schwingen und bewirkt, dass in beiden Kammern sinusoidale Volumenveränderungen erzeugt werden. Diese

<sup>10</sup> die Menge an Luft, die nach maximaler Expiration noch in der Lunge verbleibt (Heyward & Wagner, 2004, S. 28)

Veränderungen sind bezüglich ihres Ausmaßes in beiden Kammern identisch, allerdings verhalten sie sich entgegengesetzt zueinander. Nimmt das Volumen in der Messkammer zu, so nimmt es um denselben Betrag in der Referenzkammer ab (Going, 2005, S. 28).

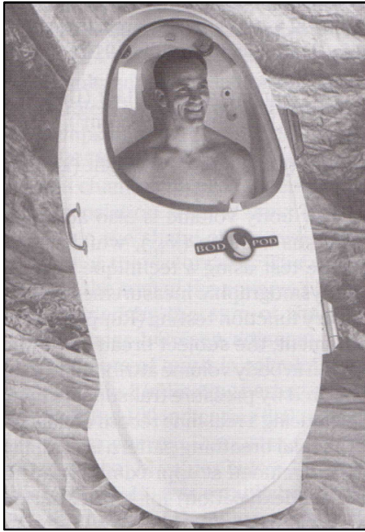


Abb. 11: Bod Pod ® zur Air Displacement Plethysmographie (Going, 2005, S. 20)

Die zwischen den Kammern entstandene Volumenveränderung hat eine Druckveränderung zur Folge. Nach dem Boyle'schen Gesetz ist der Druck bei gleichbleibender Temperatur umgekehrt proportional zum Volumen, erhöht man also den Druck, so verkleinert sich das Volumen (Müller et al., 2007, S. 40). Mit nachfolgender Formel lässt sich das Volumen in der Messkammer (V2) und somit das Körpervolumen der Person bestimmen. Wobei P1 bzw. V1 den Druck der Membran bzw. das Volumen in der leeren Referenzkammer und P2 bzw. V2 den Druck der Membran bzw. das Volumen in der Messkammer darstellt (Going, 2005, S. 27).

$$P1 \cdot V1 = P2 \cdot V2$$

$$V2 = BV [l] = (P1 \cdot V1) / P2$$

Da während des Messprozesses eine Wärmeabgabe durch die Haut bzw. durch die Luft in der Lunge stattfindet, herrschen in der Messkammer im Grunde keine gleichbleibenden Temperaturbedingungen. Aus diesem Grund wird das Körpervolumen nach dem Poisson'schen Gesetz berechnet, das die Dichte von Luft bei konstantem Druck im Verhältnis zur Dichte von Luft bei konstantem Volumen als Konstante  $\chi^{11}$  miteinbezieht (Going, 2005, S. 27).

$$P1 / P2 = (V2 / V1)^\chi$$

$$V2 = BV [l] = (P1 / P2)^{1/\chi} \cdot V1$$

Laut Going (2005, S. 28f) wird die Messung des Körpervolumens zusätzlich durch die Luft in der Lunge bzw. durch die Luft auf der Haut beeinflusst. Der Einfluss von Luft auf der

<sup>11</sup> Für Luft  $\chi \approx 1,4$

Haut wird während der Messung durch das Tragen eng anliegender Badekleidung und einer Badekappe minimiert. Dennoch wird über die Körperoberfläche die Hautoberfläche (SAA) bestimmt und das Lungenvolumen<sup>12</sup> (VI) mittels Spirometrie während der Messung ermittelt. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren wird das Körpervolumen schlussendlich mit folgender Gleichung berechnet (Davies & Murphy, 2010, S. 118f).

$$BV \text{ korr [I]} = BV \text{ [I]} - SAA \text{ [I]} + 40 \% VI \text{ [I]}$$

Da das Lungenvolumen sowie die Körperoberfläche in dieser Formel bereits berücksichtigt wurden, kann nun in weiterer Folge die zu Beginn vorgestellte Gleichung zur Bestimmung der Körperdichte (siehe Kapitel 2.2.2.2) verwendet werden.

### 2.2.2.2.3 Vor- und Nachteile von HD und ADP

Die Vor- und Nachteile der beiden densitometrischen Methoden sind aufgrund ihrer unterschiedlichen Messmethoden zu trennen und werden in der nachfolgenden Tabelle 10 aufgezeigt.

| Vorteile                                                        |                                                                        | Nachteile                                                                                      |     |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| HD                                                              | ADP                                                                    | HD                                                                                             | ADP |
| Nichtinvasive Methoden<br>Präzise Bestimmung des Körpervolumens |                                                                        | Sehr teure Apparatur<br>Nicht überall verfügbar<br>Bestimmung des Körperfettanteils fehlerhaft |     |
|                                                                 | Untersuchungsdauer<br>kurz, Vorgang jederzeit<br>wiederholbar, einfach | Untersuchungsdauer<br>bis zu 30 Minuten                                                        |     |
|                                                                 | Anwendbar bei Kindern,<br>älteren Personen und<br>Kranken              | Hohe Kooperations-<br>Bereitschaft der<br>Probanden/innen erforderlich                         |     |

Tab. 10: Vor- und Nachteile von HD und ADP

<sup>12</sup> Vitalkapazität + Residualvolumen (Pschyrembel, 1998, S. 951)

### 2.2.2.3 Isotopendilution

Bei der Isotopendilutionsmethode erfolgt die Einbringung eines Isotops<sup>13</sup> in den Körper, mit dem Ziel, über Dosis und Konzentration des Isotops das Ganzkörperwasser (TBW) zu bestimmen (Heyward & Wagner, 2004, S. 38). Die Wahl des Isotops hängt von der Verfügbarkeit der Untersuchungsinstrumente ab. Beta-Zähler, Infrarotspektrophotometer oder Isotopen-Verhältnis-Massenspektrometer (IRMS) können dabei zur Anwendung kommen (Müller et al., 2007, S. 36). Das Isotop Tritiumoxid wurde früher, trotz seiner Radioaktivität, häufig verwendet. Heute greift man auf sogenannte stabile Isotope zurück. Beispielsweise bestimmen laut Schoeller (2005, S. 40) die Isotope Deuteriumoxid und Sauerstoff-18 das Ganzkörperwasser sehr präzise. Jedes dieser Isotope kommt auch auf natürliche Weise im Körper vor. Aus diesem Grund wird vor der Gabe des Isotops die Basiskonzentration (BK) in Blut, Speichel oder Urin ermittelt. Anschließend wird das Isotop oral oder intravenös verabreicht, um nach vier Stunden eine erneute Konzentration (K) in den Körperflüssigkeiten zu messen. Um den Flüssigkeitshaushalt nicht zu verändern, darf während dieser vier Stunden nichts gegessen oder getrunken werden (Schoeller, 2005, S. 40 f). Über folgende Gleichung kann laut Müller et al. (2007, S. 36) das Ganzkörperwasser errechnet werden:

$$\text{TBW [l]} = \text{Isotopen-Dosis [ml]} - \text{Mengenverlust nach 4 Stunden [ml]} / \text{K [ml/l]} - \text{BK [ml/l]}$$

Folglich kann auf Basis des 2-Kompartiment-Modells vom Ganzkörperwasser auf die fettfreie Masse und folglich auf den Körperfettanteil geschlossen werden. Dabei wird angenommen, dass die fettfreie Masse zu 73,2 % aus Wasser besteht und dass sich das Isotop gleichmäßig innerhalb von vier Stunden im Körper verteilt, ohne in dieser Zeit ausgeschieden oder verstoffwechselt zu werden (Heyward & Wagner, 2004, S. 37f).

$$\text{FFM [kg]} = \text{TBW [l]} / 0,73$$

Die Vor- und Nachteile dieser Methoden sind in nachfolgender Tabelle 11 dargestellt:

| Vorteile                                           | Nachteile                                |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Sehr präzise Messung des TBW                       | Invasive Methode (Oral weniger als i.v.) |
| Nur minimale Kooperationsbereitschaft erforderlich | Zeitintensiv                             |
|                                                    | Abhängig vom Flüssigkeitshaushalt        |

Tab. 11: Vor- und Nachteile der Isotopendilution

<sup>13</sup> Isotop = Atom desselben Elements, nur mit unterschiedlicher Anzahl an Neutronen



#### 2.2.2.4 Dual Energy X-Ray Absorptiometrie

Die DEXA-Methode unterteilt den Körper laut Müller et al. (2007, S. 40f) in die drei Komponenten Fettmasse, fettfreie Masse und Knochenmasse. Laut Heyward und Wagner (2004, S. 40) sowie Lohman und Chen (2005, S. 63) können mit der DEXA-Methode des Weiteren Knochenmineraliengehalt, Knochenmineraliendichte, Weichteilgewebemasse sowie die knochenfreie Magermasse bestimmt werden. Auch die Berechnung der Skelettmuskelmasse ist laut Müller et al. (2007, S. 40f) möglich.

Das Messprinzip, basierend auf Röntgenstrahlung, unterscheidet Photonenstrahlen zweier verschiedener Energien (daher der Name Dual-Energy). Die von einer Röntgenröhre abgegebenen Photonenstrahlen verlieren beim Durchdringen des Körpergewebes unterschiedlich an Energie (Müller et al., 2007, S. 40f). Diese Abschwächung der Photonenstrahlen ist abhängig von der Dicke, der Dichte sowie der chemischen Zusammensetzung des Gewebes (Heyward & Wagner, 2004, S. 40) und ermöglicht die Differenzierung der Komponenten Knochen, Fett und Weichteilgewebe. Knochenmasse hat eine hohe Abschwächung, Weichteilgewebe hat eine mittlere Abschwächung und Fettmasse hat eine niedrige Abschwächung (Davies & Murphy, 2005, S. 119). Dadurch lässt sich für jede Gewebeart ein spezifischer R-Wert ermitteln. Dieser ergibt sich laut Müller et al. (2007, S. 40f) aus dem Verhältnis der Photonenabschwächung (PA) bei niedriger gegenüber hoher Energie, die bei der DEXA-Methode für alle Individuen als konstant angenommen wird (Heyward & Wagner, 2004, S. 40).

$$R = \text{PA bei niedriger Energie} / \text{PA bei hoher Energie}$$

Bei der computergestützten Bildanalyse hat jeder Bildpunkt einen R-Wert und kann anhand dessen als Fett, fettfreie Masse oder Knochenmasse identifiziert werden (Müller et al., 2007, S. 40f).

Der DEXA-Methode liegen mehrere Annahmen zugrunde, auf die sich verschiedene Software- und Hardwarefirmen beziehen. Beispielsweise wird angenommen, dass die knöcherne Masse durch 40 - 45 % der gesamten Bildpunkte repräsentiert wird. Die Zusammensetzung des restlichen Gewebes wird daher nur mit den übriggebliebenen 55 - 60 % der Bildpunkte berechnet (Davies & Murphy, 2005, S. 119). Da in manchen Körperregionen, beispielsweise Armen oder Beinen, ein sehr hoher Knochenanteil besteht, kann es passieren, dass durch diese Annahme der tatsächliche Anteil des Weichteilgewebes nicht exakt bestimmt wird (Heyward & Wagner, 2004, S. 40 und Lohman & Chen, 2005, S. 64).

Eine weitere Annahme stützt sich darauf, dass die Messergebnisse von der Dicke des Gewebes unbeeinflusst sind, um bei der Berechnung des Körperfettgehalts eine Validität zu garantieren. Jedoch gilt dies laut Lohman und Chen (2005, S. 64) nicht mehr, sobald eine Person besonders adipös ist und Gewebe in über 25 cm Tiefe erfasst werden soll. Durch die Überlagerung von Knochen und Weichteilmasse kann zwischen diesen Komponenten nicht mehr differenziert werden, was erhebliche Ungenauigkeiten zur Folge hat bzw. das Ergebnis beeinflusst (Müller et al., 2007, S. 40f).

Obwohl die DEXA-Methode in einigen Literaturquellen als Referenzmethode angeführt (Heyward & Wagner, 2004, S. 27) und von Lohman und Chen (2005, S. 63) die theoretische und empirische Validität sogar bestätigt wird, gilt sie grundsätzlich nicht als „Golden Standard“-Methode zur Bestimmung des Körperfettanteils (Müller et al., 2007, S. 40f). Laut Davies und Murphy (2005, S. 119) finden Faktoren wie beispielsweise Geschlecht, Körperhöhe, Ausmaß der Fettleibigkeit, Flüssigkeitshaushalt oder Krankheitsstadium in den Modellen der Soft- und Hardwarefirmen nur unzureichend Berücksichtigung. Lediglich bezüglich Altersgruppen haben sich mathematische Modelle herauskristallisiert. Dennoch wird die DEXA-Methode aufgrund der zahlreichen Vorteile zur Bestimmung der Körperzusammensetzung häufig angewendet (Davies & Murphy, 2005, S. 119). Die Vor- und Nachteile der DEXA-Methode sind in nachfolgender Tabelle 12 übersichtlich dargestellt:

| <b>Vorteile</b>                                                                                | <b>Nachteile</b>                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Nichtinvasive Methode                                                                          | Ergebnis ist abhängig von verschiedenen Einflussfaktoren                          |
| Kooperationsbereitschaft der Probanden/innen nur geringfügig erforderlich, kein großer Aufwand | Nicht geeignet für stark adipöse Personen und Personen die größer als 193 cm sind |
| Kann in jeder Altersgruppe angewendet werden (Voraussetzung: adäquate Software)                | Unterschiedliche Hard- und Software erhältlich, Vergleiche daher schwer möglich   |
| Sehr häufig verfügbar in klinischen Settings                                                   | Differenziert nicht zwischen viszeralem und subkutanem Fettgewebe.                |
| Kurze Dauer 5 - 20 min                                                                         |                                                                                   |
| Geringe Strahlenbelastung                                                                      |                                                                                   |

Tab. 12: Vor- und Nachteile der DEXA-Methode

### **2.2.2.5 Neutronenaktivierungsanalyse**

Bei der Neutronenaktivierung wird der Körper kontrolliert mit Neutronen beschossen. Die Elemente im Körper fangen diese Neutronen ein und werden dadurch zu instabilen Isotopen, die bei der Rückkehr in einen stabilen Zustand Gammastrahlen aussenden. Diese Strahlen werden bei der Neutronenaktivierungsanalyse durch ein Detektorsystem erfasst, wodurch die Identifikation folgender chemischer Elemente möglich wird: Calcium, Natrium, Chlorid, Phosphor, Stickstoff, Wasserstoff, Kohlenstoff, Sauerstoff, Kadmium, Quecksilber, Eisen, Jod und Magnesium (Ellis, 2005, S. 57). Aus den zur Bestimmung der Körperzusammensetzung relevanten Elementen können laut Müller et al. (2007, S. 42) wiederum andere Komponenten des Körpers wie beispielsweise der Proteinanteil oder Mineraliengehalt bestimmt und Fettmasse sowie fettfreie Masse berechnet werden.

Obwohl die Neutronenaktivierungsanalyse laut Müller et al. (2007, S. 32) die genaueste nichtinvasive Methode zur Bestimmung chemischer Elemente ist, sprechen die hohen Kosten sowie die Strahlenbelastung für viele Untersucher gegen eine Verwendung in wissenschaftlichen Studien.

### **2.2.2.6 Bildgebende Verfahren: CT, MRT, Ultraschall**

Die Computertomographie differenziert mittels Röntgenstrahlung zwischen Fettgewebe und Muskelgewebe und stellt diese bildlich dar. Bei der Magnetresonanztomographie werden Signale von Wasserstoffatomkernen (Protonen), die in einem Magnetfeld mit Radiowellen angeregt werden, aufgenommen. Dadurch können Gewebe und Organe bildlich sehr detailliert dargestellt werden (Ross & Janssen, 2005, S. 89ff). Laut Müller et al. (2007, S. 42) ist mit beiden Methoden die Bestimmung des Organfettgehalts sowie der Organvolumina möglich, wobei die Computertomographie die günstigere der beiden Varianten darstellt. Ultraschallmessgeräte funktionieren mit Hochfrequenzschallwellen, die Ultraschallenergie reflektieren, sobald zwei unterschiedliche Gewebearten identifiziert werden. Das subkutane Fettgewebe an ausgewählten Körperstellen kann auf diese Weise relativ leicht erfasst und bildlich dargestellt werden (Bellisari & Roche, 2005, S. 122f).

Wird zwischen diesen drei bildgebenden Verfahren entschieden, fällt die Wahl eindeutig auf die Magnetresonanztomographie, weil sie den ganzen Körper erfasst, ohne ihn einer Strahlenbelastung auszusetzen. Da diese Methode vorwiegend im medizinisch-diagnostischen Bereich zum Einsatz kommt, ist der Zugang für wissenschaftliche Studien meist limitiert (Ross & Janssen, 2005, S. 108).

### 2.2.2.7 Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA)

Die bioelektrische Impedanzanalyse wird auch als elektrische Widerstandsmessung bezeichnet und ermittelt den Gesamtwiderstand des Körpers, die sogenannte Impedanz (Z). Dabei wird eine niedrige, kaum wahrnehmbare Dosis Wechselstrom von ca. 800 µA mit einer bestimmten Frequenz in den Körper geleitet (Schutz, 2004, S. 16). Wasser- und elektrolythaltiges Gewebe leiten den Strom und weisen aus diesem Grund nur geringe Widerstandswerte auf. Fettmasse und Knochenmasse dagegen sind schlechte Stromleiter und setzen ihm einen hohen Widerstand entgegen (Davies & Murphy, 2005, S. 120).

Die Impedanz (Z) resultiert aus zwei Messwerten, dem reinen Körperwiderstand (Resistance R) und dem sogenannten Blindwiderstand (Reactance Xc). Die Resistance gilt als Maß für das gesamte leitende Volumen und verhält sich umgekehrt proportional zum Körperwasser. Das bedeutet, je weniger Körperwasser in der Struktur vorhanden ist, desto höher ist der Widerstand. Die Reactance, auch bezeichnet als Maß für die Körperzellmasse, ist jener Widerstand, den Körperzellen und Gewebe dem Wechselstrom entgensetzen (Müller et al., 2007, S. 36). Laut Chumlea und Sun (2005, S. 79) wird die Impedanz aus diesen beiden Messwerten wie folgt berechnet.

$$Z^2 [\Omega] = R^2 [\Omega] + X_c^2 [\Omega]$$

Laut Müller et al. (2007, S. 36f) ist die weitere Bestimmung des Ganzkörperwassers, der fettfreien Masse, der Körperzellmasse sowie der extrazellulären Masse möglich.

Die Größe der Impedanz ist abhängig von der Frequenz, mit der Strom durch den Körper geleitet wird. Bei einer sehr geringen Frequenz von beispielsweise 5 kHz fließt der Strom nur durch das extrazelluläre Wasser, die Reactance ist dabei minimal, weil der Strom nicht in die Zellen eindringt. Wird die Frequenz erhöht, so fließt der Strom durch die Zellen und die Reactance steigt an. Allerdings wird dieser Effekt wieder reduziert, wenn eine sehr hohe Frequenz gewählt wird. Dann ist die Reactance wieder gering und die Impedanz kann rein aus der Resistance erklärt werden (Chumlea & Sun, 2005, S. 79f). Um dies besser nachvollziehbar zu machen, zeigt Abbildung 12 vereinfacht, wie hohe und niedrige Frequenzen das Gewebe passieren. Die Wahl der Frequenz für die bioelektrische Impedanzanalyse hängt davon ab, welche Komponenten ermittelt werden sollen. Je nachdem unterscheidet man die Einfrequenz-BIA (Single-frequency BIA) von der Mehrfrequenz-BIA (Multiple-frequency BIA).

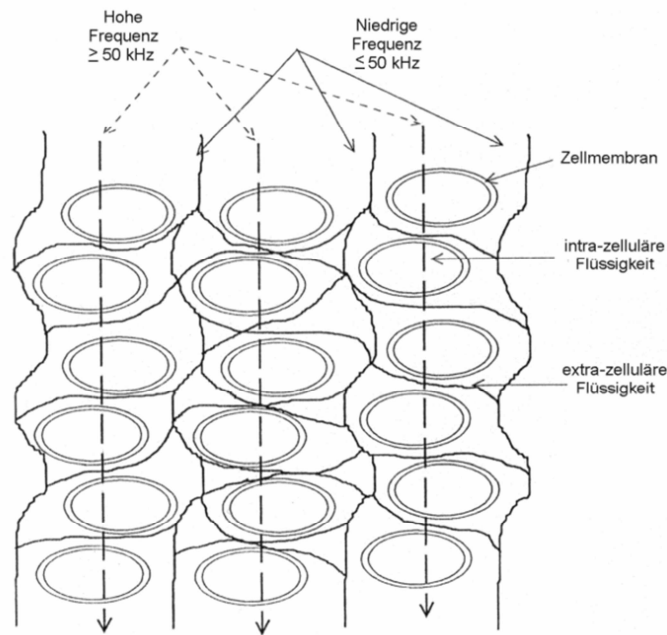


Abb. 12: vereinfachte Darstellung des Stromflusses durch das Gewebe (Roos et al., 1993, zit. in: Becker, 2002, S. 11)

Mit der Einfrequenz-BIA kann ausschließlich das extrazelluläre Wasser bestimmt werden, denn bei sehr niedrigen Frequenzen von 1 - 50 kHz wird der Strom nur in den extrazellulären Raum geleitet. Der intrazelluläre Raum bleibt unberührt, und die Resistance ergibt sich laut Schutz (2004, S. 16) rein aus dem extrazellulären Widerstand ( $R_e$ ), was folgende Formel von Müller et al. (2007, S. 37) verdeutlicht:

$$R [\Omega] = R_e [\Omega]$$

Zur Bestimmung des Ganzkörperwassers mit der Einfrequenz-BIA auf Basis des 2-Kompartiment-Modells gilt laut Chumlea und Sun (2005, S. 84), dass ein direkter Zusammenhang zwischen dem Impedanz-Index ( $RI = \text{Körperhöhe}^2 [\text{cm}] / R [\Omega]$ ) und dem Ganzkörperwasser besteht. Die Verwendung der Einfrequenz-BIA setzt dabei voraus, dass der Wasseranteil der fettfreien Masse mit ca. 73 % konstant ist (Schutz, 2004, S. 16). Da interindividuelle Unterschiede aufgrund von Alter, Geschlecht, Ausmaß der Fettleibigkeit oder Krankheit unberücksichtigt bleiben, ist diese Annahme jedoch zu hinterfragen (Chumlea & Sun, 2005, S. 84).

Strom mit einer Frequenz von über 50 kHz bis 5 MHz ermöglicht bei der Mehrfrequenz-BIA die Bestimmung des Ganzkörperwassers (Davies & Murphy, 2005, S. 120), weil der Strom die Zellmembran durchdringt und dadurch eine getrennte Erfassung von extrazellulärem sowie intrazellulärem Widerstand ( $R_i$ ) möglich wird (Müller et al., 2007, S. 37). Der Gesamtkörperwiderstand ist laut Schutz (2004, S. 16) demnach ein Maß für das gesamte leitende Volumen.

$$R [\Omega] = R_e \cdot R_i / (R_e + R_i)$$

Die Berechnungen zur Ermittlung des Ganzkörperwassers stützen sich allerdings wieder auf bestimmte Annahmen. So wird beispielsweise angenommen, dass der Körper aus zylindrischen Formen besteht, deren Längen proportional zur ihren Höhen sind (Davies & Murphy, 2005, S. 120). Der Körper wird dabei auf die Extremitäten sowie den Rumpf reduziert und der Kopf wird vernachlässigt (Chumlea & Sun, 2005, S. 81). Für einen zylindrischen Körper gilt, dass der Widerstand proportional zu seiner Länge und umgekehrt proportional zu seiner Fläche ist. Je größer daher die Länge der Gliedmaßen ist, desto höher ist auch der Widerstand bzw. je größer der Durchmesser der Gliedmaßen ist, desto niedriger ist der Widerstand. Das bedeutet, größere Menschen haben einen höheren R-Wert als kleine Menschen, adipöse Menschen hingegen haben einen niedrigeren R-Wert im Vergleich zu gleich großen schlanken Personen (Müller et al., 2007, S. 36f). Es wird auch davon ausgegangen, dass Strom gleichmäßig durch den Körper fließt, wodurch ein konstanter spezifischer Körperwiderstand ( $a$ ), unabhängig von Größe und Form des Körpers, angenommen werden kann (Chumlea & Sun, 2005, S. 80). Demnach kann laut Schutz (2004, S. 16) sowie Chumlea und Sun (2005, S. 80) das Ganzkörperwasser mit der Mehrfrequenz-BIA auf Basis des 2-Kompartiment-Modells wie folgt berechnet werden:

$$\text{TBW [l]} = a [\Omega \times \text{cm}] \cdot \text{Körperhöhe}^2 [\text{cm}] / R [\Omega]$$

Die Existenz zahlreicher mathematischer Modelle zur Bestimmung von Ganzkörperwasser, extrazellulärer Masse und fettfreier Masse auf Basis von Mehrkompartiment-Modellen beruht auf der Tatsache, dass Validierungsstudien mit unterschiedlichen Referenzmethoden durchgeführt wurden (Chumlea & Sun, 2005, S. 81). Wie bereits eingehend beschrieben, unterliegen auch „Golden Standard“-Methoden verschiedensten Einschränkungen, welche Fehler in der Bestimmung der Körperzusammensetzung nach sich ziehen können (Chumlea & Sun, 2005, S. 86). Laut Müller et al. (2007, S. 37) eignet sich zur Validierungsmessung besonders die Isotopendilution, weil ihre Zielgröße ebenso wie bei der bioelektrischen Impedanzanalyse das Ganzkörperwasser ist.

Die nachfolgenden Formeln von Lukaski et al. aus dem Jahre 1986 zur Bestimmung einzelner Parameter mittels der bioelektrischen Impedanzanalyse werden an dieser Stelle nur beispielhaft erwähnt, weil sie laut Müller et al. (2007, S. 38) nach wie vor häufig Verwendung finden:

$$\text{FFM} = 0,756 \cdot (\text{Größe}^2 [\text{cm}^2] / R [\Omega]) - (0,11 \cdot \text{Gewicht} [\text{kg}]) + (0,107 \cdot X_c [\Omega]) - 5,463$$

$$\text{ECM} = 0,189 \cdot (\text{Größe}^2 [\text{cm}^2] / R [\Omega]) + (0,052 \cdot \text{Gewicht} [\text{kg}]) - (0,0002 \cdot \text{Größe}^2 [\text{cm}^2] / X_c [\Omega]) + 1,03$$

$$\text{BCM} = \text{FFM} - (\text{ECW} / 0,73)$$

$$\text{TBW} = 0,277 \cdot (\text{Größe}^2 [\text{cm}^2] / R [\Omega]) - (0,14 \cdot \text{Gewicht} [\text{kg}]) - (0,08 \cdot \text{Alter} [\text{J}]) + (2,9 \cdot \text{Geschlecht}) + 4,65 \dots 0 \text{ für Frauen, } 1 \text{ für Männer}$$

Aktueller hingegen sind laut Müller et al. (2007, S. 38) die Formeln von Sun et al. aus dem Jahre 2003:

Männer:

$$\text{TBW} = 0,87 + (0,43 \cdot \text{Größe}^2 [\text{cm}^2] / R) + 0,20 \cdot \text{Gewicht} [\text{kg}]$$

$$\text{FFM} = -9,88 + (0,65 \cdot \text{Größe}^2 [\text{cm}^2] / R) + 0,26 \cdot \text{Gewicht} [\text{kg}] + 0,02 \cdot R [\Omega]$$

Frauen:

$$\text{TBW} = 3,27 + (0,45 \cdot \text{Größe}^2 [\text{cm}^2] / R) + 0,12 \cdot \text{Gewicht} [\text{kg}]$$

$$\text{FFM} = -11,03 + (0,70 \cdot \text{Größe}^2 [\text{cm}^2] / R) + 0,17 \cdot \text{Gewicht} [\text{kg}] + 0,02 \cdot R [\Omega]$$

Die bioelektrische Impedanzanalyse wird grundsätzlich als Ganzkörpermethode angewendet. Allerdings hängt der Körperwiderstand nicht nur vom Anteil des Gesamtkörperwassers sondern auch von dessen Verteilung ab (Schutz, 2004, S. 16). Die Widerstände von Armen und Beinen sind im Vergleich zum Rumpf höher und erklären daher ca. 80 % des Gesamtkörperwiderstandes. Das bedeutet, dass Fetteinlagerungen im Körperstammbereich weniger gut erfasst werden können als die Fettdepots in den Extremitäten (Müller et al., 2007, S. 38).

Bei der Messung werden vier Hautklebelektroden an Handgelenk und Knöchel angebracht (Schutz, 2004, S. 16) und ein homogenes elektrisches Feld mit konstanter Stromstärke und einer bestimmten Frequenz erzeugt (Müller et al., 2007, S. 37). Ein Elektrodenpaar wird distal an Handgelenk und Knöchel befestigt, welches als Signalelektrode dient, um den Strom einzuleiten. Proximal angebracht sind die beiden Messelektroden, die den Spannungsabfall messen und die Widerstände ausgeben (Müller et al., 2007, S. 33). Der/die Proband/in wird nüchtern, mit entleerter Blase, in liegender Position gemessen. Die Haut wird vor dem Messvorgang mit Alkohol entfettet und die

Elektrodenpaare werden auf der dominanten Seite platziert (Müller et al., 2007, S. 37). Die bioelektrische Impedanzanalyse ist auch segmental möglich, das heißt, es werden nur einzelne ausgewählte Körpersegmente untersucht (Schutz, 2004, S. 16). Die Messung erfolgt in diesem Fall von der linken zur rechten Hand, vom linken zum rechten Fuß (Chumlea & Sun, 2005, S. 81) oder im Falle einer Messung einzelner Extremitäten an ausgewählten Körperstellen. Letztere Methode erfordert die exakte Platzierung der Elektroden an den Referenzstellen (Müller et al., 2007, S. 38). Die Vor- und Nachteile der bioelektrischen Impedanzanalyse sind nun abschließend in Tabelle 13 zusammengefasst dargestellt:

| Vorteile                                                        | Nachteile                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nichtinvasiv                                                    | Gleichungen sind nicht allgemeingültig                                                                  |
| Einfache Handhabung                                             | Körperstatur (Längen und Breiten) kann Ergebnis beeinflussen                                            |
| Wenig Aufwand                                                   | Präzise Anbringung der Elektroden an die Referenzstellen notwendig                                      |
| Keine Kooperationsbereitschaft der Probanden/innen erforderlich | Ergebnisse sind abhängig vom Flüssigkeits- und Elektrolythaushalt                                       |
| Kurze Dauer<br>Beliebig oft wiederholbar                        | Beeinflussung unmittelbar vor der Messung durch: Nahrungsaufnahme, körperliche Aktivität, Blasenfüllung |
| Mobil einsetzbar                                                | Beeinflussung während der Messung durch: Körperposition, Raumtemperatur, Hauttemperatur,                |
| Geringe Kosten                                                  |                                                                                                         |

Tab. 13: Vor- und Nachteile der bioelektrischen Impedanzanalyse

### 2.2.2.8 Hautfaltendickemessung

Anthropometrische Messungen spielen eine wichtige Rolle bei der in vivo-Bestimmung der Körperzusammensetzung. Bei der Interpretation von anthropometrischen Werten wird davon ausgegangen, dass sich die Körperregionen bei der Vermessung in einem entspannten Zustand befinden und der Flüssigkeitshaushalt keinen Schwankungen unterliegt. Dies gilt besonders auch für die Hautfaltendickemessung, die zum einen die Dicke der Haut und zum anderen die Dicke des subkutanen adipösen Gewebes erfasst (Bellisari & Roche, 2005, S. 109ff).



Laut Cameron und Jones (2010, S. 103) werden bei der Vermessung 6 - 8 cm der Haut an ausgewählten Körperstellen mit Daumen und Mittelfinger zu einer Hautfalte zusammengezogen, um diese anschließend von der Muskelfaszie abzuheben. Mittels einer Kaliperzange wird die Hautfalte und somit die Dicke der Haut sowie die Dicke des subkutanen adipösen Gewebes innerhalb von 5 Sekunden vermessen. Der Mittelwert aus drei bis fünf Messungen wird meist als endgültiger Wert für die jeweilige Messstelle definiert (Müller et al., 2007, S. 33).

Die Hautfaltendicke kann laut Bellisari und Roche (2005, S. 112) an folgenden Stellen erfasst werden: subscapular am Rücken, suprailiacal oberhalb des Beckenkamms, paraumbilical am Bauch, am Axillarrand des großen Brustmuskels, am Trizeps, am Bizeps, medial und lateral der Wade sowie am Oberschenkel über der Patella. Messstellen werden in anderen Literaturquellen zusätzlich noch an Wange oder Kinn definiert, obwohl diese nur sehr wenig Aussagekraft besitzen und selten für die Berechnung von Parametern der Körperzusammensetzung herangezogen werden (Bellisari & Roche, 2005, S. 112). Schutz (2004, S. 15) empfiehlt die Messung an vier Körperstellen, am Trizeps, am Bizeps, subscapular am Rücken sowie suprailiacal oberhalb des Beckenkamms, um auf die Körperzusammensetzung rückzuschließen. Allerdings wird auch häufig paraumbilical am Bauch vermessen, was sich bei extrem adipösen Personen oft als schwieriges Unterfangen entpuppt, weil sich das Fettgewebe nur schwer von der Muskelfaszie abheben lässt (Müller et al., 2007, S. 34). Die Wahl der Anzahl der Hautfalten hängt demnach von der Zielgruppe ab, die vermessen wird und obliegt dem Untersucher selbst.

Um von der Summe der vermessenen Hautfaltendicken auf den Körperfettanteil oder die Körperdichte rückschließen zu können, wird von zwei Annahmen ausgegangen. Es wird angenommen, dass einige ausgewählte Körperstellen als repräsentativ für das gesamte subkutane Fettgewebe angenommen werden können und aus diesem Grund die Vermessung von zwei, drei oder vier Körperstellen ausreicht, um auf das Gesamtkörperfett oder die Körperdichte zu schließen (Schutz, 2004, S. 15). Die zweite Annahme geht davon aus, dass eine hohe Korrelation zwischen dem mittels Hautfaltendickemessung erfassten subkutanen Fettgewebe und dem Gesamtkörperfett, zu dem auch die um die inneren Organe gelegten Fettspeicher gehören, besteht (Schutz, 2004, S. 15 und Bellisari & Roche, 2005, S. 115). Folglich wird angenommen, dass zwischen subkutanem adipösen Gewebe und tiefer gelegenen Fettschichten ein konstantes Verhältnis existiert, wodurch die Erfassung des subkutanen Gewebes ausreicht, um auf das Gesamtkörperfett zu schließen. Allerdings wurden geschlechts- und

altersabhängige Unterschiede nachgewiesen und die Existenz dieses konstanten Verhältnisses wurde widerlegt (Bellisari & Roche, 2005, S. 114f).

Laut Cameron und Jones (2010, S. 103) gibt es bei der Hautfaltendickemessung zahlreiche Fehlerquellen, die beim Rückschluss auf das Körperfett oder der Körperdichte in Betracht gezogen werden müssen. Beispielsweise kann die Dicke der Haut zwischen den Versuchspersonen variieren und die Ergebnisse allgemeingültiger Gleichungen verfälschen. Auch die Zusammensetzung des subkutanen adipösen Gewebes spielt laut Cameron und Jones eine große Rolle bei der Interpretation der Daten. Die Komprimierbarkeit des Gewebes trägt wesentlich zum Ergebnis bei, ist jedoch je nach Alter und Geschlecht sehr unterschiedlich. Ebenso kann zu hoher Druck der Kaliperzange auf die Hautfalte dazu beitragen, dass extrazelluläre Flüssigkeit und adipöses Gewebe aus der Messstelle in ein anderes Gebiet entweichen. Ein Mangel an subkutanem adipösen Gewebe bei extrem kachektischen Personen kann das Abheben einer Hautfalte bzw. eine exakte Messung genauso erschweren, wie dies bei extrem adipösen Personen der Fall ist (Bellisari & Roche, 2005, S. 110). Das Alter beeinflusst laut Schutz (2004, S. 16) auch insofern die Messergebnisse, als sich mit zunehmendem Alter die inneren Fettspeicher vergrößern, die Hautfaltendicke hingegen unverändert bleibt. Die exakte Lokalisation der Messstelle beeinflusst das Ergebnis genauso wie interindividuelle Unterschiede in der Ausführung der Messung zwischen mehreren Untersuchern (Cameron & Jones, 2010, S. 103). Auch kurzzeitige Variationen können die Messergebnisse beeinflussen. Dazu zählen die unmittelbare Nahrungsaufnahme vor der Messung oder längere Stehzeiten, die sich auf den Flüssigkeitshaushalt besonders von Wade und Oberschenkel auswirken (Bellisari & Roche, 2005, S. 110). Aus diesem Grund gilt die Hautfaltendickemessung zur Bestimmung von Körperfettanteil oder Körperdichte laut Bellisari und Roche (2005, S.110) sowie Cameron und Jones (2010, S. 103) als wenig präzise.

Für die Entwicklung von mathematischen Modellen zur Vorhersage von Körperdichte und Körperfettanteil bedeutet dies, dass eine Validierung immer anhand einer gleichen oder ähnlichen Population erfolgen soll (Bellisari & Roche, 2005, S. 114). Folgende Gleichung von Jackson und Pollock aus dem Jahre 1978 veranschaulicht die Berechnung der Körperdichte mittels der Vermessung von drei Hautfaltendicken (Brust, Bauch und Oberschenkel) bei weißen Männern zwischen 18 und 61 Jahren (Heyward, 2010, S. 204):

$$D_b [\text{cm}^3] = 1,109380 - 0,0008267 \cdot \sum \text{SKF} [\text{mm}] + 0,0000016 \cdot \sum \text{SKF}^2 [\text{mm}] - 0,0002574 \cdot \text{Alter} [\text{J}]$$

Evans hat im Jahre 2005 mittels der Vermessung von drei Hautfaltendicken (Bauch, Oberschenkel und Trizeps) bei schwarzen und weißen Athleten/innen zwischen 18 und 34 Jahren folgende Gleichung zur Bestimmung des Körperfettanteils entwickelt (Heyward, 2010, S. 204):

$$\text{BF \%} = 8,997 + 0,2468 \cdot \sum \text{SKF [mm]} - 6,343 \cdot \text{Geschlecht} - 1,998 \cdot \text{Rasse}$$

...1 für Männer, 0 für Frauen, 1 für Schwarze, 0 für Weiße

Die Entscheidung darüber, welches mathematische Modell für die Berechnung von Körperdichte und Körperfettanteil zur Anwendung kommt, obliegt dem Untersucher selbst. Abschließend sind die zahlreichen Vor- und Nachteile der Hautfaltendickemessung zusammengefasst in Tabelle 14 dargestellt:

| Vorteile                                                        | Nachteile                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nichtinvasiv                                                    | Schwierige Handhabung                                                                                  |
| Wenig Aufwand                                                   | Fehler durch wechselnde Untersucher hoch                                                               |
| Kurze Dauer bei schlanken oder normalgewichtigen Personen       | Lange Dauer bei stark adipösen Personen oder stark kachektischen Personen                              |
| Keine Kooperationsbereitschaft der Probanden/innen erforderlich | Zahlreiche Einflüsse, durch: Dicke der Haut, Alter, Geschlecht, Flüssigkeitshaushalt, Nahrungsaufnahme |
| Beliebig oft wiederholbar                                       | Abweichungen der Messstellen führen zu ungenauen Ergebnissen                                           |
| Mobil einsetzbar                                                | Unterschiedliche Kaliper, Vergleiche zwischen ihnen schwierig                                          |
| Geringe Kosten                                                  | Es gibt keine allgemeingültigen Gleichungen                                                            |

Tab. 14: Vor- und Nachteile der Hautfaltendickemessung

### 2.2.2.9 Infrarot-Spektroskopie

Das Prinzip der Nahinfrarot-Spektroskopie basiert auf der Tatsache, dass Licht- und Wärmestraahlen einer bestimmten Wellenlänge von verschiedenen Substanzen im Körper unterschiedlich absorbiert, reflektiert oder gestreut werden. Auf diese Weise kann unterschiedliches Gewebe im Körper detektiert und die Zusammensetzung des Körpers bestimmt werden. Es wird meist eine Einpunktmessung am Bizeps der dominanten Seite durchgeführt (McArdle, Katch & Katch, 2009, S. 750f).

FUTREX® ist laut Heyward (2010, S. 225f) die einzig erhältliche kommerzielle Nahinfrarot-Spektroskopie. Die von den Infrarotdioden ausgehende Strahlung dringt bis zu 4 cm in das Gewebe ein. Ein Detektor misst die Intensität des zurückströmenden Lichts als optische Dichte, woraus der Körperfettanteil bestimmt werden kann.

Allerdings empfiehlt Heyward (2010, S. 226) die Verwendung der Nahinfrarot-Spektroskopie zur Bestimmung der Körperzusammensetzung nicht, weil viele Fehlerquellen in zahlreichen Studien festgestellt wurden, die als inakzeptabel gelten. Aus diesem Grund wird auf eine eingehende Beschreibung der Nahinfrarot-Spektroskopie verzichtet und es werden lediglich die Vor- und Nachteile zusammengefasst dargestellt:

| Vorteile                                                                     | Nachteile                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Nichtinvasiv                                                                 | Gleichungen sind nicht allgemeingültig                       |
| Einfache Handhabung, wenig aufwendig, kurze Dauer, beliebig oft wiederholbar | Körperstatur (Längen und Breiten) kann Ergebnis beeinflussen |
| keine Kooperationsbereitschaft der Probanden/innen erforderlich              | Gilt als wenig präzise                                       |
| Mobil einsetzbar                                                             |                                                              |
| Geringe Kosten                                                               |                                                              |

Tab. 15: Vor- und Nachteile der Infrarot-Spektroskopie

### 2.2.2.10 Zusammenfassung der Untersuchungsmethoden

Die zahlreichen Methoden mit ihren umfassenden theoretischen Hintergründen verweisen auf die Vielfalt, mit der man bei der Bestimmung der Körperzusammensetzung konfrontiert ist. Daher hat die überblicksmäßige Darstellung der Methoden mit ihren Mess- und Bestimmungsgrößen in der nachfolgenden Tabelle 16 den Zweck, die verschiedenen Möglichkeiten besser erfassen zu können. Die bildgebenden Verfahren, CT, MRT und Ultraschall, werden aufgrund der fehlenden Transparenz der zugrunde liegenden theoretischen Modelle nicht berücksichtigt.

|               | Methode                     | Messgröße                        | Bestimmungsgröße(n)                       |
|---------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------|
| Labormethoden | Ganzkörperkaliumzählung     | Ganzkörperkalium [mmol]          | BCM, FFM, FM                              |
|               | Densitometrie               | Körpervolumen [cm <sup>3</sup> ] | Körperdichte → FM                         |
|               | Isotopendilution            | Ganzkörperwasser [l]             | FFM, FM                                   |
|               | DEXA-Methode                | R-Wert                           | FFM, FM, Knochenmasse, Muskelmasse        |
|               | Neutronenaktivierung        | Chemische Elemente               | FFM, FM, Proteine, Mineralien             |
| Feldmethoden  | Ganzkörper-Mehrfrequenz-BIA | Widerstand → Impedanz [Ω]        | Ganzkörperwasser → FFM, FM, BCM, ECW, ICW |
|               | Hautfaltendickemessung      | ΣSKF [mm]                        | FM, Körperdichte                          |
|               | IR-Spektroskopie            | Optische Dichte                  | FM                                        |

Tab. 16: Überblicksmäßige Darstellung der Messmethoden

### 2.2.2.11 Überblick über aktuelle Validierungsstudien der BIA

Die bioelektrische Impedanzanalyse ist als Feldmethode für wissenschaftliche Studien am ehesten geeignet. Grund dafür ist, dass die Hautfaltendickemessung sowie die Nahinfrarot-Spektroskopie zahlreiche Fehlerquellen und Nachteile (siehe Kapitel 2.2.2.8 und 2.2.2.9) aufweisen, welche die Messgenauigkeit wesentlich bestimmen (Heyward, 2010, S. 213). Die Frage, ob die Ergebnisse der bioelektrischen Impedanzanalyse auch gute Übereinstimmungen mit den Resultaten verschiedenster Labormethoden bzw. „Golden Standard“-Methoden aufweisen und ob die Validität der BIA damit bestätigt werden kann, wird mit nachfolgender Tabelle 17 beantwortet.

| Methoden                                   | Probanden/innen                                                         | Unterschied                                                                                                                                                    | Zusammenhang                                                                                                              | Quelle                         |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Einfrequenz-BIA (Tanita-Waage) vs. DEXA    | Körperlich gesunde normalgewichtige Frauen, n=155                       | BF% & BF(kg): $p < 0,001$                                                                                                                                      | BF%: $r=0,792$<br>BF(kg): $r=0,927$                                                                                       | Kitano et al., 2001, S.123     |
| Einfrequenz- BIA vs. DEXA                  | Sportlich aktive gesunde normalgewichtige Frauen, n=18                  | FM(kg) und FFM(kg): $p > 0,05$                                                                                                                                 | FM(kg): $r > 0,94$<br>FFM(kg): $r > 0,74$                                                                                 | Andreoli et al., 2002, S. 188  |
| Einfrequenz- BIA vs. Dilutionsmethode      | Gesunde Frauen und Männer (♀ 93, ♂ 40)                                  | TBW(l): $p > 0,05$<br>BF%: $p > 0,05$                                                                                                                          | TBW: $r=0,94$<br>BF%: $r=0,99$                                                                                            | Evans et al., 2001, S. 841f    |
| Mehrfrequenz-BIA / Einfrequenz-BIA vs. TBK | Körperlich gesunde normalgewichtige Männer und Frauen n=50 (♀ 25, ♂ 25) | Unterschied: MF-BIA vs. TBK BCM(kg): $p < 0,001$<br>Unterschied: SF-BIA vs. TBK BCM(kg): $p < 0,001$<br>MF-BIA und SF-BIA überschätzen BCM                     |                                                                                                                           | Dittmar & Reber, 2004, S.698ff |
| Mehrfrequenz-BIA vs. Hydrodensitometrie    | Jugendliche Mädchen, n=102                                              | BF% & BF(kg): $p < 0,0001$                                                                                                                                     | BF%: $r=0,782$<br>BF(kg): $r=0,919$                                                                                       | Isjwara et al., 2007, S. 643ff |
| Mehrfrequenz-BIA vs. DEXA                  | Übergewichtige Frauen, n=24                                             | BF(kg): $p > 0,001$                                                                                                                                            | BF(kg): $r^2=0,92$                                                                                                        | Thomson et al., 2007, S. 773f  |
| Mehrfrequenz-BIA vs. ADP                   | Stark Übergewichtige Männer und Frauen n=119 (♀ 83, ♂ 36)               | Unterschied: BIA vs. ADP<br>BF(kg) alle: $p > 0,01$<br>BF(kg): ♀: $p < 0,01$<br>BF(kg): ♂: $p < 0,01$<br>BIA unterschätzt BF bei ♂<br>BIA überschätzt BF bei ♀ | BF(kg): alle: CCC=0,950, $r=0,955$ , Cb=0,994<br>♀: CCC=0,959, $r=0,964$ , Cb=0,995<br>♂: CCC=0,929, $r=0,973$ , Cb=0,954 | Horie et al., 2008, S. 351ff   |

Tab. 17: Validierungsstudien der BIA

Die p-Werte in Tabelle 17 zeigen, dass zwischen den Werten der BIA und ihrer Referenzmethoden trotz eines meist hohen linearen Zusammenhangs zum Teil ein signifikanter Unterschied besteht. Dies kann mehrere Gründe haben. So liefern laut Dittmar und Reber (2004, S. 701f) BIA-Geräte verschiedener Hersteller unterschiedliche Ergebnisse, weil die verwendeten mathematischen Algorithmen mit unterschiedlichen Referenzmethoden und Probandengruppen entwickelt wurden. Auch Heyward (2010, S. 213) verweist auf die Tatsache, dass zahlreiche Vorhersagegleichungen existieren, welche je nach Geschlecht, Alter, Ausmaß der Fettleibigkeit, sportlicher Aktivität oder ethnischer Herkunft unterschiedliche Ergebnisse liefern. Horie, Barbosa-Silva, Torrinhas, Túilo de Mello, Ceconello und Waitzberg (2008, S. 354) sind der Meinung, dass vor allem das Ausmaß der Fettleibigkeit sowie eine unterschiedliche geschlechtstypische Fettverteilung im Körperwasser zum Ausdruck kommen und mathematische Algorithmen aus diesem Grund an die Probandengruppe angepasst werden müssen.

Insgesamt gelangen nur drei der sieben Validierungsstudien zu dem Ergebnis, dass die Validität der bioelektrischen Impedanzanalyse bestätigt werden kann (siehe Evans et al., Thomson et al. und Horie et al.). Ein direkter Vergleich von Validierungsstudien ist jedoch schwierig, weil das Studiendesign sowie die Geräte, die verwendet wurden, nicht einheitlich sind. Zusammenfassend kann jedoch gesagt werden, dass die bioelektrische Impedanzanalyse, insbesondere die Mehrfrequenz-BIA, als die genaueste Feldmethode gilt und daher häufig in wissenschaftlichen Studien eingesetzt wird. Heyward (2010, S. 213) betont allerdings, dass die Vorhersagegenauigkeit der BIA von beeinflussenden Faktoren abhängt (siehe Kapitel 2.2.2.7) und diese Faktoren auch den Messfehler wesentlich bestimmen. Daher gilt es, diese Faktoren zu berücksichtigen, um valide Ergebnisse mit der bioelektrischen Impedanzanalyse zu erhalten.

### 3. ZIEL- UND PROBLEMSTELLUNG

Zusammengefasst bringen die theoretischen Grundlagen der Körperzusammensetzung sehr gut zum Ausdruck, dass trotz des breiten Spektrums an Messparametern sowie des vielfältigen Angebotes an Messmethoden eine exakte Bestimmung des Körperfettwertes in vivo nicht möglich ist. Die seit jeher entwickelten Methoden mit ihren unterschiedlichen mathematischen Modellen können lediglich auf die Körperzusammensetzung rückschließen (Heyward & Wagner, 2004, S. 3 und 27; Müller et al., 2007, S. 29). Das bedeutet, dass der wahre Körperfettgehalt des Menschen nicht tatsächlich gemessen, sondern nur abgeschätzt werden kann. Forscher/innen und Entwickler/innen sehen sich daher immer wieder dazu veranlasst, neue Technologien zur Bestimmung der Körperzusammensetzung einzusetzen, um den wahren Körperfettwert möglichst genau abschätzen zu können. Zunehmendes Interesse gewinnen in diesem Zusammenhang jene Methoden, die möglichst wenige Nachteile aufweisen.

Das Ziel der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit orientiert sich an dem Bedürfnis, neue Maßstäbe im Bereich Körperfettanalysen zu setzen. Zu diesem Zweck wird die Idee verwirklicht, die 3D Ganzkörperscantechnologie zur Körperfettbestimmung einzusetzen. Schwerpunkt ist die Entwicklung eines mathematischen Modells, das aus den Werten eines 3D Ganzkörperscanners einen Körperfettwert vorhersagen kann, der einem zuvor definierten Referenzwert gleicht. Um dies realisieren zu können, stützt sich die vorliegende wissenschaftlichen Arbeit auf die Daten einer Studie, welche im August 2010 von den Abteilungen Sport- und Leistungsphysiologie sowie Biomechanik, Bewegungswissenschaft und Sportinformatik des Institutes für Sportwissenschaft der Universität Wien gemeinsam mit dem ÖISM<sup>14</sup> durchgeführt wurde. In dieser Studie wurden von 139 Probanden/innen Körperfettwerte mittels drei verschiedener Feldmethoden bestimmt sowie äußere Erscheinungsmerkmale mit einem 3D Ganzkörperscanner ermittelt. Die Frage, welche der drei Feldmethoden für die Modellentwicklung herangezogen werden kann, wurde bereits im Kapitel 2.2.2.11 beantwortet. Um diese Entscheidung zusätzlich noch zu bekräftigen, wird das Verfahren nach Bland und Altman angewendet. Mit einem Bland-Altman Diagramm kann der Grad der Übereinstimmung der Messwerte zweier Messmethoden in der Software Microsoft EXCEL grafisch dargestellt werden. Dabei werden die Differenzen zwischen den Messwertreihen in Abhängigkeit vom Mittelwert der beiden Messungen in einem Koordinatensystem aufgetragen. Übersteigt die Schwankungsbreite eine bestimmte Grenze (Mittelwert der Differenz +/-

---

<sup>14</sup> Österreichisches Institut für Sportmedizin – Auf der Schmelz 6, 1150 Wien



1,96 · Standardabweichung), dann kann davon ausgegangen werden, dass eine der beiden Methoden ungenaue Ergebnisse liefert (Sachs & Hedderich, 2006, S. 302f). Die Ergebnisse der bioelektrischen Impedanzanalyse werden jenen der Infrarot-Spektroskopie (siehe Abb. 13) sowie jenen der Hautfaltendickemessung (siehe Abb. 14) in Form eines Punktdiagramms gegenübergestellt.

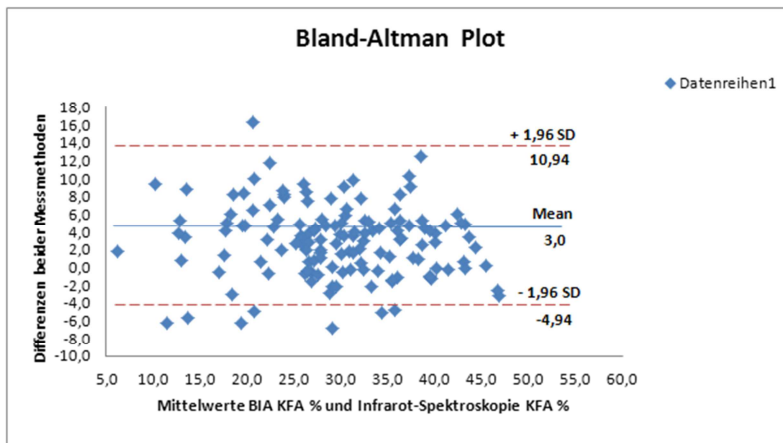


Abb. 13: Bland-Altman Plot: BIA vs. Infrarot-Spektroskopie

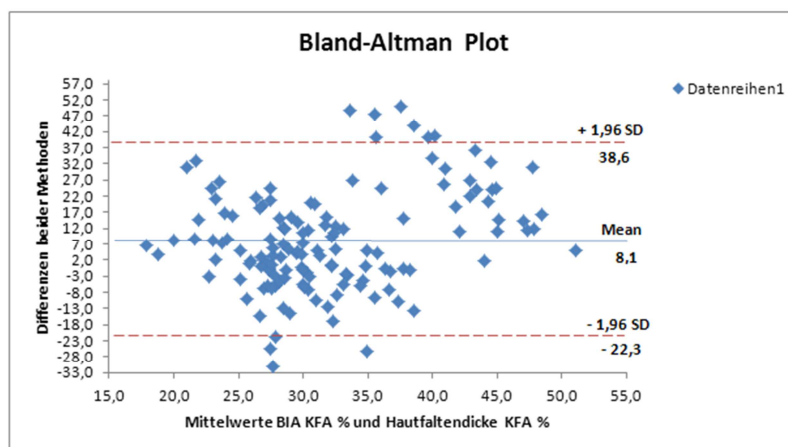


Abb. 14: Bland-Altman Plot: BIA vs. Hautfaltendickemessung

In beiden Diagrammen ist erkennbar, dass die Schwankungsbreite groß ist und über den definierten Grenzbereich hinausgeht, sodass in beiden Fällen nicht von einer Übereinstimmung zwischen den beiden Messmethoden ausgegangen werden kann. Die BIA gilt, verglichen mit der Infrarot-Spektroskopie sowie der Hautfaltendickemessung, als die genauere Feldmethode. Folglich werden auch die Ergebnisse der bioelektrischen Impedanzanalyse für die Entwicklung des mathematischen Modells zur Vorhersage von Körperfettwerten aus den Werten eines 3D Ganzkörperscanners herangezogen. Zuvor wird allerdings auf die 3D Ganzkörperscanttechnologie näher eingegangen, um dem/der Leser/in die Grundlagen dieser speziellen Technologie näherzubringen.

## 4. GRUNDLAGEN DER 3D KÖRPERSCANTECHNOLOGIE

Die Anthropometrie ist eine weltweit anerkannte Methode zur Erfassung menschlicher Körpermerkmale. Mittels anthropometrischer Messungen können laut Steward (2010, S. 455) Körperparameter wie beispielsweise Höhen- und Längenmaße, Breiten- und Tiefenmaße sowie Körperumfänge und Hautfaltendicken erhoben werden. Zu den Messgeräten zählen das Anthropometer, der Gleitzirkel, der Tasterzirkel, das Maßband sowie die Kaliperzange. Die Anthropometrie wird definiert als:

*„The scientific procedures and processes of acquiring surface anatomical dimensional measurements such as lengths, breadths, girths, and skinfolds of the human body by means of specialist equipment.” (Steward, 2010, S. 455)*

In zahlreicher Literatur sowie auch in der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit wird die Erforschung der Körperzusammensetzung als eigenständige wissenschaftliche Disziplin betrachtet, welche sich mit Methoden zur Bestimmung ausgewählter Parameter, darunter auch mit anthropometrischen Messmethoden, beschäftigt. Die Kinanthropometrie ist laut Steward (2010, S. 455) jedoch als eigenständige Wissenschaftsdisziplin zu bezeichnen, die wie folgt definiert wird:

*“The academic discipline that involves the use of anthropometric measures in relation to other scientific parameters and/or thematic areas such as human movement, physiology or applied health sciences.” (Steward, 2010, S. 455)*

Durch die Hervorhebung der Kinanthropometrie als eigenständige wissenschaftliche Disziplin wird deutlich, welche Relevanz ihr im Kontext der gesamten Thematik zugeschrieben wird. Die im Jahre 1986 gegründete “International Society for the Advancement of Kinanthropometry” beschäftigt sich mit der Optimierung altbewährter sowie der Entwicklung neuer anthropometrischer Methoden mit der Intention, durch die Erfassung ein- und mehrdimensionaler Körperparameter die Körperform zu beschreiben (Unbekannt, Zugriff am 26.02.2011). Einzelne eindimensionale Parameter wie Brustumfang oder Schulterbreite beschreiben laut Wells, Ruto und Treleaven (2008, S. 233) die Körperform nur ungenügend, weil mit ihnen eine Modellierung des gesamten Körpers bzw. der dreidimensionalen Gestalt nicht möglich ist. Eine neue und unserem Zeitalter entsprechende digitale Form der anthropometrischen Messung stellt die 3D Ganzkörperscanttechnologie dar (Wells et al., 2008, S. 233).

Die Idee der Erfassung von dreidimensionalen Körperparametern wurde erstmals von Hertzberg et al. im Jahre 1957 thematisiert (Wang et al., 2006, S. 809) und rückte Ende des 20. Jahrhunderts immer mehr in den Fokus verschiedener Wissenschaftsdisziplinen (Unbekannt, Zugriff am 26.02.2011). Ein wesentlicher Grund für die Weiterentwicklung dieser neuen Technologie war die Tatsache, dass traditionelle anthropometrische Messungen Fehlerquellen unterliegen und dadurch häufig unterschiedliche Ergebnisse liefern, die nur schwer miteinander vergleichbar sind. Diese Fehlerquellen resultieren aus der unterschiedlichen Handhabung der Geräte durch die Untersucher sowie aus der Vielzahl an Geräten, die von unterschiedlichen Herstellern entwickelt werden. Darüber hinaus sind anthropometrische Messungen zeitintensiv und verursachen hohe Kosten, werden sie bei großen wissenschaftlichen Studien eingesetzt (Cameron & Jones, 2010, S. 110). Aus diesem Grund wird laut Cameron und Jones (2010, S. 110) die digitale und vollautomatische Erfassung von Körperparametern immer gebräuchlicher.

## 4.1 Einsatzgebiete

Das Interesse an der dreidimensionalen Erfassung und Darstellung der Körperoberfläche hat sich in unterschiedlichen Bereichen unabhängig voneinander entwickelt. Insbesondere die Bekleidungsindustrie ist seit etwa mehr als zehn Jahren aktiv an der Weiterentwicklung der 3D Ganzkörperscanttechnologie beteiligt (Wells et al., 2008, S. 233). Das traditionelle Maßband kann Körperparameter zwar relativ genau vermessen, allerdings hängen die Dauer der Vermessung sowie die Genauigkeit der Messergebnisse vom Untersucher, in diesem Fall vom Schneider, ab. Die gemessenen Werte sind ausschließlich auf die Person bezogen, die vermessen wird und können daher nicht als Standardmaße herangezogen werden. Im Sinne der Massenproduktion wurden aus diesem Grund Standardgrößen entwickelt, die eine Kategorisierung der Bevölkerung in Bekleidungsgrößen ermöglicht. Um jedoch die Berücksichtigung von individuellen Besonderheiten unter ökonomischen Bedingungen zu gewährleisten, greift die Bekleidungsindustrie immer häufiger auf die 3D Ganzkörperscanttechnologie zurück (Shi, Sun & Chen, 2006, S. 205). Auch um dem/der Kunden/in beim Online-Einkauf eine virtuelle Kleideranprobe zu ermöglichen (Shi et al., 2006, S. 207). Auf der Homepage „My Virtual Model“<sup>15</sup> kann durch Eingabe ausgewählter Körperparameter das eigene Körpermodell erstellt, individuell definiert und Kleidung ausgewählt bzw. virtuell anprobiert werden. Dieser Vorgang ist beispielhaft in Abbildung 15 dargestellt.

---

<sup>15</sup> <http://www.mvm.com/cs/>

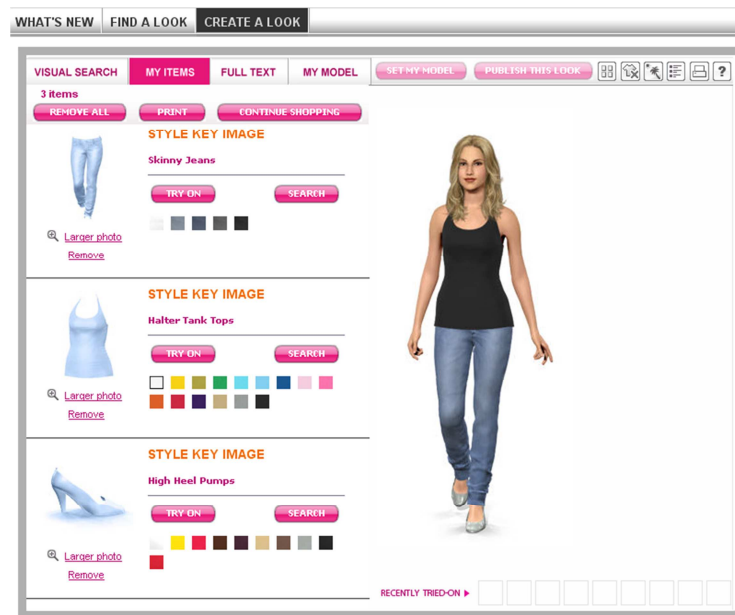


Abb. 15: Virtuelle Kleideranprobe

(erstellt auf <http://www.mvm.com/cs/shopForLooks/Default.aspx?endpoint=personalize>)

Das Interesse der Automobilindustrie an der Erfassung und Abschätzung der Körperform sowie an der Modellierung der dreidimensionalen menschlichen Gestalt (Steward, 2010, S. 455) ist in der Produktion von PKWs begründet, die durch individuelle Einstellungen ultimativen Komfort sowie vermehrt Sicherheit bieten. Die Reichweite des Fahrers zu den Armaturen, die optimale Sicht aus den Fenstern, die Platzierung der Sicherheitsgurte sowie der ideale Airbag-Abstand können beispielsweise in die Fertigung eines individuell angepassten Autos miteinbezogen werden (Robinette, Daanen & Paquet, 1999, S. 380).

Um die Forschung sowie die Entwicklung in den beiden Bereichen Bekleidungs- und Automobilindustrie voranzutreiben, hat eine groß angelegte Studie in den Jahren 1998 bis 2001 anthropometrische Daten von knapp 11000 Probanden/innen aus den USA, den Niederlanden und Italien erhoben. Die CAESAR<sup>16</sup> Studie ist die erste Studie, in der Körperparameter von Versuchspersonen aus der Normalbevölkerung mittels traditioneller anthropometrischer Methoden sowie der 3D Ganzkörperscanttechnologie erfasst und in einer anthropometrischen Datenbank gesammelt wurden (Robinette et al., 1999, S. 381f).

<sup>16</sup> Civilian American and European Surface Anthropometry Resource (Robinette et al., 1999, S. 380)

Vielfältige Anwendungsmöglichkeiten der dreidimensionalen Modellierung des menschlichen Körpers zeigen sich auch im medizinischen Bereich, beispielsweise in der Orthopädiemechanik, in der bei der Herstellung von Prothesen von der Erfassung und Abschätzung der Körperform profitiert werden kann (Wells et al., 2008, S. 233). Aber auch in der Prävention wird die 3D Ganzkörperscanttechnologie eingesetzt, insbesondere zur Klassifikation und Dokumentation von Behandlungsverläufen in Bezug auf Krankheiten, die in der Körperform zum Ausdruck kommen (Gallagher & Javed, 2009, S. 509f). In diesem Zusammenhang kann das Wissen um die Körperform auch dazu benutzt werden, die Medikamentendosis individuell zu kalkulieren (Wells et al., 2008, S. 232).

In der Forschung und Therapie von Adipositas spielt die 3D Ganzkörperscanttechnologie ebenfalls eine wichtige Rolle, weil das Screening von adipösen Personen sowie deren Kategorisierung vereinfacht und zeitsparend durchgeführt werden kann. Die Möglichkeit der dreidimensionalen Visualisierung kann die Evaluierung der Behandlungseffizienz unterstützen (Wells et al., 2008, S. 232) sowie adipöse Personen motivieren, eine Verhaltensänderung durchzuführen und beispielsweise abzunehmen (Wells et al., 2008, S. 237).

Der Einsatz der 3D Ganzkörperscanttechnologie hat sich mittlerweile auch im sportwissenschaftlichen Sektor zu einer prosperierenden Untersuchungsmethode entwickelt. Die erste wissenschaftliche Studie mit einem 3D Ganzkörperscanner der Firma Vitronic wurde von Schranz, Tomkinson, Olds und Daniell im Jahre 2010 durchgeführt und verfolgte das Ziel, anthropometrische Daten von Elite-Ruderern zu erheben und mit denen der Normalbevölkerung zu vergleichen (Schranz, Tomkinson, Olds & Daniell, 2010, S. 459). Dass ein Unterschied im Körperbau von Leistungssportlern und der Normalbevölkerung besteht, konnte in dieser Studie mit Hilfe der 3D Ganzkörperscanttechnologie sowie mit herkömmlichen anthropometrischen Maßbandmessungen nachgewiesen werden (Schranz et al., 2010, S. 467f).

## 4.2 Technische Aspekte

Die 3D Ganzkörperscanner der fünf führenden Herstellerfirmen Cyberware (USA), Human Solutions/Vitronic (Deutschland), Hamamatsu (Japan), Hamano (Japan) und TC2 (USA) variieren in ihrem technischen Hintergrund sowie ihrer Messmethodik (Daniell, 2007, S. 40f). Hinter allen Systemen steckt jedoch das gleiche Prinzip: Das auf eine Körperoberfläche projizierte Licht wird reflektiert und von mehreren Kameras gleichzeitig erfasst. Durch die Verwendung mathematischer Algorithmen rekonstruiert die Software, ausgehend von den detektierten Körperparametern, die Körperoberfläche und berechnet Längen- und Breitenmaße, Umfänge sowie Teil- und Ganzkörpervolumina (Wells et al., 2008, S. 233). Alle Systeme generieren aus den aufgenommenen Datenpunkten ein dreidimensionales Bild des Körpers mit dem Zweck, die Körperform besser zu visualisieren (Daniell, 2007, S. 40).

Ausgehend von der verwendeten Lichtquelle können derzeit in der Praxis drei verschiedene Arten von 3D Ganzkörperscannern unterschieden werden (Daniell, 2007, S. 40). Bei einem Laser-Scanner wird harmloses, nicht sichtbares Licht in Form von Punkten oder dünnen Lichtstreifen auf die Person in der Messkammer projiziert (Wells et al., 2008, S. 233). Die Laserstrahlen bewegen sich während des Scan-Vorgangs horizontal und/oder vertikal über die Körperoberfläche. Kameras, die so positioniert sind, dass auch tatsächlich der gesamte Körper erfasst wird, nehmen das am Objekt lokalisierte sowie das reflektierte Licht auf (Daniell, 2007, S. 40). Laser-Scanner wie beispielsweise der Hamamatsu Body Line® Scanner gelten als sehr exakt, sind allerdings laut Daanen und Van de Water (1998, zit. in: Daniell, 2007, S. 40) aus diesem Grund auch sehr teuer. Eine günstigere Alternative stellen sogenannte White-Light-Scanner dar, bei denen in der Basisversion sich bewegende Komponenten ausgespart werden. Sichtbares Licht wird in Form eines gleichsam angeordneten Streifenmusters auf die Person in der Messkammer projiziert. Die Datenpunkte werden ähnlich wie beim Laser-Scanner aufgenommen und berechnet. Eine Weiterentwicklung zur Verbesserung der Scan-Qualität des White-Light-Scanners wurde erreicht, indem die horizontalen weißen Streifen in bestimmten Intervallen bewegt werden, bevor die Erfassung der Datenpunkte stattfindet (Daniell, 2007, S. 41). Dies ist laut Wells et al. (2008, S. 233) beispielsweise beim Light-Stripe Scanner der Firma TC2 der Fall. Die Ultraschall-Technologie wird eher selten für wissenschaftliche Studien herangezogen. Da die linear angeordneten Radiowellen auch durch die Kleidung hindurch scannen können, wird diese Technologie bereits aus rein ethischen Gründen kaum für wissenschaftliche Zwecke verwendet (Wells et al., 2008, S. 233).

Die Gestaltmodellierung erfolgt unabhängig von der Lichtquelle für alle Systeme annähernd gleich. 3D Ganzkörperscanner sammeln auf hochpräzise Art und Weise detaillierte Informationen in Form von Rohdatenpunkten, die zunächst nur als unzusammenhängende Punktwolke zur Verfügung stehen. Diese Punktwolke wird anschließend von inkonsistenten Datenpunkten bereinigt, welche durch Reflektionen in der Scan-Kammer entstehen können. Um aus diesen unverbundenen Datenpunkten eine Gestalt zu modellieren, werden computergestützte Algorithmen verwendet, welche die Punkte miteinander verbinden und die Oberflächentopographie rekonstruieren. Dafür gibt es verschiedene Verfahren wie beispielsweise die mathematische Triangulation. In diesem Fall werden die Abstände der lokalisierten zu den reflektierten Datenpunkten berechnet und so auf die dreidimensionale Körperform rückgeschlossen (Wells et al., 2008, S. 233f).

Die Identifikation von bestimmten körperlichen Orientierungspunkten ist notwendig, um Körperparameter exakt bestimmen und am Ende ein vollständiges dreidimensionales Bild der Person generieren zu können (Wells et al., 2008, S. 234). Diese sogenannten anatomischen Schlüsselstellen, beispielsweise Kinn, Knie oder Fingerspitzen, können von der Software entweder automatisch oder manuell gesteuert detektiert werden (Daniell, 2007, S. 42). Die manuell gesteuerte Identifikation anatomischer Schlüsselstellen kann durch verschiedene Methoden zusätzlich unterstützt werden. Beispielsweise haben Schranz et al. (2010, S. 460) in ihrer Studie einundzwanzig anatomische Schlüsselstellen auf der rechten sowie zwei auf der linken Körperseite nach manueller Palpation mit kleinen dreieckigen Holzblöcken versehen, um die Identifikation im 3D Scanprogramm zu erleichtern. Dies ist besonders vorteilhaft, wenn bereits bekannt ist, dass der 3D Ganzkörperscanner Schwierigkeiten beim Erkennen von Farben und markanten Strukturen hat (Schranz et al., 2010, S. 460).

Während die konventionelle Fotografie das Ergebnis als Fläche eines Objekts auf einem Bild darstellt und die Körperform lediglich durch Licht und Schatten über der Oberfläche abschätzt, wird bei der 3D Ganzkörperscanttechnologie die Körperoberfläche explizit erfasst. Durch die dreidimensionale Visualisierung kann das Ergebnis der Untersuchung mittels verschiedener Darstellungsmöglichkeiten eindrucksvoll untermauert werden. Zum Beispiel besteht die Möglichkeit, ausschließlich die Umrisse der Person darzustellen oder die Person in Form einer Punktwolke bzw. in Form einer Gestalt mit geglätteter Oberfläche abzubilden. Auch können die Bilder überlagert werden, sodass ein direkter optischer Vergleich zweier Messungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten möglich ist (Wells et al., 2008, S. 234).

## 4.3 Genauigkeit und Präzision

Weiterentwicklungen in der 3D Ganzkörperscanttechnologie führten in den letzten Jahren gemeinsam mit den Fortschritten in der computerunterstützten Modellierung zu einer Optimierung der Rekonstruktion dreidimensionaler menschlicher Körperoberflächen (Horiguchi et al., Chen et al., Allen et al. & Ruto et al. zit. in: Wells et al., 2008, S. 233). Dennoch ist die traditionelle Anthropometrie durch die 3D Ganzkörperscanttechnologie nicht ersetzbar, weil die beiden Methoden nicht zur Gänze als gleichwertig betrachtet werden können. Beispielsweise ist die 3D Ganzkörperscanttechnologie nicht in der Lage Hautfaltendicken zu erfassen, die manuelle anthropometrische Hautfaltendickemessung hingegen schon (Steward, 2010, S. 455f). Da jedoch in wissenschaftlichen Studien auf die 3D Ganzkörperscanttechnologie gerne zurückgegriffen wird, gewinnt die Validierung dieser neuen Methode zunehmend an Bedeutung (Lu & Wang, 2010, S. 2049).

Die Validität ist eines der drei Hauptgütekriterien und neben der Objektivität und der Reliabilität die Hauptanforderung an ein Messinstrument. Sie bezeichnet das Ausmaß, in dem ein Messinstrument das misst, was es beansprucht zu messen und spiegelt die Qualität der Messmethode wider (Raithel, 2008, S. 47). Validierungsstudien sind essenziell, um die Messgenauigkeit sowie die Präzision einer neuen Methode zu demonstrieren (Wells et al., 2008, S. 236). Das Augenmerk liegt dabei auf der Erhebung von Einflussfaktoren, welche die Messgenauigkeit sowie die Präzision beeinflussen können (Lu & Wang, 2010, S. 2049).

Laut Wells et al. (2008, S. 236) gelten manuelle anthropometrische Messmethoden als die besten Referenzmethoden zur Validierung von 3D Ganzkörperscannern. Anders als bei der Hautfaltendicke ist der direkte Vergleich von Längen- und Breitenmaße sowie von Umfängen durchaus möglich, allerdings nur unter der Berücksichtigung von bestimmten beeinflussenden Faktoren. Beispielsweise kann die Messung mit dem Maßband durch die wenn auch nur geringfügige Kompression des Gewebes beim Auflegen des Maßbandes auf die Haut andere Ergebnisse liefern als ein 3D Ganzkörperscanner (Wells, 2008, S. 236). Bezüglich des Körpervolumens werden häufig densitometrische Methoden verwendet, um die Ergebnisse des 3D Ganzkörperscanners zu validieren, wie beispielsweise in der Studie von Wang, Gallagher, Thornton, Yu, Horlick und Pi-Sunyer (2006, S. 809). Die folgenden Seiten bieten dem/der Leser/in einen Überblick über den aktuellen Stand der Messgenauigkeit sowie der Präzision von 3D Ganzkörperscannern. Angesichts der Einflussfaktoren wird deutlich, wie sensibel der Umgang mit 3D Ganzkörperscannern im Rahmen von wissenschaftlichen Studien erfolgen muss, um wirklich valide Ergebnisse zu erhalten.



### 4.3.1 Messgenauigkeit

Laut Lu und Wang (2010, S. 2048) wird die Messgenauigkeit definiert als das Ausmaß, in dem der gemessene Wert dem wahren Wert entspricht, wobei als wahrer Wert jener der Referenzmethode herangezogen wird. Die Messgenauigkeit wird durch die mittlere Differenz der Ergebnisse der beiden Methoden ausgedrückt. Ein gepaarter t-Test beantwortet statistisch gesehen die Frage, ob ein signifikanter Unterschied in den mittleren Differenzen der beiden Methoden besteht oder nicht (Lu & Wang, 2010, S. 2049).

Wang et al. (2006, S. 809) haben die Ergebnisse eines 3D Ganzkörperscanners der Firma Hamamatsu hinsichtlich der Messgenauigkeit mittels anthropometrischer Maßbandmessungen sowie der Hydrodensitometrie validiert. Dabei wurden fünf Umfänge, eine Länge, das Ganzkörpervolumen sowie der prozentuelle Gesamtkörperfettgehalt zwischen den drei Messmethoden verglichen (Wang et al., 2006, S. 812). Insgesamt nahmen 63 männliche und weibliche Probanden zwischen 6 und 83 Jahren an der Studie teil (Wang et al., 2006, S. 809). Der prozentuelle Ganzkörperfettanteil wurde sowohl bei der 3D Ganzkörperscanttechnologie sowie bei der Hydrodensitometrie mittels der Gleichung von Siri (siehe Kapitel 2.2.2.2) bestimmt (Wang et al., 2006, S. 810f). Ein Vergleich der Messergebnisse zwischen den drei Methoden ergab, dass das Ganzkörpervolumen sowie die Umfänge gemessen mit dem 3D Ganzkörperscanner signifikant höher waren als die Ergebnisse der Hydrodensitometrie bzw. der Maßbandmessungen. Auch für die Oberschenkellänge konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Ergebnissen der beiden Methoden nachgewiesen werden, allerdings ist die Oberschenkellänge gemessen mit dem 3D Ganzkörperscanner signifikant niedriger als mit dem Maßband (Wang et al., 2006, S. 813). Dies verdeutlichen die ersten drei p-Werte in Tabelle 18, die in jedem Fall kleiner als das gewählte Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$  sind. Obwohl ein signifikanter Unterschied zwischen den Ergebnissen der Ganzkörpervolumina, der Umfänge sowie der Länge der drei Methoden besteht, wird betont, dass die Unterschiede sehr gering sind und diese Parameter mit dem 3D Ganzkörperscanner dennoch sehr präzise bestimmt werden können (Wang et al., 2006, S. 815). Als besonders präzise gelten hingegen die Messergebnisse des 3D Ganzkörperscanners in Bezug auf den prozentuellen Ganzkörperfettgehalt. Es konnte in der Validierungsstudie von Wang et al. (2006, S. 813) kein signifikanter Unterschied zwischen den Werten des 3D Ganzkörperscanners und der Hydrodensitometrie aufgedeckt werden. Dies ist erkennbar am p-Wert in Tabelle 18, der eindeutig größer als das gewählte Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$  ist.

| Variable               | 3D Ganzkörperscanner | Hydrodensitometrie Maßbandmessung | Differenz    | p-Wert |
|------------------------|----------------------|-----------------------------------|--------------|--------|
| Ganzkörpervolumen (l)  | 81,94 ± 3,97         | 81,48 ± 3,98                      | -0,46 ± 0,11 | 0,0001 |
| Hüftumfang (mm)        | 1056,3 ± 22,5        | 1037,3 ± 21,8                     | -19,0 ± 2,7  | 0,0001 |
| Oberschenkellänge (mm) | 206,1 ± 4,0          | 207,8 ± 4,0                       | 1,7 ± 0,7    | 0,0146 |
| Ganzkörperfett (%)     | 28,72 ± 1,69         | 29,45 ± 1,59                      | 0,72 ± 1,02  | 0,4801 |

Tab. 18: Messgenauigkeit 3D Scan, Prüfung auf Unterschied (exemplarische Darstellung, unvollständig übernommen von Wang et al., 2006, S. 813)

Um sicherzustellen, dass trotz eines signifikanten Unterschiedes zwischen den Messmethoden ausgewählte Körperparameter mit dem 3D Ganzkörperscanner dennoch sehr präzise erfasst werden können, bedarf es standardisierter Werte, anhand derer die Werte des 3D Ganzkörperscanners verglichen werden können. Laut Lu und Wang (2010, S. 2049) ist es sinnvoll, die mittleren Differenzen der zwei Methoden mithilfe einer standardisierten Norm (ISO 20685) zu interpretieren, um auf diese Weise zu klären, ob die maximal erlaubte Differenz überschritten worden ist.

In der Studie von Lu und Wang (2010, S. 2048f) wurden 263 Probanden/innen im Alter von 18 bis 30 Jahren sowie eine Schaufensterpuppe hinsichtlich zwölf Körperparameter (drei Breitenmaße, sechs Längenmaße und drei Umfänge) mittels dem Vitus-3D 1600 Body-Scanner® der Firma Vitronic sowie anthropometrischen Maßbandmessungen erfasst. Ein Vergleich der Messergebnisse zwischen den beiden Methoden ergab bezüglich der Messgenauigkeit, dass bei den Probanden/innen ein signifikanter Unterschied in den Ergebnissen von acht Körperparametern besteht und alle Werte die ISO-Norm übersteigen. Diese inakzeptable Messgenauigkeit wird von Lu und Wang (2010, S. 2050f) als Schwankungsbreite bezeichnet und auf individuelle bzw. situative Einflussfaktoren zurückgeführt, auf die im Kapitel 4.3.3 näher eingegangen wird. Beim Vergleich der Messergebnisse mit jenen der Schaufensterpuppe wird kein signifikanter Unterschied in allen zwölf Körperparametern nachgewiesen. Die Ergebnisse der Schaufensterpuppe liegen unterhalb der ISO-Norm, was bedeutet, dass die Werte des 3D Ganzkörperscanners grundsätzlich sehr genau sind (Lu & Wang, 2010, S. 2052). Die Ergebnisse der Messgenauigkeit sind in der nachfolgenden Tabelle 19 für einige ausgewählte Körperparameter dargestellt.

| Variable       | MAD (mm)<br>Probanden/innen        | MAD (mm)<br>Schaufensterpuppe | ISO Kriterium<br>(mm) |
|----------------|------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| Körperhöhe     | 5,76 (nicht sign.)                 | 2,76 (nicht sign.)            | 4,00                  |
| Schulterbreite | 8,06 (sign. bei $\alpha = 0,05$ )  | 0,86 (nicht sign.)            | 4,00                  |
| Bauchumfang    | 14,73 (sign. bei $\alpha = 0,05$ ) | 3,14 (nicht sign.)            | 9,00                  |
| Armlänge       | 10,38 (nicht sign.)                | 6,40 (nicht sign.)            | 5,00                  |

Tab. 19: Messgenauigkeit 3D Scan, Evaluation einiger exemplarischer Ergebnisse (unvollständig übernommen von Lu & Wang, 2010, S. 2051ff)

### 4.3.2 Präzision

Die Präzision einer Messmethode wird laut Lu und Wang (2010, S. 2048) definiert als der Unterschied, der durch wiederholte Messungen ein und derselben Messmethode auftritt. Sie wird durch die mittlere Differenz der Ergebnisse innerhalb einer Methode ausgedrückt und durch einen gepaarten t-Test statistisch hinterfragt. Da es keine ISO-Norm bezüglich der Präzision gibt, mit der die Ergebnisse verglichen werden können, haben Lu und Wang in ihrer Studie die Ergebnisse des 3D Ganzkörperscanners mit traditionell anthropometrisch erhobenen Ergebnissen einer großen amerikanischen Studie (ANSUR<sup>17</sup>) aus den Jahren 1987 - 1988 verglichen. In dieser Studie wurde die größte mittlere Differenz von vier Messungen als Kriterium definiert, das über die Präzision entscheidet (Lu & Wang, 2010, S. 2048f).

Um die Präzision zu ermitteln, wurden die 263 Probanden/innen sowie die Schaufensterpuppe dreimal hintereinander gescannt. Die mittleren Differenzen der Werte der Probanden/innen waren sehr klein, was bedeutet, dass die Präzision des 3D Ganzkörperscanners grundsätzlich sehr hoch ist. Ein Vergleich mit jenen Werten der amerikanischen Studie, die als Kriterium definiert wurden, untermauerte diese Tatsache. Wird die Schwankungsbereite reduziert, so wird die Präzision noch weiter verbessert, was am Beispiel der Schaufensterpuppe deutlich zu erkennen ist (Lu & Wang, 2010, S. 2050). Die Ergebnisse bezüglich der Präzision sind in Tabelle 20 anhand einiger ausgewählter Körperparameter beispielhaft dargestellt.

<sup>17</sup> Anthropometric Survey (Gordon, Bradtmiller, Clauser, Churchill, McConville, Tebbetts & Walker, 1989, zit. in: Lu & Wang, 2010, S. 2050)

| Variable       | MAD (mm)<br>Probanden/innen | MAD (mm)<br>Schaufensterpuppe | max. erlaubter<br>Fehler (mm)<br>ANSUR-Studie |
|----------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------|
| Körperhöhe     | 2,08 (nicht sign.)          | 0,86 (nicht sign.)            | 4,14                                          |
| Schulterbreite | 5,73 (nicht sign.)          | 0,82 (nicht sign.)            | 6,46                                          |
| Bauchumfang    | 5,13 (nicht sign.)          | 2,75 (nicht sign.)            | 10,70                                         |
| Armlänge       | 6,69 (nicht sign.)          | 5,51 (nicht sign.)            | -                                             |

Tab. 20: Präzision 3D Scan, Evaluation einiger exemplarischer Ergebnisse (unvollständig übernommen von Lu & Wang, 2010, S. 2051ff)

### 4.3.3 Einflussfaktoren auf Messgenauigkeit und Präzision

Lu und Wang (2010, S. 2050f) haben in ihrer Studie Umstände formuliert, durch welche die Messgenauigkeit sowie die Präzision des 3D Ganzkörperscanners beeinflusst werden können. Dazu zählen bereits minimale Veränderungen der Körperposition, hervorgerufen beispielsweise durch die Atmung oder durch unwillkürliche Muskelaktivitäten. Das Beibehalten ein und derselben Position während den Messungen, das Tragen einheitlicher Kleidung sowie eine klare Definition der Atemlage tragen zu einer Verbesserung von Messgenauigkeit und Präzision bei (Lu & Wang, 2010, S. 2050f).

Dass Körperparameter, die mit verschiedenen Methoden ermittelt werden, nicht ohne Weiteres miteinander vergleichbar sind, zeigt auch eine Studie von Han, Nam und Choi (2010, S. 539). Sie führen unterschiedliche Ergebnisse betreffend Längen- und Breitenmaße bzw. Umfänge auf bestimmte Faktoren zurück, die durch technische Aspekte des 3D Ganzkörperscanners bzw. durch unterschiedliche Algorithmen bedingt sein können. Das Ziel ihrer Studie war konkret, einerseits Unterschiede in den Ergebnissen zwischen zwei Methoden aufzudecken, andererseits mögliche Ursachen für diese unterschiedlichen Ergebnisse herauszufinden. Darüber hinaus wurden auch Richtlinien erstellt, deren Beachtung im Vorfeld bei weiteren Studien sinnvoll erscheint (Han et al., 2010, S. 530).

Dazu wurden Daten von 1794 Probandinnen im Alter von 20 und 75 Jahren herangezogen, welche zwischen 2003 und 2004 bereits im Zuge einer anderen Studie mittels traditioneller Anthropometrie sowie mit dem Scanner WB4 der Firma Cyberware erhoben wurden. Es wurden insgesamt vierzehn Körperparameter miteinander verglichen: zwei Höhenmaße, acht Umfänge und vier Längenmaße. Stark abweichende Daten (1,97 % der gesamten Daten) führten Han et al. (2010, S. 531) auf eine schlechte Qualität der Scanergebnisse bzw. auf manuelle Messfehler zurück und wurden von der Studie ausgeschlossen.

Die Identifikation der anatomischen Schlüsselstellen erfolgte im Scanprogramm manuell, weil die zu diesem Zeitpunkt existierende Software zur automatischen Identifikation der Schlüsselstellen noch nicht zur Gänze validiert wurde (Han et al., 2010, S. 531). Anhand der mittleren Differenz werden in der nachfolgenden Tabelle 21 exemplarisch einige ausgewählte Ursachen für unterschiedliche Ergebnisse der beiden Messmethoden sowie Richtlinien, um diese zu vermeiden, vorgestellt. Eine negative mittlere Differenz bedeutet, dass die Ergebnisse des 3D Ganzkörperscanners kleiner sind als die Ergebnisse der manuellen Messung. Eine positive mittlere Differenz deutet auf den umgekehrten Zustand hin (Han et al., 2010, S. 531f).

Die Studie untersuchte auch, welchen Einfluss Alter und/oder Ausmaß der Adipositas auf die mittleren Differenzen der beiden Methoden haben können. Dazu wurden die Probandinnen in sechs Altersgruppen und vier BMI-Gruppen unterteilt. Das Alter beeinflusst vorwiegend den Unterbrustumfang sowie die laterale Schulterlänge. Je älter eine Frau ist, desto eher hängt die Brust nach unten und verfälscht den Wert bei der Messung mit dem 3D Ganzkörperscanner. Dasselbe gilt auch für die nach vorne gebeugte Haltung, die im Alter häufiger eingenommen wird und den Wert der Schulterlänge verfälschen kann. Der Einfluss des BMI betrifft vor allem Körperumfänge, weil ein Mehr an Körperfett die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass das Gewebe bei der manuellen Vermessung eingedrückt wird (Han et al., 2010, S. 537f). Eine Interaktion zwischen BMI und Alter war vor allem für zwei Körperparameter signifikant, für den Brustumfang ( $p = 0,024$ ) und für den Bauchumfang ( $p = 0,000$ ). Mit zunehmendem Alter erhöhen sich die Differenzen der beiden Parameter in allen BMI-Gruppen mit Ausnahme bei den untergewichtigen Frauen (Han et al., 2010, S. 538f).

Zusammenfassend wird empfohlen, bei den Unterbrustumfängen, Brustumfängen und Armlängen Regressionsgleichungen zu verwenden, um diese Ergebnisse zu korrigieren. Die Regressionsgleichungen wurden noch in derselben Studie statistisch überprüft und als brauchbar befunden (Han et al., 2010, S. 539).

| Parameter        | MD (mm)                              | Ursache                                                                                                                                                                 | Fazit / Richtlinie(n)                                                                                                                                       |
|------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Körperhöhe       | 4,3 (sign. bei $\alpha = 0,05$ )     | Das Haarvolumen wird bei der manuellen Messung eingedrückt, der Scanner hingegen berücksichtigt dies nicht                                                              | Tragen einer enganliegenden Badekappe im 3D Scanner, damit das Haarvolumen komprimiert wird<br>Han et al., 2010, S. 533                                     |
| Halshöhe         | - 6,3 (sign. bei $\alpha = 0,01$ )   | Der gesamte Körper wird nicht vollständig gescannt, meist werden die Füße abgeschnitten                                                                                 | Gerät besser kalibrieren<br>Han et al., 2010, S. 533                                                                                                        |
| Halsumfang       | 3,2 (nicht sign.)                    | Der Scanner berechnet die Einbuchtung an der Wirbelsäule mit ein, das Maßband misst in diesem Fall über die Einbuchtung hinweg                                          | Scan Software anpassen, damit die Einbuchtung nicht mit berechnet wird<br>Han et al., 2010, S. 533                                                          |
| Brustumfang      | 38,8 (sign. bei $\alpha = 0,001$ )   | Der Scanner misst horizontal zum Boden, dies ist bei manuellen Messungen nicht immer der Fall<br><br>Das Maßband komprimiert bei der Messung das Gewebe                 | Bei manueller Messung auf horizontale Platzierung des Maßbandes achten<br><br>Regressionsgleichung unter Einbezug des BMI<br>Han et al., 2010, S. 534 & 538 |
| Bauchumfang      | 15,2 (sign. bei $\alpha = 0,001$ )   | Atmung kann das Messergebnis beeinflussen                                                                                                                               | Konkrete Vorgaben<br>Han et al., 2010, S. 535                                                                                                               |
| Schulterlänge    | 11,1 (sign. bei $\alpha = 0,001$ )   | Unterschiedliche anatomische Schlüsselstellen und Messwege oder unterschiedliche Haltungen                                                                              | Konkrete Definitionen und Vorgaben<br>Han et al., 2010, S. 536                                                                                              |
| Armlänge         | - 22,1 (sign. bei $\alpha = 0,001$ ) | Unterschiedliche Positionen im Scanner (Bsp.: Arme abduziert, Muskulatur gespannt) und bei der manuellen Messung (Bsp.: Arme hängen locker seitlich am Körper herunter) | Gleiche Positionen im Scanner sowie bei der manuellen Messung oder Regressionsgleichung<br>Han et al., 2010, S. 536, 538                                    |
| Unterbrustumfang | 18,5 (sign. bei $\alpha = 0,001$ )   | Wenn die Brust nach unten hängt kann der Scanner den Unterbrustumfang nicht bestimmen sondern misst die Länge über der Brust                                            | Regressionsgleichung unter Einbezug des Alters<br>Han et al., 2010, S. 537f                                                                                 |

Tab. 21: Einflussfaktoren: exemplarische Zusammenfassung (Han et al., 2010, S. 533 - 538)

#### 4.3.4 Zusammenfassung

Wang et al. (2006, S. 813f) haben überprüft, ob lineare Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen des 3D Ganzkörperscanners, der Hydrodensitometrie sowie der manuellen anthropometrischen Methode bestehen. Die Ganzkörpervolumina, ermittelt mit dem 3D Ganzkörperscanner sowie mit der Hydrodensitometrie, korrelieren sehr hoch miteinander ( $r^2 = 0,999$ ). Dasselbe gilt auch für die Umfänge gemessen mit dem 3D Ganzkörperscanner sowie mit dem Maßband ( $r^2 = 0,9889$ ). Beide Korrelationen sind in Form von Scatterplots in Abbildung 16 dargestellt.

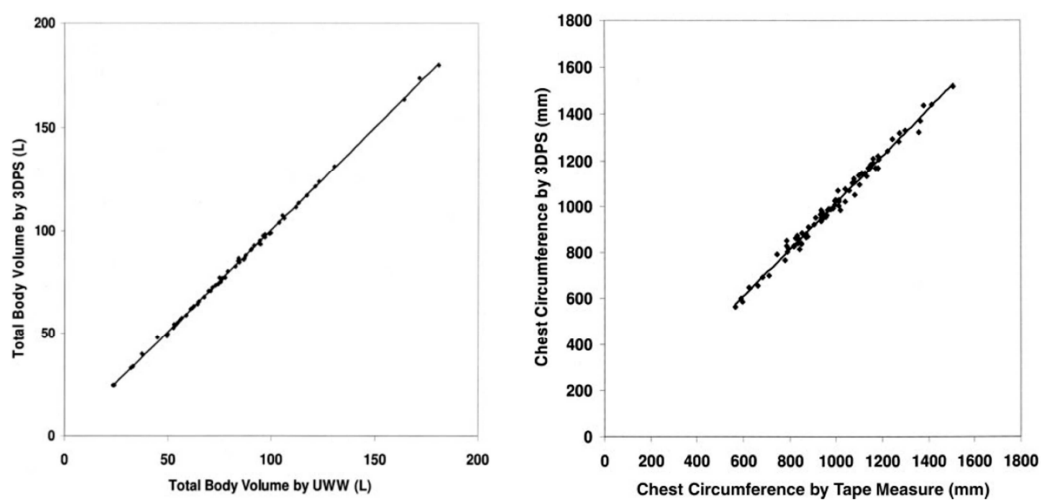


Abb. 16: Prüfung auf Zusammenhang: 3D Scan, Körpervolumen, Brustumfang (Wang et al., 2006, S. 813f)

3D Ganzkörperscanner gelten auch aus diesem Grund als sehr genau (Lu & Wang, 2010, S. 2052) und liefern valide Ergebnisse, welche zur Ermittlung von weiteren Körperparametern wie beispielsweise des Körperfettanteils weiterverwendet werden können. Hinsichtlich dem prozentuellen Ganzkörperfettgehalt wurde in der Studie von Wang et al. (2006, S. 813f) ein geringer aber dennoch guter Zusammenhang ( $r^2 = 0,6544$ ) zwischen der 3D Ganzkörperscanttechnologie und der Hydrodensitometrie aufgedeckt. Obwohl kein signifikanter Unterschied zwischen den Ergebnissen der Methoden nachgewiesen werden konnte, ist in Abbildung 17 eine hohe Streubreite zu erkennen. Wang et al. (2006, S. 815) weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass dies in der Gleichung von Siri begründet sein kann. Bereits geringe Unterschiede in den Körpervolumina können in der Körperdichte stark zum Ausdruck kommen und einen großen Unterschied im Gesamtkörperfettgehalt erzeugen.

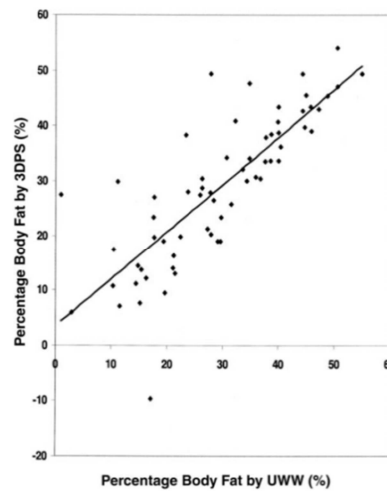


Abb. 17: Prüfung auf Zusammenhang: 3D Scan, %BF (Wang et al., 2006, S. 814)

Die Entwicklung eines mathematischen Modells zur Bestimmung des prozentuellen Gesamtkörperfettgehalts aus den Werten eines 3D Ganzkörperscanners ist ein interessantes und bislang noch wenig erforschtes Themengebiet. Daher widmet sich das nachfolgende Kapitel eingehend einerseits der Idee, andererseits deren Umsetzung, ein mathematisches Modell zur Bestimmung des Körperfettanteils aus den Werten eines 3D Ganzkörperscanners zu entwickeln. Eine Zusammenfassung der zahlreichen Vorteile sowie der Nachteile der 3D Ganzkörperscanttechnologie sind abschließend in Tabelle 22 aufgelistet.

| Vorteile                                                                  | Nachteile                                  |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Nicht invasiv (kein Körperkontakt erforderlich)                           | Standardisierte Messbedingungen notwendig  |
| Einfache und schnelle Durchführung                                        |                                            |
| Hohe Genauigkeit, sehr präzise Methode                                    |                                            |
| Erschwingliche Kosten für Institutionen                                   | Sehr hohe Kosten im kommerziellen Gebrauch |
| Erfassung jeder Körperform und Körperhöhe möglich (keine Einschränkungen) |                                            |
| Große Anzahl von Personen können getestet werden (Studentauglichkeit)     |                                            |
| Quantifizierbare Daten + Visualisation des 3D Bildes                      |                                            |
| Kein ausgebildetes Personal mit technischen Kenntnissen erforderlich      |                                            |

Tab. 22: Vor- und Nachteile der 3D Ganzkörperscanttechnologie



## 5. MODELLENTWICKLUNG

Der Begriff *Modell* kommt vom lateinischen Wort *modulus* und bedeutet übersetzt Form bzw. Muster (Drosdowski, 1989, S. 1028). Laut Perl, Lames und Glitsch (2002, S. 15) bildet ein Modell durch Reduktionen und Abstraktionen reale Systeme ab, weil diese aufgrund ihrer Komplexität nicht direkt analysiert werden können.

*„Das Modell ist ein abstraktes Abbild eines Systems. Es dient der Diagnose des Systemzustandes und der Prognose des Systemverhaltens.“* (Perl et al., 2002, S. 15)

Bei der Modellentwicklung werden grundsätzlich nur die wesentlichen Aspekte eines Systems berücksichtigt (Perl et al., 2002, S. 15). Ziel ist immer, ein Modell zu entwickeln, das dieses reale System genau genug abbildet (Perl et al., 2002, S. 25). Die Modellentwicklung in der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit hat den Zweck, eine mathematische Formel zur Vorhersage des Körperfettanteils aus den Werten eines 3D Ganzkörperscanners zu generieren. Als Referenzwerte dienen die Körperfettwerte der bioelektrischen Impedanzanalyse.

Laut Bungartz, Zimmer, Buchholz und Pflüger (2009, S. 8f) ist es unerlässlich, bereits im Vorfeld zu definieren, was genau modelliert werden soll und welche Parameter hierfür eine Rolle spielen. Erst im Anschluss daran soll die Frage geklärt werden, welche Möglichkeit sich am besten zur Modellierung eignet. Kapitel 5.1 beschreibt daher einleitend jene Parameter, die einen Einfluss auf das System Mensch sowie den Körperfettanteil haben. Aussagekraft und Relevanz dieser Parameter werden anhand ausgewählter Literatur erörtert. In Kapitel 5.3.2 wird darauf aufbauend die tatsächliche Verwendungsfähigkeit dieser Parameter in dem mathematischen Modell diskutiert.

### 5.1 Parameter und ihre Aussagekraft

Die Modellentwicklung erfolgt unter Einbeziehung jener Parameter, die den Körperfettgehalt des Menschen wesentlich beeinflussen und aus diesem Grund bei der Modellentwicklung berücksichtigt werden sollen. Nachfolgend wird der Einfluss des Geschlechts, des Alters sowie ausgewählter anthropometrischer Parameter auf den Körperfettanteil des Menschen erläutert.

### 5.1.1 Geschlecht

Die Körperfettwerte zwischen den Geschlechtern sind vergleichsweise unterschiedlich. Grund dafür sind biologische Verschiedenheiten zwischen Mann und Frau, welche sich auf die gesamte Körperzusammensetzung auswirken (Malina, 2005, S. 271). Bei Frauen erhöhen sich ab dem 6. Lebensjahr die Fettmasse sowie der prozentuelle Körperfettanteil. Da Männer eine größere fettfreie Masse durch einen höheren Muskelanteil haben, ist der Unterschied vor allem im prozentuellen Körperfettanteil sehr gut sichtbar (Malina, 2005, S. 277ff). Normwerttabellen (siehe Tab. 23) bestätigen, dass Männer einen viel geringeren prozentuellen Körperfett-Standardanteil aufweisen als Frauen.

|                          | %BF nicht empfohlen | %BF gering | %BF mittel | %BF hoch | %BF Übergewicht |
|--------------------------|---------------------|------------|------------|----------|-----------------|
| <b>Männer</b>            |                     |            |            |          |                 |
| 18-34 Jahre              | < 8                 | 8          | 13         | 22       | > 22            |
| 35-55 Jahre              | < 10                | 10         | 18         | 25       | > 25            |
| <b>Frauen</b>            |                     |            |            |          |                 |
| 18-34 Jahre              | < 20                | 20         | 28         | 35       | > 35            |
| 35-55 Jahre              | < 25                | 25         | 32         | 38       | > 38            |
| <b>Sportliche Männer</b> |                     |            |            |          |                 |
| 18-34 Jahre              |                     | 5          | 10         | 15       |                 |
| 35-55 Jahre              |                     | 7          | 11         | 18       |                 |
| <b>Sportliche Frauen</b> |                     |            |            |          |                 |
| 18-34 Jahre              |                     | 16         | 23         | 28       |                 |
| 35-55 Jahre              |                     | 20         | 27         | 33       |                 |

Tab. 23: Prozentuelle Körperfett-Standardwerte für Männer und Frauen (Heyward, 2010, S. 190)

Auch die Verteilung des Fettgewebes ist vom Geschlecht abhängig. Subkutanes Fettgewebe ist laut Bouchard und Johnston (1988, zit. in: Baumgartner, 2005, S. 262) bei Männern vor allem am Rumpf und bei Frauen vorwiegend im gluteal-femorale Bereich vermehrt eingelagert.

### 5.1.2 Alter

Laut Sardinha und Teixeira (2005, S. 187) verändert sich die Körperzusammensetzung mit dem Alter. Die fettfreie Masse nimmt vorerst mit dem Alter zu, bleibt dann relativ stabil und nimmt im fortgeschrittenen Alter wieder ab (Gallagher et al., 1997 & Guo et al., 1997, 1999, zit. in: Baumgartner, 2005, S. 263). Die Fettmasse nimmt ebenfalls mit dem Alter zu. Eine Studie von Mott et al. aus dem Jahre 1999 (zit. in: Baumgartner, 2005, S. 260f) zeigte, dass ein Maximum an Fettmasse zwischen dem 50. und 60. Lebensjahr erreicht wird und dass diese nach dem 60. Lebensjahr in den meisten Fällen wieder sinkt. Das Ausmaß der Veränderung von fettfreier Masse und Fettmasse ist jedoch zusätzlich abhängig von Geschlecht, ethnischer Herkunft und körperlicher Aktivität (Guo et al., 1999; Mott et al., 1999 & Siervogel et al., 1998, zit. in: Baumgartner, 2005, S. 260).

Das Alter beeinflusst überdies auch anthropometrische Messergebnisse wie beispielsweise Umfänge und Längenmaße. Grund dafür sind altersbedingte Veränderungen der Elastizität des Gewebes oder der Körperhaltung, wie dies bei Messungen des Brustumfangs sowie der lateralen Schulterlänge von Han et al. (siehe Kapitel 4.3.1) aufgedeckt wurde.

### 5.1.3 BMI

Die Körperzusammensetzung von unter-, normal- und übergewichtigen Personen ist unterschiedlich. Der BMI dient der Einschätzung und Klassifikation von Untergewicht, Übergewicht bzw. Adipositas (Müller, 2007, S. 28f) und wird häufig für die Identifikation von Gesundheitsrisiken verwendet (Heyward, 2010, S. 218).

Die beiden Parameter Körperhöhe und Körpermasse stehen in einer engen Beziehung zur Fettmasse des Körpers (Heyward, 2010, S. 219). Tabelle 24 zeigt, wie die BMI-Werte dem Übergewicht bzw. der Adipositas laut WHO<sup>18</sup> (Stand 1998) zugeordnet werden. Allerdings kann mit dem BMI-Wert keine Aussage darüber getroffen werden, wie hoch der Anteil der fettfreien Masse bzw. der Fettmasse tatsächlich ist.

---

<sup>18</sup> World Health Organization

| Klassifikation | BMI Wert    |
|----------------|-------------|
| Übergewicht    | 25.0 - 29.9 |
| Adipositas     |             |
| Klasse 1       | 30.0 - 34.9 |
| Klasse 2       | 35.0 - 39.9 |
| Klasse 3       | ≥ 40.0      |

Tab. 24: Klassifikation von Übergewicht und Adipositas durch den BMI (Heyward, 2010, S. 219)

Die Aussagekraft des BMI-Wertes verbessert sich laut Heyward (2010, S. 219) deutlich, sobald die Körperform bei der Interpretation miteinbezogen wird. Ein anthropometrischer Indikator, der sich besonders gut zur Beschreibung der Körperform eignet, ist der Bauchumfang. Obwohl verschiedene Studien zur Vorhersage des Gesundheitsrisikos durch a) BMI gekoppelt mit dem Bauchumfang (Arderin et al., 2003 & Zhu et al., 2004, zit. in: Heyward, 2010, S. 220) und b) den Bauchumfang alleinig (Janssen et al., 2004 & Zhu et al., 2005, zit. in: Heyward, 2010, S. 220) zu keinen Übereinstimmungen gelangten, ist die Verwendung des Bauchumfangs als zusätzlicher Parameter für die Interpretation des BMI-Wertes durchaus sinnvoll (Heyward, 2010, S. 220f).

#### 5.1.4 Bauchumfang/Hüftumfang

Die Verteilung des Fettgewebes kann innerhalb von Geschlechts- und Altersgruppen stark variieren (Malina, 2005, S. 297). Aus diesem Grund ist jenen Parametern besondere Aufmerksamkeit zu schenken, welche die Körperform maßgeblich beeinflussen.

Je nachdem, wo das Fettgewebe lokalisiert ist, unterscheidet man zwei unterschiedliche Fettverteilungstypen (siehe Abb. 18). Um den Fettverteilungstyp zu charakterisieren, werden Bauchumfang sowie Hüftumfang gemessen und zueinander in Relation gesetzt. Die Waist to Hip Ratio<sup>19</sup> gibt Auskunft darüber, ob ein androider oder gynoider Fettverteilungstyp vorliegt (Müller et al., 2007, S. 43f).

<sup>19</sup> Bauchumfang/Hüftumfang: der androide Typ: hoher Bauchumfang, geringer Hüftumfang; der gynoider Typ: niedriger Bauchumfang, höher Hüftumfang (Müller et al. 2007, S. 43f).

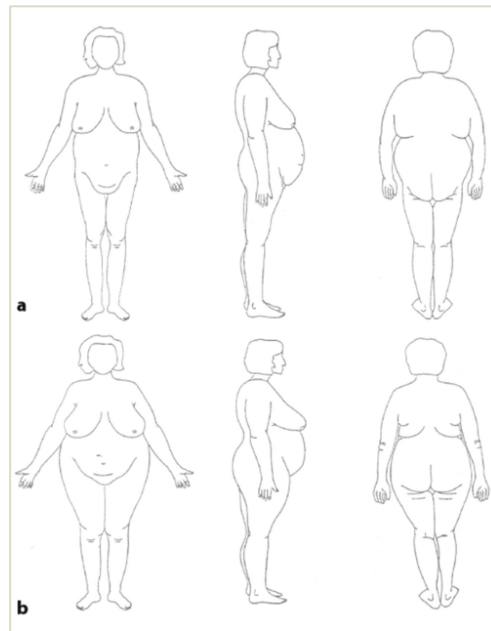


Abb. 18: Fettverteilungstypen am Beispiel der Frau (a: androide Form, b: gynoide Form; Müller et al., 2007, S. 43)

Der Begriff *Fettverteilung* verweist auf den relativen Anteil an Fett, wenn zwei Parameter in Relation zueinander betrachtet werden (Sardinha & Teixeira, 2005, S. 189). Ein alleiniger Rückschluss auf das Ausmaß der Fettleibigkeit ist dadurch jedoch nicht möglich. Dies wird deutlich, wenn eine Person an Bauch und Hüfte gleichermaßen zunimmt und sich dadurch die Waist to Hip Ratio nicht verändert (Després et al., 2001, zit. in: Sardinha & Teixeira, 2005, S. 190).

Separat betrachtet gelten beide Parameter als wichtige Indikatoren zur Beurteilung des Körperfettanteils, weil sie vor allem das subkutane Fettgewebe widerspiegeln. Das zentrale Fettgewebe, das durch den Bauchumfang ausgedrückt wird, gibt laut Hill et al. und Rankinen et al. (1999, zit. in: Sardinha & Teixeira, 2005, S. 191) auch Auskunft über den viszeralen und intraabdominellen Fettanteil. Der Hüftumfang hingegen gilt als Indikator für das periphere subkutane Fettgewebe in Hüft- und Oberschenkelbereich (Müller et al., 2007, S. 44). Es liegt daher auf der Hand, dass die Beschreibung der Körperform durch Bauch- und Hüftumfang, zusätzlich zu den Parametern Alter Geschlecht und BMI, für die Bestimmung des Körperfettanteils wesentliche Informationen liefert.

## 5.2 Mathematische Modellierung

Ein mathematisches Modell bedient sich der mathematischen Sprache (Ortlieb, V. Dresky, Gasser & Günzel, 2009, S. 1) und bringt auf diese Weise konkrete Annahmen durch eine Gleichung zum Ausdruck. Dieser Vorgang ist beispielhaft in Abbildung 19 dargestellt. Die mathematische Modellierung wird von Bungartz et al. (2009, S. 5) wie folgt definiert:

*„Die mathematische Modellierung bezeichnet den Prozess der formalen Herleitung und Analyse eines mathematischen Modells für einen Effekt, ein Phänomen oder ein technisches System.“* (Bungartz et al., 2009, S. 5)

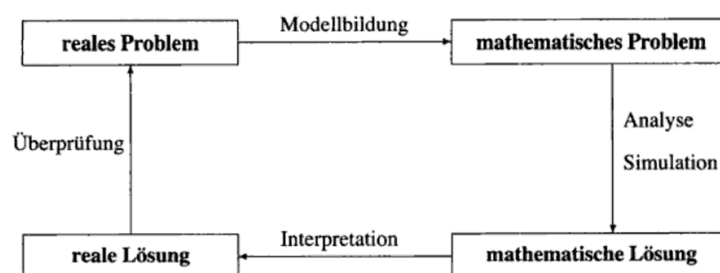


Abb. 19: Schematische Darstellung des Modellierungsprozesses (Ortlieb et al., 2009, S. 5)

Die Möglichkeiten der Modellentwicklung sind abhängig von der Komplexität der zugrunde liegenden wissenschaftlichen Fragestellung. Für jene Fragestellungen, die so komplex sind, dass sie mit mathematischen Gleichungen nicht mehr gelöst werden können, gibt es neuere Ansätze, wie beispielsweise neuronale Netze oder Fuzzy-Logik (Perl et al, 2002, S. 65f). Im Falle der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit wird das statistische Verfahren der multiplen linearen Regression für die Modellentwicklung angewendet. Laut Bortz und Schuster (2010, S. 342) kann damit eine Vorhersage der Kriteriumsvariable<sup>20</sup> aufgrund mehrerer Prädiktorvariablen<sup>21</sup> getroffen werden. Auch können Zusammenhänge und Einflüsse der unabhängigen Variablen auf die abhängige Variable statistisch aufgedeckt und beschrieben werden (Bortz & Schuster, 2010, S. 342).

<sup>20</sup> abhängige Variable = „Variable, die mittels einer oder mehrerer Prädiktorvariablen und einer Regressionsgleichung vorhergesagt werden kann.“ (Bortz & Schuster, 2010, S. 582)

<sup>21</sup> unabhängige Variable = „Variable, mittels derer unter der Verwendung der Regressionsgleichung eine Vorhersage über eine andere Variable (Kriteriumsvariable) gemacht werden kann.“ (Bortz & Schuster, 2010, S. 584)

## 5.3 Empirie

Der Hintergrund der Studie „Bestimmung von körperbaulichen Merkmalen mit Hilfe eines 3D-Scanners“ basiert auf der Vorstellung, die 3D Ganzkörperscantechnologie für die Körperfettbestimmung einzusetzen. Um genügend Daten für die Realisierung dieser Idee erheben zu können, wurde in einer namhaften Tageszeitung für die Teilnahme an der Studie geworben. Die Abteilungen Sport- und Leistungsphysiologie sowie Biomechanik, Bewegungswissenschaft und Sportinformatik des Institutes für Sportwissenschaft der Universität Wien arbeiteten gemeinsam mit dem ÖISM an der Durchführung der Studie. Der 3D Ganzkörperscanner sowie die dazugehörige Software stammten von der Firma Human Solutions/Vitronic, welche auch die ermittelten Daten in Form einer Excel-Tabelle zur Verfügung stellte.

### 5.3.1 Methodik

#### 5.3.1.1 Probanden/innen

139 Probanden/innen (mittleres Alter:  $49,25 \pm 11,02$  Jahre; BMI:  $27,7 \pm 5,3$  kg/m<sup>2</sup>; BIA KFA<sup>22</sup>:  $27,8 \pm 9,0$  %) fanden sich zwischen 15. und 29. Juli 2010 im ÖISM ein, wo die Vermessungen durchgeführt wurden. Die Probanden/innen erhielten vor dem Ablauf der gesamten Prozedur eine schriftliche Information betreffend Ziel und Ablauf der Studie. Des Weiteren gaben alle Probanden/innen ihr schriftliches Einverständnis, dass die erhobenen Daten für Studienzwecke weiterverwendet werden dürfen.

#### 5.3.1.2 Messmethoden

Drei herkömmliche Feldmethoden wurden eingesetzt, um einzelne Körperparameter zu erfassen und den prozentuellen Körperfettgehalt zu ermitteln. Als vierte Messmethode kam eine Lungenfunktionsmessung mittels Spirometrie zum Einsatz. Des Weiteren wurden anthropometrische Daten mittels der Vermessung im 3D Ganzkörperscanner erhoben. Die Probanden/innen durchliefen folgende fünf Messstationen:

---

<sup>22</sup> Prozentueller Körperfettanteil, ermittelt mit der bioelektrischen Impedanzanalyse

### 5.3.1.2.1 Anthropometrie

Das Körpergewicht wurde mit einer Personenwaage ermittelt und die Körperhöhe mit einem Stadiometer vermessen. Die Hautfaltendicken von Bizeps und Trizeps sowie jene subscapular und suprailiacal wurden mit einem Kaliper der Firma Harpenden, genauso wie in Abbildung 20 dargestellt, vermessen.

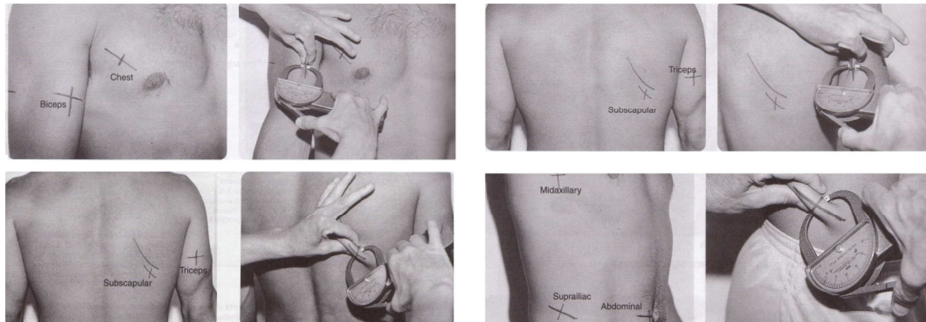


Abb. 20: Vermessungen der Hautfaltendicken an den Messstellen: Bizeps brachii, Trizeps, Subscapular, Suprailiacal (Heyward, 2010, S. 364ff)

Nach dreimaliger Messung jeder Hautfalte wurde der jeweilige Mittelwert bestimmt und für die Berechnungen von Körperdichte und prozentuellem Körperfettanteil herangezogen. Folgende Gleichungen von Berres et al. (1980, zit. in: Smeets, 2003, S. 91) wurden verwendet:

$$\text{Frauen: } Db [\text{cm}^3] = 1,1739 - (0,06227 \cdot \log \sum \text{SKF} [\text{mm}]) - (0,000555 \cdot \text{Alter} [\text{Jahre}])$$

$$\text{Männer: } Db [\text{cm}^3] = 1,1572 - (0,0647 \cdot \log \sum \text{SKF} [\text{mm}]) - (0,00038 \cdot \text{Alter} [\text{Jahre}])$$

$$\text{BF} [\%] = (4,95 / Db [\text{g/cm}^3] - 4,50) \cdot 100$$

### 5.3.1.2.2 Lungenfunktionsmessung

Die Spirometrie wurde mit dem Gerät Spirovit Sp-260 der Firma Schiller (Software: Ordisoft) durchgeführt, welches den Luftstrom beim Atmen misst und auf diese Weise die Vitalkapazität<sup>23</sup> (VC), das inspiratorische Reservevolumen<sup>24</sup> (IRV) sowie das expiratorische Reservevolumen<sup>25</sup> (ERV) bestimmt. Das jeweils beste Ergebnis von insgesamt drei Versuchen wurde von der Firma Human Solutions/Vitronic bei der Berechnung des Körpervolumens berücksichtigt.

<sup>23</sup> Volumen, das nach maximaler Einatmung maximal ausgeatmet werden kann (Pschyrembel, 1998, S. 951)

<sup>24</sup> Volumen, das nach normaler Einatmung maximal eingeatmet werden kann (Pschyrembel, 1998, S. 951)

<sup>25</sup> Volumen, das nach normaler Ausatmung maximal ausgeatmet werden kann (Pschyrembel, 1998, S. 951)



### 5.3.1.2.3 Bioelektrische Impedanzanalyse

Die bioelektrische Impedanzanalyse wurde mit einem Einfrequenz-BIA-Gerät der Firma Data Input (Software = Nutriplus) durchgeführt. Die Messung erfolgte im Liegen mit einer Frequenz von 50 kHz und einem Wechselstrom in der Stärke von 800  $\mu$ A. Die vier Hautklebelektroden wurden standardgemäß an Handgelenk und Knöchel der dominanten Seite platziert. Unter Einbezug des Alters, des Körpergewichtes und des Geschlechts errechnete das Gerät den prozentuellen Körperfettanteil sowie den ECM/BCM<sup>26</sup> Index.

### 5.3.1.2.4 Nahinfrarot-Spektroskopie

Die Nahinfrarot-Spektroskopie wurde mit dem Futrex® Body Fat Analyzer der Firma VicMedic Systems durchgeführt. Der prozentuelle Körperfettwert wurde durch eine einmalige Messung am Bizeps der dominanten Seite ermittelt.

### 5.3.1.2.5 3D Ganzkörperscan

Die Teilnehmer/innen wurden im 3D Scanner VITUS smart XXL der Firma Human Solutions/Vitronic (Software: Scan Worx) insgesamt neunmal vermessen (3 Positionen<sup>27</sup> und 3 Atemlagen<sup>28</sup>). Die in Tabelle 25 dargestellten Parameter wurden ermittelt und das Körpervolumen sowie die Körperoberfläche wurden berechnet.

|                                    |                                  |
|------------------------------------|----------------------------------|
| Schulterbreite rechts/links/gesamt | Brustumfang                      |
| Distanz vom Genick bis zum Gesäß   | Unterbrustumfang                 |
| Kopfhöhe                           | Bauchumfang                      |
| Hüfthöhe                           | Hüftumfang                       |
| Brusthöhe                          | Taillenumfang                    |
| Gesäßhöhe/Schritthöhe              | Gesäßumfang                      |
| Kniehöhe                           | Ellenbogenumfang rechts/links    |
| Gesamtkörperhöhe                   | Handgelenksumfang rechts/links   |
| Armlänge rechts/links              | Oberschenkelumfang rechts/links  |
| Halsansatz-Umfang                  | Knieumfang rechts/links          |
| Oberarmumfang rechts/links         | Sprunggelenksumfang rechts/links |
| Unterarmumfang rechts/links        | Wadenumfang rechts/links         |

Tab. 25: Anthropometrische Daten des 3D Scanner VITUS smart XXL

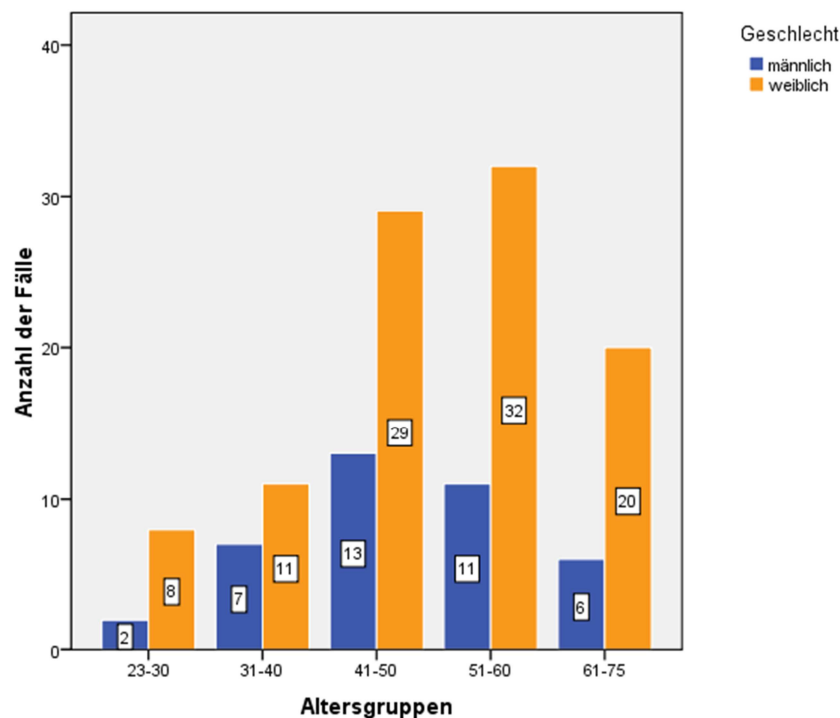
<sup>26</sup> Parameter zur Beurteilung des Ernährungszustandes

<sup>27</sup> 3 Positionen: Arme gering, mittel und weit vom Körper abgespreizt

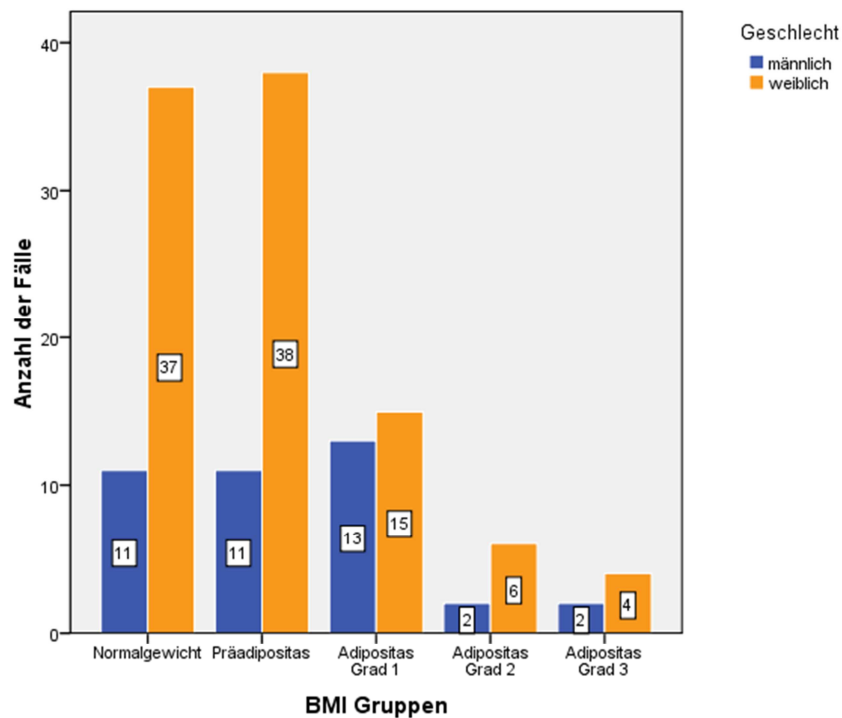
<sup>28</sup> 3 Atemlagen: vollständig ausgeatmet, mittlere Atemlage, vollständig eingeatmet

### 5.3.2 Statistische Datenanalyse

Zur statistischen Analyse der erhobenen Daten kommt das Programmpaket SPSS Statistics Version 17.0 der Firma SPSS zum Einsatz. Insgesamt stehen Daten von 139 Probanden/innen für die Durchführung der multiplen linearen Regressionsanalyse zur Verfügung. Zur Beschreibung der Stichprobe sind die Verteilungen der BMI- und Altersgruppen von 39 Männern und 100 Frauen in Balkendiagrammen dargestellt.



Alle Probanden/innen sind zwischen 23 und 75 Jahre alt. Zur besseren Übersichtlichkeit wird die Stichprobe in fünf Altersgruppen eingeteilt und hinsichtlich der Häufigkeit in den Altersgruppen für Männer und Frauen getrennt analysiert. Mehr als die Hälfte der Frauen sind im Alter von 41 bis 60 Jahren. Zwanzig Frauen zählen zur Altersgruppe 61 bis 75 und sind somit den ersten beiden Altersgruppen zahlenmäßig knapp überlegen. Die am marginalsten vertretene Altersgruppe ist jene von 23 bis 30 Jahren, sowohl bei den Frauen als auch bei den Männern. Nur zwei Männer im Alter von 23 bis 30 Jahren nahmen an der Studie teil. Mehr als die Hälfte der Männer hingegen sind wie auch bei den Frauen zwischen 41 und 60 Jahre alt. Es ist deutlich erkennbar, dass durch die Ausschreibung in der Tageszeitung vor allem Personen ab vierzig Jahren für die Studie geworben werden konnten.



Die Einteilung der Stichprobe in fünf BMI-Gruppen ermöglicht erste Rückschlüsse auf die Körperzusammensetzung der Probanden/innen. Auch hier werden Männer und Frauen getrennt voneinander analysiert, um die Häufigkeiten in den BMI-Gruppen auch zwischen den Geschlechtern vergleichen zu können. Mehr als die Hälfte der Frauen sind normalgewichtig bzw. weisen geringfügiges Übergewicht auf. Auch bei den Männern zeigt sich diese Tendenz, jedoch weisen verhältnismäßig mehr Männer Adipositas Grad 1 auf als Frauen. Die beiden Gruppen Adipositas Grad 2 und Adipositas Grad 3 sind von beiden Geschlechtern nur geringfügig vertreten. Daher kann gesagt werden, dass vor allem normalgewichtige bis moderat adipöse Personen an der Studie teilgenommen haben.

### 5.3.2.1 Grundprinzip der multiplen linearen Regression

Ausgangsbasis ist die Annahme einer linearen Beziehung zwischen der abhängigen Variable  $y$  und mehreren unabhängigen Variablen  $x_1 - x_n$ . Ziel der multiplen linearen Regressionsanalyse ist, eine unbekannte Variable  $y'$  (geschätzte Kriteriumsvariable) aus den Variablen  $x_1 - x_n$  (unabhängige Prädiktorvariablen) vorherzusagen. Sie erfolgt in Hinblick darauf, jene mathematische Gleichung zu finden, mit welcher der Körperfettanteil des Menschen aus den Daten eines 3D Ganzkörperscanners am besten vorhergesagt werden kann. Dieser Vorgang wird auf den folgenden Seiten detailliert dargestellt.

Werden lineare Zusammenhänge zwischen der bekannten Kriteriumsvariablen  $y$  und den unabhängigen Prädiktorvariablen  $x_1 - x_n$  aufgedeckt, können diese mittels einer Geradengleichung beschrieben werden. Auf Basis neuer Werte kann die geschätzte Kriteriumsvariable  $y'$  mittels folgender Gleichung vorhergesagt werden.

$$y' = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n$$

Die Regressionsgerade beinhaltet die sogenannten Regressionskoeffizienten  $a$  und  $b$ , wobei  $b$  die Steigung und  $a$  der Schnittpunkt mit der  $y$ -Achse ist. Die Steigung  $a$  wird aus den Regressionsgewichten berechnet. Die Bestimmung der Regressionsgewichte  $b_1, b_2, b_3 \dots b_n$  erfolgt mit der „Methode der kleinsten Quadrate“. Dabei wird die minimalste Summe der quadrierten Abweichungen der Beobachtungswerte von den Schätzwerten ermittelt. Vorteil dieser Methode ist, dass sich positive und negative Abweichungen nicht aufheben und dass größere Abweichung stärker gewichtet sind bzw. aufgedeckt werden können (Backhaus, Erichson, Plinke & Weiber, 2006, S. 58f). Die Frage, ob das Regressionsmodell eine Vorhersage des Körperfettanteils mit den gewählten Prädiktorvariablen tatsächlich ermöglicht, wird geklärt. Es soll herausgefunden werden, ob mit dem Regressionsmodell eine ebenso gute Vorhersage in der Grundgesamtheit getroffen werden kann.

### 5.3.2.2 Gütekriterien

Bei der Durchführung der multiplen linearen Regressionsanalyse ist auf einige wichtige Gütekriterien zu achten. Daher wird einleitend auf die Bedeutung des Streudiagramms, des Pearson Produkt-Moment Korrelationskoeffizients, des Bestimmtheitsmaßes und der Residuenanalyse hingewiesen.

#### 5.3.2.2.1 Streudiagramm

Laut Backhaus et al. (2006, S.28f) bilden Streudiagramme die gemeinsame Verteilung zweier metrischer Variablen ab. Streudiagramme geben rein visuell erste Hinweise darauf, ob zwischen der bekannten Kriteriumsvariablen und jeder Prädiktorvariablen ein Zusammenhang besteht bzw. welche Art und Stärke des Zusammenhangs vorliegt. Dadurch kann die Entscheidung bezüglich der Wahl der unabhängigen Variablen für das Regressionsmodell erleichtert werden. Ein Streudiagramm, das die beobachteten und die vorhergesagten Werte abbildet, gibt Auskunft darüber, wie gut die Kriteriumsvariable mit dem Regressionsmodell dargestellt werden kann.

#### **5.3.2.2.2 Pearson Produkt-Moment Korrelationskoeffizient**

Der Pearson Produkt-Moment Korrelationskoeffizient  $r$  wird verwendet, um den Zusammenhang zwischen der bekannten Kriteriumsvariablen mit den unabhängigen Prädiktorvariablen numerisch zu bestimmen. Die Werte rangieren zwischen -1 und 1, wobei -1 einen perfekten negativen Zusammenhang und 1 einen perfekten positiven Zusammenhang ausdrückt (Heyward & Wagner, 2004, S. 15).

#### **5.3.2.2.3 Bestimmtheitsmaß**

Das Bestimmtheitsmaß  $r^2$  gibt Auskunft über die Güte der Anpassung des Regressionsmodells an die Werte der bekannten Kriteriumsvariablen. Die Werte rangieren zwischen 0 und 1. Je stärker die Abweichungen zwischen den vorhergesagten und den wahren Werten, desto mehr nähert sich das Bestimmtheitsmaß dem Wert 0. Das Bestimmtheitsmaß spiegelt den Anteil der erklärten Varianz der Variablen  $y$  wider und drückt die Stärke des Zusammenhangs in Prozent aus (Heyward & Wagner, 2004, S. 16).

#### **5.3.2.2.4 Residuen**

Die Abweichungen der beobachteten Werte von den vorhergesagten Werten werden als Residuen bezeichnet. Residuen geben Auskunft darüber, wie gut die Schätzung der Kriteriumsvariablen ist bzw. welche Anteile der Kriteriumsvariablen durch die Prädiktorvariablen nicht erfasst werden können (Bortz & Schuster, 2010, S. 584). Sehr häufig werden standardisierte<sup>29</sup> und studentisierte ausgeschlossene<sup>30</sup> Residuen unterschieden. Residuen werden idealerweise grafisch in Form eines Streudiagramms dargestellt (Bortz & Schuster, 2010, S. 197).

---

<sup>29</sup> Standardisierte Residuen = Residuen / Standardschätzfehler (Bortz & Schuster, 2010, S. 197)

<sup>30</sup> Studentisierte ausgeschlossene Residuen = Residuen / geschätzte Standardabweichung, die entstehen würden, wenn der Datensatz bei der Berechnung des Regressionsmodells ausgeschlossen werden würde (Janssen & Laatz, 2007, S. 396)

### 5.3.2.3 Prüfung auf Ausreißer und/oder einflussreiche Datensätze

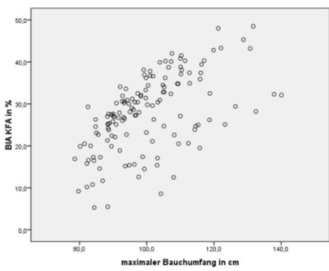
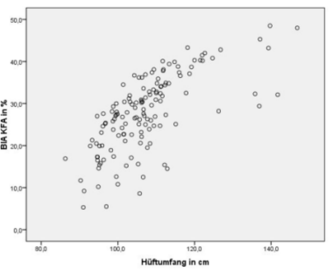
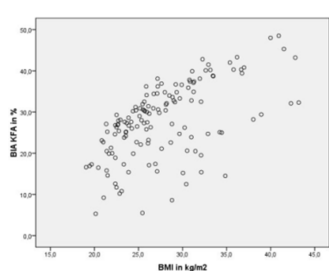
Bevor die Prüfung auf Ausreißer und/oder einflussreiche Datensätze erfolgt, werden ausgewählte Parameter der gesamten Stichprobe Voraussetzungsprüfungen unterzogen (siehe Tab. 26). Eine detailliertere Darstellung mit den jeweiligen Histogrammen und Streudiagrammen ist in Anhang A ersichtlich. Folgende drei Kriterien müssen erfüllt sein, damit eine multiple lineare Regressionsanalyse durchgeführt werden kann:

- 1) Abhängige Variable = metrisch; Unabhängige Variablen = metrisch oder dichotom.
- 2) Normalverteilung: Überprüfung mittels Kolmogorov Smirnov Test und Histogramm.  
H<sub>0</sub>=Es gibt keinen sign. Unterschied der Verteilung von einer Normalverteilung
- 3) Linearer Zusammenhang jeder unabhängigen Variable mit der abhängigen Variable: Beschreibung des Zusammenhangs mit dem Pearson Produkt-Moment Korrelationskoeffizient  $r$  und dem Bestimmtheitsmaß  $r^2$ , grafische Darstellung mittels Streudiagramm.

| Voraussetzungen für die lineare Regressionsanalyse<br>n=139 | 1) Skalenniveau<br>AV metrisch, UV metrisch oder dichotom | 2) Normalverteilung ( $\alpha=0,05$ )<br>Kolmogorov Smirnov Test + Histogramm<br>H <sub>0</sub> =Es gibt keinen sign. Unterschied der Verteilung von einer Normalverteilung | 3) Signifikanter Zusammenhang ( $\alpha=0,05$ )<br>Bivariate Korrelation nach Pearson. H <sub>0</sub> =Es besteht kein sign. Zusammenhang zwischen der AV und der UV |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AV: BIA KFA %                                               | Metrisch                                                  | p=0,200                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                      |
| UV: Geschlecht                                              | Dichotom                                                  |                                                                                                                                                                             | p=0,000 r=0,607 r <sup>2</sup> =0,37                                                                                                                                 |
| UV: Alter                                                   | Metrisch                                                  | p=0,061                                                                                                                                                                     | p=0,278                                                                                                                                                              |
| UV: Körperhöhe                                              | Metrisch                                                  | p=0,200                                                                                                                                                                     | p=0,000 r=-0,410 r <sup>2</sup> =0,17                                                                                                                                |
| UV: Körpermasse                                             | Metrisch                                                  | p=0,000, NV laut Histogramm                                                                                                                                                 | P=0,000 r=0,308 r <sup>2</sup> =0,09                                                                                                                                 |
| UV: BMI                                                     | Metrisch                                                  | p=0,001, NV laut Histogramm                                                                                                                                                 | p=0,000 r=0,587 r <sup>2</sup> =0,34                                                                                                                                 |
| UV: Hüftumfang                                              | Metrisch                                                  | p=0,000, NV laut Histogramm                                                                                                                                                 | p=0,000 r=0,693 r <sup>2</sup> =0,48                                                                                                                                 |
| UV: Brustumfang                                             | Metrisch                                                  | p=0,016, NV laut Histogramm                                                                                                                                                 | p=0,000 r=0,418 r <sup>2</sup> =0,17                                                                                                                                 |
| UV: Taillenumfang                                           | Metrisch                                                  | p=0,009, NV laut Histogramm                                                                                                                                                 | p=0,000 r=0,495 r <sup>2</sup> =0,25                                                                                                                                 |
| UV: Bauchumfang                                             | Metrisch                                                  | p=0,083                                                                                                                                                                     | p=0,000 r=0,564 r <sup>2</sup> =0,32                                                                                                                                 |
| UV: Oberarmumfang<br>gesamt                                 | Metrisch                                                  | p=0,006, NV laut Histogramm                                                                                                                                                 | p=0,023 r=0,192 r <sup>2</sup> =0,04                                                                                                                                 |
| UV: Oberschenkelumfang<br>gesamt                            | Metrisch                                                  | p=0,066                                                                                                                                                                     | p=0,000 r=0,570 r <sup>2</sup> =0,32                                                                                                                                 |
| UV: Körperoberfläche                                        | Metrisch                                                  | p=0,016, NV laut Histogramm                                                                                                                                                 | p=0,147                                                                                                                                                              |
| UV: Körpervolumen                                           | Metrisch                                                  | p=0,000, NV laut Histogramm                                                                                                                                                 | p=0,000 r=0,360 r <sup>2</sup> =0,13                                                                                                                                 |

Tab. 26: Voraussetzungsprüfungen ausgewählter Parameter

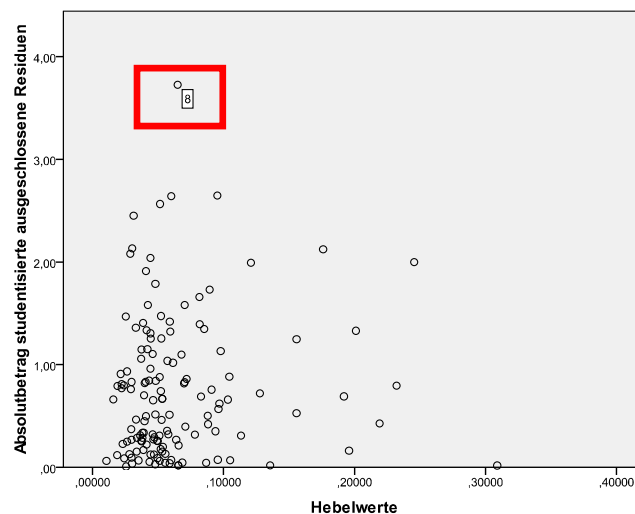
Die Streudiagramme zeigen einen zweigeteilten Verlauf. Dies deutet darauf hin, dass eine möglicherweise unbekannte Variable einen starken Einfluss auf die Verteilung der Punktwolken hat. Folglich wird versucht, diese Einflussvariable zu finden, um sie in die Regressionsgleichung miteinzubeziehen und dadurch eine präzisere Vorhersage zu ermöglichen. Durch einen Doppelklick auf das Diagramm wird in SPSS der Datenbeschriftungsmodus im Diagramm-Editor gewählt. Jene Datensätze, welche für die Verteilung der Punktwolke verantwortlich sind, werden mit einem Doppelklick identifiziert. In Tabelle 27 sind die ermittelten Einflussfaktoren auf die Verteilung der Punktwolken exemplarisch für drei ausgewählte Parameter dargestellt. In allen acht Fällen wird das Geschlecht als Einflussvariable identifiziert. Aus diesem Grund wird entschieden, zwei Regressionsmodelle, eines für Männer und eines für Frauen, zu entwickeln.

| Streudiagramme der bivariaten Korrelationsanalyse                                                         | Datensätze in der unteren Linie                                                                                      | Einflussvariable |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
|  <p>UV: Bauchumfang</p> | <p>3, 16, 19, 25, 31, 44, 50, 74, 83, 84, 93, 110, 126, 134, 135</p> <p>Gemeinsamkeit:<br/>männliche Probanden</p>   | Geschlecht       |
|  <p>UV: Hüftumfang</p> | <p>50, 74, 83, 84, 110, 117, 135</p> <p>Gemeinsamkeit:<br/>männliche Probanden</p>                                   | Geschlecht       |
|  <p>UV: BMI</p>        | <p>3, 20, 25, 50, 57, 74, 83, 84, 95, 110, 117, 126, 128, 134, 135</p> <p>Gemeinsamkeit:<br/>männliche Probanden</p> | Geschlecht       |

Tab. 27: Ermittlung der Einflussvariablen, exemplarische Darstellung

Noch bevor weitere Schritte erfolgen, werden die gesamten Daten auf Ausreißer und/oder weitere einflussreiche Datensätze geprüft. Dazu werden alle elf unabhängigen Variablen, welche die Voraussetzungen für die Anwendung der multiplen linearen Regression erfüllen, in die Regressionsanalyse in SPSS miteinbezogen. Es wird der absolute Wert der studentisierten ausgeschlossenen Residuen berechnet und ein Streudiagramm mit den zentrierten Hebelwerten<sup>31</sup> erstellt:

*Transformieren* → *Variable berechnen*: Zielvariable  $sdr\_abs = Abs(sdr\_1)$ .  
*Diagramme* → *Veraltete Dialogfelder* → *Interaktiv* → *Streudiagramm*:  $sdr\_abs$  auf y-Achse, *Centered Leverage Value (Lev\_1)* auf x-Achse.



|    | Geschlecht | Alter | Körperhöhe | Körpermasse | BMI  | BLAKFA | Hüftumfang | Brustumfang | Taillenumfang | maximaler Bauchumfang |
|----|------------|-------|------------|-------------|------|--------|------------|-------------|---------------|-----------------------|
| 1  | 2          | 65    | 159,7      | 74,3        | 29,1 | 32,4   | 111,1      | 112,1       | 100,5         | 107,2                 |
| 2  | 2          | 61    | 159,0      | 80,8        | 32,0 | 38,1   | 111,9      | 115,7       | 107,6         | 110,4                 |
| 3  | 1          | 59    | 176,9      | 97,0        | 31,0 | 23,9   | 108,2      | 115,4       | 111,7         | 114,3                 |
| 4  | 2          | 62    | 161,2      | 71,1        | 27,4 | 29,8   | 103,7      | 109,9       | 97,5          | 100,2                 |
| 5  | 2          | 60    | 161,7      | 111,9       | 42,8 | 43,2   | 139,3      | 127,8       | 129,1         | 130,8                 |
| 6  | 2          | 75    | 153,0      | 56,6        | 24,2 | 27,6   | 96,2       | 98,1        | 86,1          | 90,1                  |
| 7  | 2          | 43    | 171,5      | 65,8        | 22,4 | 18,9   | 98,2       | 88,8        | 80,3          | 92,0                  |
| 8  | 1          | 51    | 175,4      | 88,6        | 28,8 | 8,6    | 105,7      | 109,6       | 98,4          | 104,2                 |
| 9  | 2          | 42    | 164,3      | 66,7        | 24,7 | 30,4   | 103,2      | 96,8        | 89,6          | 96,5                  |
| 10 | 2          | 45    | 162,8      | 68,8        | 26,0 | 30,0   | 99,6       | 106,6       | 91,4          | 94,7                  |

Bei den Residuen mit einem Absolutbetrag von über 3 ist Datensatz 8 auffällig. Eine nähere Betrachtung zeigt, dass mit diesem Datensatz etwas nicht stimmen kann. Der Proband weist bei einem Bauchumfang von 104,2 cm und einem BMI von 28,8 einen Körperfettanteil von nur 8,6 % auf. Aus diesem Grund wird Datensatz 8 für alle nachfolgenden Statistikprozeduren von der Analyse ausgeschlossen:

*Daten* → *Fälle auswählen*: Falls Bedingung zutrifft:  $\sim \$casenum = 8$

<sup>31</sup> Hebelwert = ein Maß für den Einfluss, den eine Beobachtung auf die Anpassung der Regressionsfunktion besitzt (Janssen & Laatz, 2007, S. 443)



### 5.3.2.4 Variablenselektion und Modellformulierung

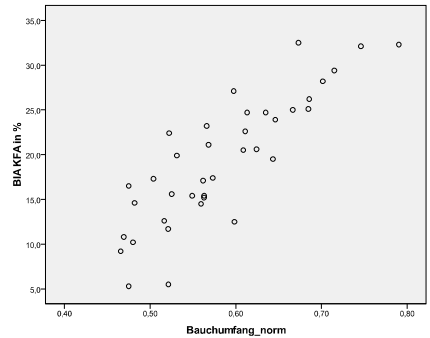
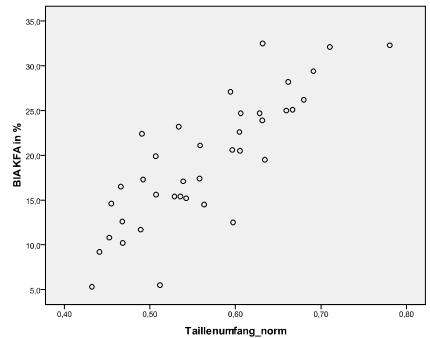
Um den Einfluss der Körperhöhe auf die Aussagekraft einzelner Parameter zu kontrollieren, werden die Körperumfänge hinsichtlich der Körpergröße normiert. Eine Übersicht über die jeweiligen Histogramme und Streudiagramme der nun reduzierten Stichprobe (n=138) befindet sich in Anhang B sowie für Männer (n=38) in Anhang C und für Frauen (n=100) in Anhang D. Tabelle 28 zeigt, dass zehn unabhängige Variablen als Prädiktorvariablen für das Regressionsmodell der Männer und Frauen in Frage kommen. Laut Pedhauzer, Tabachnik und Fidell (1982 und 1983, zit. in: Heyward & Wagner, 2004, S. 20) wird ein Minimum von 20 und ein Maximum von 40 Probanden/innen pro Prädiktorvariable empfohlen. Da Daten von 38 Probanden und 100 Probandinnen für die statistische Datenanalyse zur Verfügung stehen, wird die Aufnahme von lediglich einer bzw. vier Variablen in die Vorhersagegleichung empfohlen. Die Auswahl der Variablen, welche in die Regressionsgleichung miteinbezogen werden, kann unter verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen. Demzufolge können verschiedene Regressionsmodelle generiert werden. Die Regressionsmodelle werden nun jeweils für Männer und Frauen getrennt vorgestellt und diskutiert, mit dem Ziel, das für den Einsatz eines 3D Ganzkörperscanners am besten geeignetste Regressionsmodell zu finden.

| Bivariate Korrelation nach Pearson | für Männer, n = 38                   | für Frauen, n = 100                  |
|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| AV: BIA KFA %                      |                                      |                                      |
| UV: Alter                          | p=0,447                              | p=0,627                              |
| UV: Körperhöhe                     | p=0,166                              | p=0,382                              |
| UV: Körpermasse                    | p=0,000 r=0,715 r <sup>2</sup> =0,51 | p=0,000 r=0,877 r <sup>2</sup> =0,77 |
| UV: BMI                            | p=0,000 r=0,750 r <sup>2</sup> =0,56 | p=0,000 r=0,908 r <sup>2</sup> =0,82 |
| UV: Hüftumfang_norm                | p=0,000 r=0,769 r <sup>2</sup> =0,59 | p=0,000 r=0,848 r <sup>2</sup> =0,72 |
| UV: Brustumfang_norm               | p=0,000 r=0,665 r <sup>2</sup> =0,44 | p=0,000 r=0,847 r <sup>2</sup> =0,72 |
| UV: Taillenumfang_norm             | p=0,000 r=0,833 r <sup>2</sup> =0,69 | p=0,000 r=0,852 r <sup>2</sup> =0,73 |
| UV: Bauchumfang_norm               | p=0,000 r=0,852 r <sup>2</sup> =0,73 | p=0,000 r=0,874 r <sup>2</sup> =0,76 |
| UV: Oberarmumfanggesamt_norm       | p=0,037 r=0,339 r <sup>2</sup> =0,11 | p=0,000 r=0,673 r <sup>2</sup> =0,45 |
| UV: Oberschenkelumfanggesamt_norm  | p=0,002 r=0,490 r <sup>2</sup> =0,24 | p=0,000 r=0,755 r <sup>2</sup> =0,57 |
| UV: Körperoberfläche               | p=0,000 r=0,613 r <sup>2</sup> =0,38 | p=0,000 r=0,714 r <sup>2</sup> =0,51 |
| UV: Körpervolumen                  | p=0,000 r=0,730 r <sup>2</sup> =0,53 | p=0,000 r=0,882 r <sup>2</sup> =0,78 |

Tab. 28: Bivariate Korrelationsanalyse für Männer und Frauen

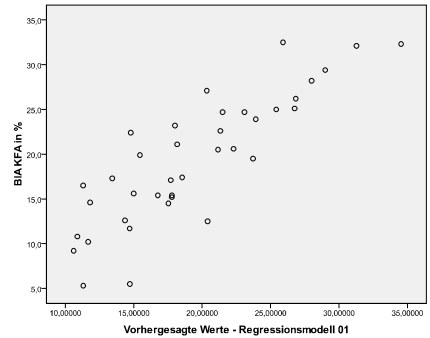
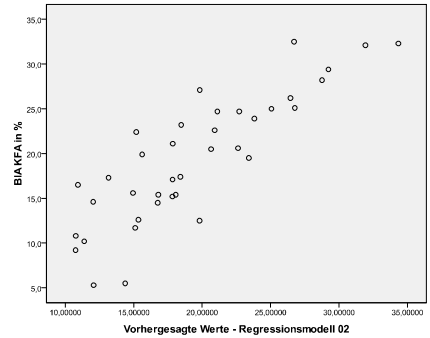
### 5.3.2.4.1 Wahl des Regressionsmodells für Männer

Aufgrund der geringen Stichprobengröße von  $n = 38$  ist laut Pedhauzer et al. (1982 und 1983, zit. in: Heyward & Wagner, 2004, S. 20) die Aufnahme lediglich einer Variablen in das Regressionsmodell für Männer zulässig. Jedoch wird überprüft, ob durch die Aufnahme einer zweiten Variablen das Regressionsmodell verbessert werden kann. Zunächst werden mit der bivariaten Korrelationsanalyse (siehe Tab. 28) jene zwei Variablen detektiert, welche mit der abhängigen Variablen am höchsten korrelieren. Diese sind gemeinsam mit den jeweiligen Streudiagrammen in Tabelle 29 dargestellt.

| Variablenselektion<br>Männer $n=38$ | Bivariate Korrelation nach Pearson | Streudiagramm<br>BIA KFA % auf der y-Achse                                           |
|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| AV: BIA KFA %                       |                                    |                                                                                      |
| UV: Bauchumfang_norm                | $p=0,000$ $r=0,852$ $r^2=0,73$     |   |
| UV: Taillenumfang_norm              | $p=0,000$ $r=0,833$ $r^2=0,69$     |  |

Tab. 29: Bivariate Korrelationsanalyse mit Streudiagrammen für Männer

Die Variable Bauchumfang\_norm korreliert mit  $r = 0,852$  am höchsten mit der abhängigen Variablen, dicht gefolgt von der Variable Taillenumfang\_norm mit  $r = 0,833$ . Somit wird die Variable Bauchumfang\_norm auf jeden Fall in das Regressionsmodell aufgenommen. Ob eine Verbesserung des Regressionsmodells durch die Variable Taillenumfang\_norm erreicht werden kann, zeigt Tabelle 30 auf der nachfolgenden Seite.

| Regressionsmodelle<br>Männer | Parameter                              | $r$ , $r^2$ , $\text{kor. } r^2$                      | Streudiagramm<br>vorhergesagte Werte / wahre Werte                                  |
|------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| M01                          | Bauchumfang_norm                       | $r=0,852$<br>$r^2=0,726$<br>$\text{Korr. } r^2=0,718$ |   |
| M02                          | Bauchumfang_norm<br>Taillenumfang_norm | $r=0,854$<br>$r^2=0,729$<br>$\text{Korr. } r^2=0,714$ |  |

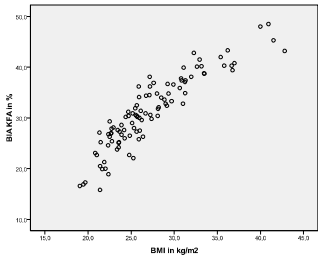
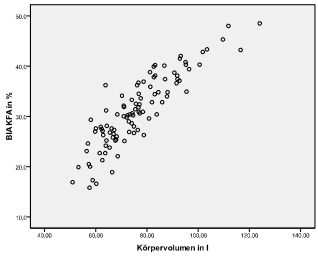
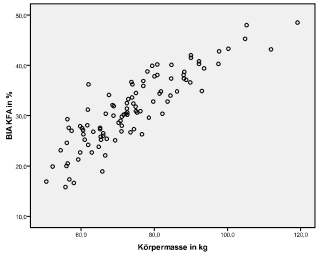
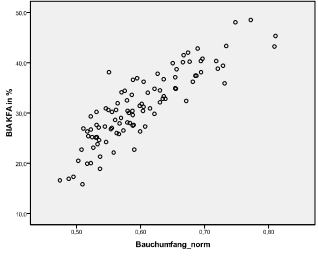
Tab. 30: Vergleich der Regressionsmodelle und Variablenselektion für Männer

Durch die Aufnahme einer zweiten Variablen kann lediglich eine Verbesserung der erklärten Varianz um 0,3 % erreicht werden. Der Wert für die Populationsschätzung sinkt nach Aufnahme der Variable Taillenumfang\_norm um 0,4 %. Aus diesem Grund fällt die Wahl auf Regressionsmodell M01.

Regressionsmodell M01 korreliert sehr hoch mit der Kriteriumsvariablen und kann 72,6 % der Varianz aufklären. Der Wert für die Populationsschätzung liegt bei 71,8 %. Dies ist ein sehr gutes Ergebnis, wenn man bedenkt dass nur eine unabhängige Variable in der Regressionsgleichung enthalten ist. Das Ziel, ein Regressionsmodell für Männer zu entwickeln, das aus den Werten eines 3D Ganzkörperscanners den Körperfettanteil des Menschen vorhersagt, kann mit Regressionsmodell M01 erreicht werden. Zwar wird die Verwendung eines 3D Ganzkörperscanners grundsätzlich nicht vorausgesetzt, weil der Parameter Bauchumfang auch mit anthropometrischen Maßbandmessungen eruiert werden kann. Allerdings gilt eine Vermessung im 3D Ganzkörperscanner als präziser im Vergleich zu anthropometrischen Maßbandmessungen (siehe Kapitel 4.3), was die Verwendungsfähigkeit von Regressionsmodell M01 an dieser Stelle bekräftigt.

### 5.3.2.4.2 Wahl des Regressionsmodells für Frauen

Bei einer Stichprobengröße von  $n = 100$  ist laut Pedhauzer et al. (1982 und 1983, zit. in: Heyward & Wagner, 2004, S. 20) die Aufnahme von bis zu vier Variablen in das Regressionsmodell für Frauen zulässig. Die bivariate Korrelationsanalyse (siehe Tab. 28) zeigt, welche vier Variablen mit der abhängigen Variablen am höchsten korrelieren.

| Variablenselektion<br>Frauen $n=100$ | Bivariate Korrelation nach Pearson | Streudiagramm<br>BIA KFA % auf der y-Achse                                           |
|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| AV: BIA KFA %                        |                                    |                                                                                      |
| UV: BMI                              | $p=0,000$ $r=0,908$ $r^2=0,82$     |    |
| UV: Körpervolumen                    | $p=0,000$ $r=0,882$ $r^2=0,78$     |  |
| UV: Körpermasse                      | $p=0,000$ $r=0,877$ $r^2=0,77$     |  |
| UV: Bauchumfang_norm                 | $p=0,000$ $r=0,874$ $r^2=0,76$     |  |

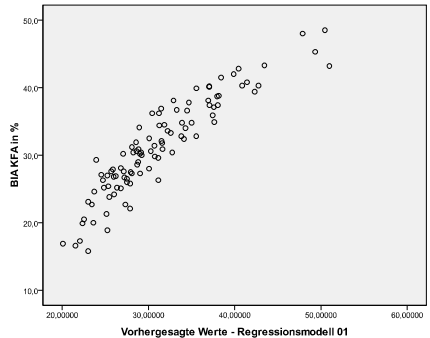
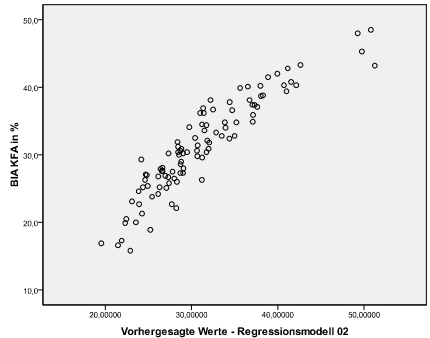
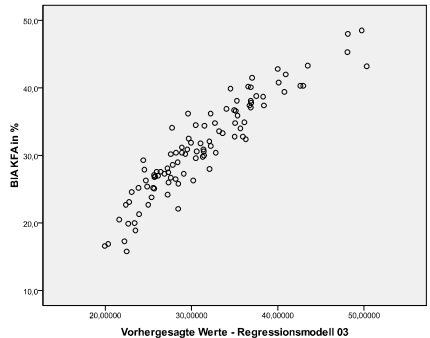
Tab. 31: Bivariate Korrelationsanalyse mit Streudiagrammen für Frauen

Die vier Variablen BMI, Körpervolumen, Körpermasse und Bauchumfang\_norm korrelieren sehr hoch mit der Kriteriumsvariablen und können 84,5 % der Varianz aufklären. Der Wert für die Populationsschätzung liegt bei 83,9 % (siehe Tab. 32). Das Regressionsmodell mit diesen vier Variablen wird als Regressionsmodell F01 bezeichnet. Obwohl bereits ein sehr gutes Ergebnis vorliegt wird nun überprüft, ob eine Verbesserung dieses Modells durch die Aufnahme anderer Variablen erreicht werden kann.

Da die Variable Körpermasse bereits in der Variable BMI enthalten ist, kann sie durch einen wichtigen Indikator für das Ausmaß des Körperfettanteils bei Frauen (siehe Kapitel 5.1.4) ersetzt werden, dem Hüftumfang. Durch die Aufnahme der Variablen Hüftumfang\_norm kann eine Verbesserung der erklärten Varianz um 0,5 % erreicht werden. Der Wert für die Populationsschätzung steigt nach Aufnahme dieser Variable auf 84,4 % (siehe Tab. 32). Regressionsmodell F02 liefert mit den Variablen BMI, Körpervolumen, Hüftumfang\_norm und Bauchumfang\_norm ein geringfügig besseres Ergebnis als Regressionsmodell F01.

Ob durch die Methode *Schrittweise* in SPSS ein noch besseres Ergebnis erreicht werden kann, wird ebenfalls geprüft. Bei der schrittweisen Regressionsanalyse werden nur jene Variablen in die Regressionsgleichung aufgenommen, die tatsächlich einen signifikanten Beitrag zur Vorhersage des Körperfettanteils leisten. Dabei wird zuerst jene Variable in das Regressionsmodell aufgenommen, welche mit der abhängigen Variable am höchsten korreliert. Somit ist davon auszugehen, dass die Variable BMI in dieser Regressionsgleichung enthalten ist. Nach der schrittweisen Aufnahme jeder neuen Variablen, werden alle bisher aufgenommenen Variablen auf ihre Signifikanz geprüft. Die neue Variable wird nur dann in die Gleichung aufgenommen, wenn sich die erklärte Varianz dadurch nicht verringert (Backhaus et al., 2006, S. 106). Von allen zehn unabhängigen Variablen werden die Variablen BMI, Körpervolumen, Brustumfang\_norm und Oberschenkelumfanggesamt\_norm mit der schrittweisen Regressionsanalyse für das Regressionsmodell F03 ausgewählt. Dadurch können 86,1 % der Varianz aufgeklärt werden. Der Wert für die Populationsschätzung beträgt 85,6 % (siehe Tab. 32).

Alle drei Regressionsmodelle sind mit ihren Ergebnissen zusammengefasst in Tabelle 32 zur besseren Übersichtlichkeit dargestellt. Die Entscheidung, welches der drei Regressionsmodelle nun als endgültiges Modell gewählt wird, erfolgt anhand des besten Ergebnisses, welches Regressionsmodell F03 liefert.

| Regressionsmodelle<br>Frauen | Parameter                                                                  | r, r <sup>2</sup> , korr. r <sup>2</sup>                        | Streudiagramm<br>vorhergesagte Werte / wahre Werte                                   |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| F01                          | BMI<br>Körpervolumen<br>Körpermasse<br>Bauchumfang_norm                    | r=0,920<br>r <sup>2</sup> =0,845<br>Korr. r <sup>2</sup> =0,839 |    |
| F02                          | BMI<br>Körpervolumen<br>Hüftumfang_norm<br>Bauchumfang_norm                | r=0,922<br>r <sup>2</sup> =0,85<br>Korr. r <sup>2</sup> =0,844  |   |
| F03                          | BMI<br>Körpervolumen<br>Brustumfang_norm<br>Oberschenkelumfang_gesamt_norm | r=0,928<br>r <sup>2</sup> =0,861<br>Korr. r <sup>2</sup> =0,856 |  |

Tab. 32: Vergleich der Regressionsmodelle und Variablenselektion für Frauen

Das Ziel, ein Regressionsmodell für Frauen zu entwickeln, das aus den Werten eines 3D Ganzkörperscanners den Körperfettanteil des Menschen vorhersagt, kann mit Regressionsmodell F03 erreicht werden. In diesem Fall wird die Verwendung eines 3D Ganzkörperscanners vorausgesetzt, weil der Parameter Körpervolumen nicht mit herkömmlichen Methoden bestimmt werden kann, sondern von der Software des 3D Ganzkörperscanners berechnet wird.

### 5.3.2.5 Modellentwicklung Männer

Das Modell zur Vorhersage des prozentuellen Körperfettanteils (KFA%') aus der Variablen Bauchumfang\_norm, welches mittels einer einfachen linearen Regressionsanalyse in SPSS generiert wird, sieht wie folgt aus:

$$\text{KFA\%' } = a + b_1 \cdot \text{Bauchumfang\_norm}$$

Die einfache lineare Regressionsanalyse erfolgt in SPSS unter Verwendung der Methode *Einschluss*.

*Analysieren → Regression → Linear: Methode Einschluss*

| Koeffizienten <sup>a</sup> |                                     |                |                               |        |      |
|----------------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------------|--------|------|
| Modell                     | Nicht standardisierte Koeffizienten |                | Standardisierte Koeffizienten | T      | Sig. |
|                            | Regressionskoeffizient B            | Standardfehler | Beta                          |        |      |
| 1 (Konstante)              | -23,699                             | 4,461          |                               | -5,312 | ,000 |
| Bauchumfang_norm           | 73,700                              | 7,553          | ,852                          | 9,758  | ,000 |

a. Abhängige Variable: BIA KFA in %

Obiger Tabelle *Koeffizienten<sup>a</sup>* ist nun folgende Regressionsgleichung zu entnehmen, mit welcher der Körperfettanteil der Männer aus den Werten des 3D Ganzkörperscanners geschätzt werden kann:

$$\text{KFA\%' } [\%] = - 23,699 + 73,7 \cdot \text{Bauchumfang\_norm}$$

#### 5.3.2.5.1 Prüfung der Regressionsfunktion

Die Regressionsfunktion ist laut Backhaus et al. (2006, S. 63) auf ihre Güte hin zu prüfen. Ob bzw. wie gut obige Gleichung als Vorhersagemodell geeignet ist, zeigen der F-Test sowie das Bestimmtheitsmaß  $r^2$ .

H<sub>0</sub>:  $b_1 = 0$  ... Der Regressionskoeffizient ist gleich null.

H<sub>0</sub>: Es besteht kein signifikanter kausaler Zusammenhang zwischen der abhängigen Variable und der unabhängigen Variable. Folglich gibt es auch keine Vorhersage mittels einer Regressionsgleichung.

ANOVA<sup>b</sup>

| Modell                         | Quadratsumme | df | Mittel der Quadrate | F      | Sig.              |
|--------------------------------|--------------|----|---------------------|--------|-------------------|
| 1 Regression                   | 1380,969     | 1  | 1380,969            | 95,221 | ,000 <sup>a</sup> |
| Nicht standardisierte Residuen | 522,102      | 36 | 14,503              |        |                   |
| Gesamt                         | 1903,071     | 37 |                     |        |                   |

a. Einflußvariablen : (Konstante), Bauchumfang\_norm

b. Abhängige Variable: BIA KFA in %

Die *Anova*<sup>b</sup>-Tabelle zeigt ein signifikantes Ergebnis mit  $F = 95,221$  und  $p = 0,000$ . Die Nullhypothese kann abgelehnt werden. Es besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Körperfettanteil der bioelektrischen Impedanzanalyse und der Variablen Bauchumfang\_norm. Folglich gibt es auch eine Vorhersage mittels der Modellgleichung.

Modellzusammenfassung<sup>b</sup>

| Modell | R                 | R-Quadrat | Korrigiertes R-Quadrat | Standardfehler des Schätzers |
|--------|-------------------|-----------|------------------------|------------------------------|
| 1      | ,852 <sup>a</sup> | ,726      | ,718                   | 3,8083                       |

a. Einflußvariablen : (Konstante), Bauchumfang\_norm

b. Abhängige Variable: BIA KFA in %

Obige Tabelle *Modellzusammenfassung* gibt Auskunft darüber, wie gut die unabhängige Variable das Kriterium darstellen kann. Die Modellgleichung korreliert mit  $r = 0,852$  mit der Kriteriumsvariable und kann damit 72,6 % der Varianz aufklären. Der Wert für die Populationsschätzung liegt bei 71,8 %.

### 5.3.2.5.2 Prüfung der Regressionskoeffizienten

Ob bzw. wie gut die unabhängige Variable zur Erklärung der abhängigen Variable beiträgt, zeigt der T-Wert sowie der Beta-Wert der unabhängigen Variable (Backhaus et al., 2006, S. 63).

$H_0: b_1 = 0$  ... Der Regressionskoeffizient ist gleich null.

$H_0$ : Es gibt keinen signifikanten Einfluss der unabhängigen Variablen auf die abhängige Variable. Folglich leistet diese Variable keinen Beitrag zur Erklärung der abhängigen Variablen.



Der p-Wert der Variablen Bauchumfang\_norm, dargestellt in der Tabelle *Koeffizienten*<sup>a</sup>, ist niedriger als das Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$ . Der Einfluss dieser Variablen auf die abhängige Variable ist demnach signifikant. Die Nullhypothese kann abgelehnt werden. Es gibt einen signifikanten Einfluss der Variablen Bauchumfang\_norm auf die abhängige Variable. Am Beta-Wert sowie am T-Wert ist erkennbar, dass der Einfluss dieser Variable sehr hoch ist.

| Koeffizienten <sup>a</sup> |                                     |                |                               |        |      |
|----------------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------------|--------|------|
| Modell                     | Nicht standardisierte Koeffizienten |                | Standardisierte Koeffizienten | T      | Sig. |
|                            | Regressionskoeffizient B            | Standardfehler | Beta                          |        |      |
| 1 (Konstante)              | -23,699                             | 4,461          |                               | -5,312 | ,000 |
| Bauchumfang_norm           | 73,700                              | 7,553          | ,852                          | 9,758  | ,000 |

a. Abhängige Variable: BIA KFA in %

#### 5.3.2.5.3 Prüfung der Modellvoraussetzungen

Folgende Annahmen liegen laut Backhaus et al. (2006, S. 79) dem linearen Regressionsmodell zugrunde und werden nun auf mögliche Voraussetzungsverletzungen überprüft:

- 1) Spezifikation und Vollständigkeit des Modells
- 2) Linearitätsannahme
- 3) Homoskedastizität: die Residuen haben eine konstante Varianz
- 4) keine Autokorrelation: die Residuen sind unkorreliert

##### 1) Prüfung auf Spezifikation und Vollständigkeit des Modells

Diese Voraussetzung ist erfüllt, weil das Regressionsmodell lediglich einen relevanten Parameter des 3D Ganzkörperscanners berücksichtigt. Parameter wie beispielsweise Schulterbreite oder Armlänge haben keinen Einfluss auf den Körperfettanteil und werden aus diesem Grund nicht für die Variablenselektion herangezogen.

## 2) Überprüfung der Linearitätsannahme

Die Linearität zwischen der abhängigen und der unabhängigen Variable muss laut Backhaus et al. (2006, S. 79) ebenfalls erfüllt sein. Grundsätzlich bedeutet dies, dass kein anderer als ein linearer Verlauf beobachtet werden darf. Um dies zu überprüfen, wird ein Streudiagramm in SPSS angefordert. Eine Punktwolke mit Steigung ist deutlich zu erkennen. Die Linearitätsannahme gilt als erfüllt, weil keine nichtlineare Funktion beobachtet wird.

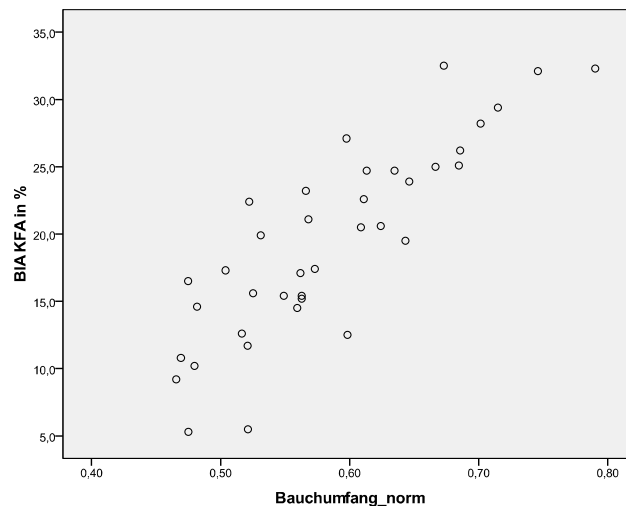


Abb. 21: Modellentwicklung Männer: Überprüfung der Linearitätsannahme

## 3) Prüfung auf Homoskedastizität

Ist der Vorhersagefehler in allen Bereichen der abhängigen Variablen gleich, liegt Homoskedastizität vor. Eine nicht konstante Varianz der Residuen bedeutet, dass diese Voraussetzung nicht erfüllt ist und dadurch die „Methode der kleinsten Quadrate“ nicht mehr effizient genug für die Schätzung der Regressionsfunktion ist (Backhaus et al., 2006, S. 85f). Für die Prüfung auf Homoskedastizität wird der absolute Wert der unstandardisierten Residuen berechnet.

*Transformieren → Variable berechnen: Zielvariable res\_abs = Abs (res\_1).*

Anschließend wird der Test nach Glesjer durchgeführt und im Menüpunkt Diagramme ein Streudiagramm mit vorhergesagten und beobachteten Residuen angefordert.

*Analysieren → Regression → Linear: res\_abs als abhängige Variable, die unstandardisierten vorhergesagten Werte (pre\_1) als unabhängige Variable.  
Menüpunkt Diagramme: ZRESID auf y-Achse, ZPRED auf x-Achse*

ANOVA<sup>b</sup>

| Modell                         | Quadratsumme | df | Mittel der Quadrate | F     | Sig.              |
|--------------------------------|--------------|----|---------------------|-------|-------------------|
| 1 Regression                   | 15,706       | 1  | 15,706              | 2,757 | ,106 <sup>a</sup> |
| Nicht standardisierte Residuen | 205,062      | 36 | 5,696               |       |                   |
| Gesamt                         | 220,767      | 37 |                     |       |                   |

a. Einflußvariablen : (Konstante), Unstandardized Predicted Value

b. Abhängige Variable: res\_abs

Koeffizienten<sup>a</sup>

| Modell                         | Nicht standardisierte Koeffizienten |                | Standardisierte Koeffizienten | T      | Sig. |
|--------------------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------------|--------|------|
|                                | Regressionskoeffizient B            | Standardfehler | Beta                          |        |      |
| 1 (Konstante)                  | 4,887                               | 1,306          |                               | 3,743  | ,001 |
| Unstandardized Predicted Value | -,107                               | ,064           | -,267                         | -1,660 | ,106 |

a. Abhängige Variable: res\_abs

Der p-Wert, ersichtlich in den Tabellen *Anova*<sup>b</sup> und *Koeffizienten*<sup>a</sup>, ist größer als das gewählte Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$ . Die Nullhypothese kann daher nicht abgelehnt werden. Es liegt Homoskedastizität vor, was bedeutet, dass diese Voraussetzung erfüllt ist. Dies ist auch am Streudiagramm erkennbar, welches die Abweichungen zwischen den vorhergesagten und den beobachteten Residuen aufzeigt. Die vorhergesagten Werte streuen gleichmäßig um die Regressionsgerade, was das Vorliegen von Homoskedastizität bestätigt.

Streudiagramm

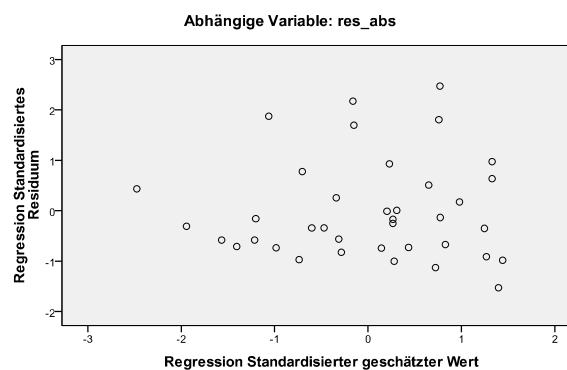


Abb. 22: Modellentwicklung Männer: Prüfung auf Homoskedastizität

#### 4) Prüfung auf Autokorrelation

Die Annahme, dass die Residuen der Beobachtungswerte nicht miteinander korrelieren, wird mit dem Durbin-Watson Test geprüft.

*Analysieren* → *Regression* → *Linear*: im Menüpunkt *Statistiken* Durbin-Watson auswählen.

| Modellzusammenfassung <sup>b</sup> |                   |           |                        |                              |                         |
|------------------------------------|-------------------|-----------|------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Modell                             | R                 | R-Quadrat | Korrigiertes R-Quadrat | Standardfehler des Schätzers | Durbin-Watson-Statistik |
| 1                                  | ,852 <sup>a</sup> | ,726      | ,718                   | 3,8083                       | 2,407                   |

a. Einflußvariablen : (Konstante), Bauchumfang\_norm

b. Abhängige Variable: BIA KFA in %

Die Nullhypothese, dass die Beobachtungswerte nicht autokorreliert sind, kann nicht abgelehnt werden. Werte zwischen 1,6 und 2,5 deuten auf keine Autokorrelation hin, die Residuen sind voneinander unabhängig und diese Voraussetzung gilt demnach als erfüllt.

#### 5.3.2.5.4 Kreuzvalidierung

Um die Genauigkeit von Regressionsfunktionen zu überprüfen, werden laut Heyward und Wagner (2004, S. 18) üblicherweise interne Vergleichsprüfungen angestellt. Dazu wird die Stichprobe der Männer in zwei Teile aufgesplittet. Mit beiden Datensätzen wird jeweils eine Vorhersagegleichung mittels linearer Regressionsanalyse generiert. Anschließend werden die Vorhersagegleichungen auch in der jeweils anderen Gruppe angewendet und mittels gepaarten t-Tests auf Unterschiede geprüft. Der gepaarte t-Test zeigt in beiden Gruppen, ob sich die Körperfettwerte der beiden Vorhersagegleichungen innerhalb der Gruppen unterscheiden.

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$H_0$ : Die Mittelwerte der beiden Körperfettformeln unterscheiden sich nicht voneinander. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Mittelwerten.

Daten → Fälle auswählen → Nach Zeit- oder Fallbereich: Gruppe 1 = 1 - 19, Gruppe 2 = 20 - 38.

Analysieren → Regression → Linear.

Transformieren → Variable berechnen: KF\_M\_Gr01 und KF\_M\_Gr02.

Analysieren → Mittelwerte vergleichen → T-Test bei verbundener Stichprobe.

| Gruppe | Fälle | n  | $r^2$         | Vorhersagegleichungen                                        | t-Test für verbundene Stichproben 01 / 02 |
|--------|-------|----|---------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1      | 1-19  | 19 | $r^2 = 0,634$ | <b>01:</b> $-18,020 + 65,967 \cdot \text{Bauchumfang\_norm}$ | Korrelation:<br>$r=1$<br>$p=0,00$         |
| 2      | 20-38 | 19 | $r^2 = 0,81$  | <b>02:</b> $-27,435 + 78,106 \cdot \text{Bauchumfang\_norm}$ | Korrelation:<br>$r=1$<br>$p=0,000$        |

Tab. 33: Modellentwicklung Männer: Kreuzvalidierung

Anhand der p-Werte in beiden Gruppe ist ersichtlich, dass die Nullhypothese bei einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$  abgelehnt wird. Es gibt einen Unterschied zwischen den beiden Körperfettformeln in beiden Gruppen. Das bedeutet, dass die beiden Vorhersagegleichungen keine ähnlichen Ergebnisse liefern. Laut Heyward und Wagner (2004, S. 18) wird dies als Vorhersageungenauigkeit bezeichnet, wodurch die Verwendungsfähigkeit des Regressionsmodells für die gesamte Stichprobe kritisch zu betrachten ist. Die Körperfettformeln beider Gruppen korrelieren jedoch sehr hoch miteinander, was auf einen starken Zusammenhang hindeutet.

#### 5.3.2.5.5 Übereinstimmung der Messmethoden

In einem letzten Schritt werden nun die beiden Messmethoden zur Bestimmung des Körperfettanteils miteinander verglichen und auf ihre Übereinstimmung geprüft. Die Frage, ob die Körperfettwerte des Regressionsmodells den Werten der bioelektrischen Impedanzanalyse entsprechen, wird mit einem gepaarten t-Test beantwortet.

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$H_0$ : Die Mittelwerte der beiden Körperfettanalysemethoden unterscheiden sich nicht voneinander. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Mittelwerten.

Zuerst wird mit dem Regressionsmodell eine neue Variable berechnet. Anschließend wird der gepaarte t-Test durchgeführt:

*Transformieren* → Variable berechnen: KFA\_Männer.

*Analysieren* → Mittelwerte vergleichen → T-Test bei verbundenen Stichproben

Der p-Wert, ersichtlich in Tabelle *Test bei gepaarten Stichproben*, ist deutlich größer als das gewählte Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$ . Die Nullhypothese kann nicht abgelehnt werden. Die Körperfettwerte der bioelektrischen Impedanzanalyse unterscheiden sich nicht signifikant von jenen, die mittels des Regressionsmodells berechnet wurden. Die Messgenauigkeit der Regressionsfunktion kann somit bestätigt werden, es herrscht eine sehr gute Übereinstimmung sowie eine sehr hohe Korrelation (siehe Tabelle *Korrelationen bei gepaarten Stichproben*) zwischen den beiden Methoden.

**Test bei gepaarten Stichproben**

|                                       | Gepaarte Differenzen |                    |                                 |                                      |         | T    | df | Sig. (2-seitig) |
|---------------------------------------|----------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------|------|----|-----------------|
|                                       | Mittelwert           | Standardabweichung | Standardfehler des Mittelwertes | 95% Konfidenzintervall der Differenz |         |      |    |                 |
|                                       |                      |                    |                                 | Untere                               | Obere   |      |    |                 |
| Paaren BIA KFA in %<br>1 - KFA_Männer | ,00028               | 3,75644            | ,60938                          | -1,23443                             | 1,23499 | ,000 | 37 | 1,000           |

**Korrelationen bei gepaarten Stichproben**

|                                       | N  | Korrelation | Signifikanz |
|---------------------------------------|----|-------------|-------------|
| Paaren 1<br>BIA KFA in % & KFA_Männer | 38 | ,852        | ,000        |

### 5.3.2.6 Modellentwicklung Frauen

Das Modell zur Vorhersage des prozentuellen Körperfettanteils (KFA%') aus den Variablen BMI, Körpervolumen, Oberschenkelumfanggesamt\_norm und Brustumfang\_norm, welches mittels der multiplen linearen Regressionsanalyse in SPSS generiert wird, sieht wie folgt aus:

$$\text{KFA\%}' = a + b_1 \cdot \text{BMI} + b_2 \cdot \text{Körpervolumen} + b_3 \cdot \text{Oberschenkelumfanggesamt\_norm} + b_4 \cdot \text{Brustumfang\_norm}$$

Die multiple lineare Regressionsanalyse erfolgt in SPSS unter Verwendung der Methode *Einschluss*.

*Analysieren → Regression → Linear: Methode Einschluss*

| Koeffizienten <sup>a</sup>    |                                     |                |                               |        |      |
|-------------------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------------|--------|------|
| Modell                        | Nicht standardisierte Koeffizienten |                | Standardisierte Koeffizienten | T      | Sig. |
|                               | Regressionskoeffizient              | Standardfehler | Beta                          |        |      |
| 1 (Konstante)                 | -29,524                             | 6,958          |                               | -4,243 | ,000 |
| BMI in kg/m2                  | -,521                               | ,390           | -,373                         | -1,334 | ,185 |
| Körpervolumen in l            | ,291                                | ,064           | ,586                          | 4,580  | ,000 |
| Oberschenkelumfanggesamt_norm | 62,276                              | 20,762         | ,316                          | 3,000  | ,003 |
| Brustumfang_norm              | 48,922                              | 11,886         | ,526                          | 4,116  | ,000 |

a. Abhängige Variable: BIA KFA in %

Obiger Tabelle *Koeffizienten<sup>a</sup>* ist nun folgende Regressionsgleichung zu entnehmen, mit welcher der Körperfettanteil aus den Werten des 3D Ganzkörperscanners geschätzt werden kann:

$$\text{KFA\%}' [\%] = - 29,524 - 0,521 \cdot \text{BMI} [\text{kg/m}^2] + 0,291 \cdot \text{Körpervolumen} [\text{l}] + 62,276 \cdot \text{Oberschenkelumfanggesamt\_norm} + 48,922 \cdot \text{Brustumfang\_norm}$$

### 5.3.2.6.1 Prüfung der Regressionsfunktion

Die Regressionsfunktion ist laut Backhaus et al. (2006, S. 63) auf ihre Güte hin zu prüfen. Ob bzw. wie gut obige Gleichung als Vorhersagemodell geeignet ist, zeigen der F-Test sowie das Bestimmtheitsmaß  $r^2$ .

$H_0: b_1 = b_2 = b_3 = b_4 = 0 \dots$  Die Regressionskoeffizienten sind alle gleich null.

$H_0$ : Es besteht kein signifikanter kausaler Zusammenhang zwischen der abhängigen Variable und den unabhängigen Variablen. Folglich gibt es auch keine Vorhersage mittels einer Regressionsgleichung.

| ANOVA <sup>b</sup> |                                |              |    |                     |         |                   |
|--------------------|--------------------------------|--------------|----|---------------------|---------|-------------------|
| Modell             |                                | Quadratsumme | df | Mittel der Quadrate | F       | Sig.              |
| 1                  | Regression                     | 4314,114     | 4  | 1078,528            | 147,650 | ,000 <sup>a</sup> |
|                    | Nicht standardisierte Residuen | 693,939      | 95 | 7,305               |         |                   |
|                    | Gesamt                         | 5008,053     | 99 |                     |         |                   |

a. Einflußvariablen : (Konstante), Brustumfang\_norm, Oberschenkelumfanggesamt\_norm, Körpervolumen in l, BMI in kg/m<sup>2</sup>

b. Abhängige Variable: BIA KFA in %

Die Anova<sup>b</sup>-Tabelle zeigt ein signifikantes Ergebnis mit  $F = 147,650$  und  $p = 0,000$ . Die Nullhypothese kann abgelehnt werden. Es besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Körperfettanteil der bioelektrischen Impedanzanalyse und den Variablen BMI, Körpervolumen, Oberschenkelumfanggesamt\_norm und Brustumfang\_norm. Folglich gibt es auch eine Vorhersage mittels der Regressionsgleichung.

| Modellzusammenfassung <sup>b</sup> |                   |           |                        |                              |
|------------------------------------|-------------------|-----------|------------------------|------------------------------|
| Modell                             | R                 | R-Quadrat | Korrigiertes R-Quadrat | Standardfehler des Schätzers |
| 1                                  | ,928 <sup>a</sup> | ,861      | ,856                   | 2,7027                       |

a. Einflußvariablen : (Konstante), Brustumfang\_norm, Oberschenkelumfanggesamt\_norm, Körpervolumen in l, BMI in kg/m<sup>2</sup>

b. Abhängige Variable: BIA KFA in %



Die Tabelle *Modellzusammenfassung* gibt Auskunft darüber, wie gut die unabhängigen Variablen das Kriterium darstellen können. Die Modellgleichung korreliert mit  $r = 0,928$  mit der Kriteriumsvariable und kann damit 86,1 % der Varianz aufklären. Der Wert für die Populationsschätzung liegt bei 85,6 %.

### 5.3.2.6.2 Prüfung der Regressionskoeffizienten

Ob bzw. wie gut die einzelnen unabhängigen Variablen zur Erklärung der abhängigen Variable beitragen, zeigen die T-Werte sowie die Beta-Werte der unabhängigen Variablen (Backhaus et al., 2006, S. 63).

$H_0: b_1 = b_2 = b_3 = b_4 = 0 \dots$  Die Regressionskoeffizienten sind alle gleich null.

$H_0$ : Es gibt keinen signifikanten Einfluss jeder unabhängigen Variablen auf die abhängige Variable. Folglich leisten diese Variablen keinen Beitrag zur Erklärung der abhängigen Variablen.

In der unten dargestellten Tabelle *Koeffizienten<sup>a</sup>* ist erkennbar, dass das Körpervolumen mit dem höchsten Beta-Wert (0,586) den stärksten Einfluss auf die abhängige Variable hat. Gefolgt von Brustumfang\_norm (0,526), Oberschenkelumfanggesamt\_norm (0,316) und BMI (-0,373). Entsprechend sind auch die T-Werte gereiht.

| Koeffizienten <sup>a</sup>    |                                     |                |                               |        |      |
|-------------------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------------|--------|------|
| Modell                        | Nicht standardisierte Koeffizienten |                | Standardisierte Koeffizienten | T      | Sig. |
|                               | Regressionskoeffizient B            | Standardfehler | Beta                          |        |      |
| 1 (Konstante)                 | -29,524                             | 6,958          |                               | -4,243 | ,000 |
| BMI in kg/m <sup>2</sup>      | -,521                               | ,390           | -,373                         | -1,334 | ,185 |
| Körpervolumen in l            | ,291                                | ,064           | ,586                          | 4,580  | ,000 |
| Oberschenkelumfanggesamt_norm | 62,276                              | 20,762         | ,316                          | 3,000  | ,003 |
| Brustumfang_norm              | 48,922                              | 11,886         | ,526                          | 4,116  | ,000 |

a. Abhängige Variable: BIA KFA in %

Die p-Werte der Variablen Körpervolumen, Oberschenkelumfanggesamt\_norm und Brustumfang\_norm, ebenfalls dargestellt in der Tabelle *Koeffizienten<sup>a</sup>*, sind niedriger als das Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$ . Die Einflüsse dieser Variablen auf die abhängige Variable sind demnach signifikant. Die Nullhypothese kann abgelehnt werden. Es gibt einen signifikanten Einfluss dieser Variablen auf die abhängige Variable. Die Variable BMI ist mit einem p-Wert von 0,185 nicht signifikant, wird aber dennoch in der Regressionsgleichung belassen, weil sie ein wichtiger Parameter zur Vorhersage des Körperfettanteils ist.

### **5.3.2.6.3 Prüfung der Modellvoraussetzungen**

Folgende Annahmen liegen laut Backhaus et al. (2006, S. 79) dem linearen Regressionsmodell zugrunde und sollen auf mögliche Voraussetzungsverletzungen überprüft werden:

- 1) Spezifikation und Vollständigkeit des Modells
- 2) Linearitätsannahme
- 3) Homoskedastizität: die Residuen haben eine konstante Varianz
- 4) keine Autokorrelation: die Residuen sind unkorreliert
- 5) keine perfekte Multikollinearität: zwischen den unabhängigen Variablen besteht keine lineare Abhängigkeit

#### **1) Prüfung auf Spezifikation und Vollständigkeit des Modells**

Diese Voraussetzung ist erfüllt, weil das Regressionsmodell lediglich relevante Parameter des 3D Ganzkörperscanners berücksichtigt. Parameter wie beispielsweise Hüftbreite oder Knöchelumfang haben keinen Einfluss auf den Körperfettanteil und werden aus diesem Grund nicht in die statistische Datenanalyse miteinbezogen. Auch ist die Zahl der gewählten unabhängigen Variablen kleiner als die Stichprobe, was die Erfüllung dieser Voraussetzung zusätzlich bestätigt.

#### **2) Überprüfung der Linearitätsannahme**

Die Linearität in den Variablen muss laut Backhaus et al. (2006, S. 79) ebenfalls erfüllt sein. Grundsätzlich bedeutet dies, dass kein anderer als ein linearer Verlauf beobachtet werden darf. Um dies zu überprüfen, werden bei der Durchführung der linearen Regressionsanalyse in SPSS partielle Regressionsdiagramme im Menüpunkt *Diagramme* angefordert. Bei den partiellen Regressionsdiagrammen wird die jeweilige abhängige

Variable um die Einflüsse der anderen Variablen bereinigt. Abbildung 23 lässt deutlich erkennen, dass die Variablen Körpervolumen und Brustumfang\_norm die Vorhersage der Kriteriumsvariablen am meisten beeinflussen, die übrigen Variablen hingegen einen geringeren Einfluss aufweisen. Des Weiteren ist bei allen partiellen Regressionsdiagrammen eine Punktwolke mit Steigung zu erkennen. Den Verläufen der Punktwolken liegen keine nichtlinearen Funktionen zugrunde. Die Linearitätsannahme gilt demnach als erfüllt.

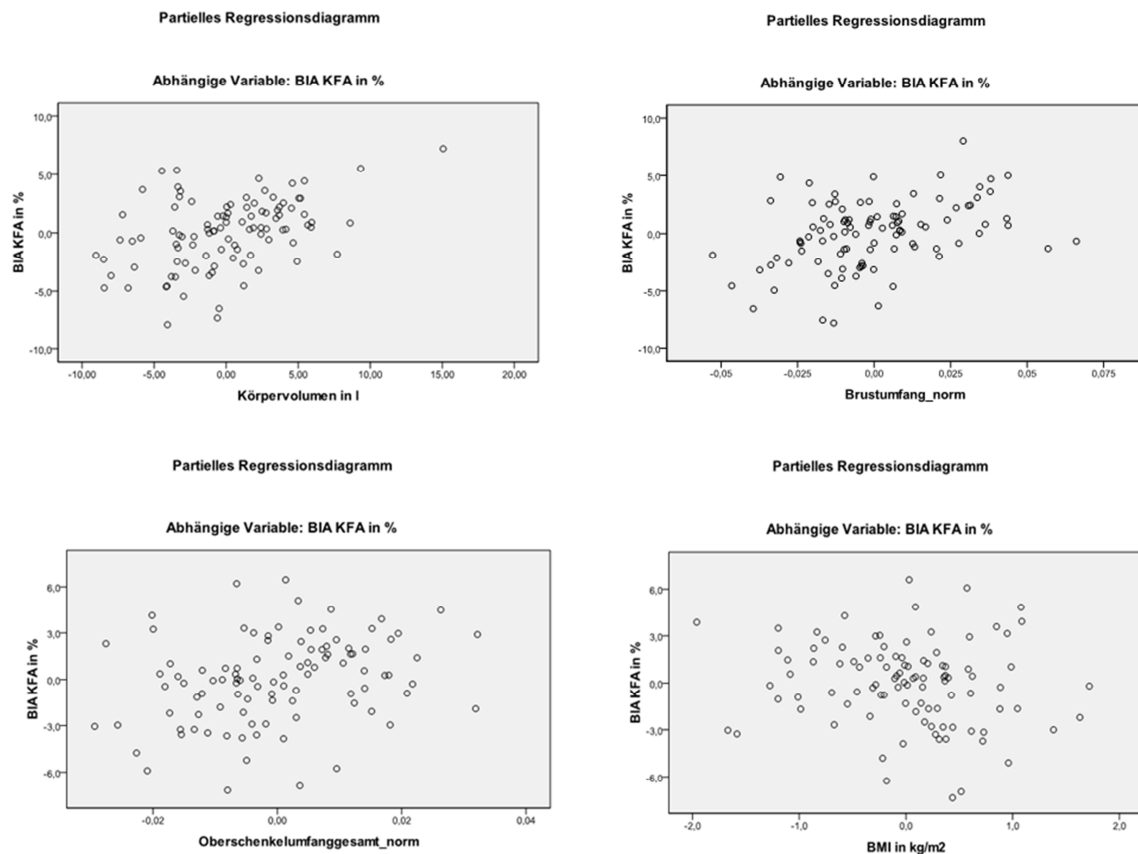


Abb. 23: Modellentwicklung Frauen: Überprüfung der Linearitätsannahme

### 3) Prüfung auf Homoskedastizität

Ist der Vorhersagefehler in allen Bereichen der abhängigen Variablen gleich, liegt Homoskedastizität vor. Eine nicht konstante Varianz der Residuen bedeutet, dass diese Voraussetzung nicht erfüllt ist und dadurch die „Methode der kleinsten Quadrate“ nicht mehr effizient genug für die Schätzung der Regressionsfunktion ist (Backhaus et al., 2006, S. 85f). Für die Prüfung auf Homoskedastizität wird der absolute Wert der unstandardisierten Residuen berechnet.

*Transformieren → Variable berechnen: Zielvariable  $res\_abs2 = Abs(res\_2)$ .*

Anschließend wird der Test nach Glesjer durchgeführt und im Menüpunkt Diagramme ein Streudiagramm mit vorhergesagten und beobachteten Residuen angefordert.

*Analysieren → Regression → Linear: res\_abs2 als abhängige Variable, die unstandardisierten vorhergesagten Werte (pre\_2) als unabhängige Variable.  
Menüpunkt Diagramme: ZRESID auf y-Achse, ZPRED auf x-Achse*

| ANOVA <sup>b</sup> |                                |              |    |                     |      |                   |
|--------------------|--------------------------------|--------------|----|---------------------|------|-------------------|
| Modell             |                                | Quadratsumme | df | Mittel der Quadrate | F    | Sig.              |
| 1                  | Regression                     | ,762         | 1  | ,762                | ,277 | ,600 <sup>a</sup> |
|                    | Nicht standardisierte Residuen | 269,301      | 98 | 2,748               |      |                   |
|                    | Gesamt                         | 270,063      | 99 |                     |      |                   |

a. Einflußvariablen : (Konstante), Unstandardized Predicted Value

b. Abhängige Variable: res\_abs2

| Koeffizienten <sup>a</sup> |                                |                                     |                |                               |       |      |
|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------------|-------|------|
|                            |                                | Nicht standardisierte Koeffizienten |                | Standardisierte Koeffizienten | T     | Sig. |
|                            |                                | RegressionskoeffizientB             | Standardfehler | Beta                          |       |      |
| 1                          | (Konstante)                    | 2,474                               | ,806           |                               | 3,071 | ,003 |
|                            | Unstandardized Predicted Value | -,013                               | ,025           | -,053                         | -,527 | ,600 |

a. Abhängige Variable: res\_abs2

Der p-Wert, ersichtlich in den Tabellen *Anova<sup>b</sup>* und *Koeffizienten<sup>a</sup>*, ist größer als das gewählte Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$ . Die Nullhypothese kann daher nicht abgelehnt werden. Es liegt Homoskedastizität vor, was bedeutet, dass diese Voraussetzung erfüllt ist. Dies ist auch am Streudiagramm erkennbar, welches die Abweichungen zwischen den vorhergesagten und den beobachteten Residuen aufzeigt. Die vorhergesagten Werte streuen gleichmäßig um die Regressionsgerade, was das Vorliegen von Homoskedastizität bestätigt.

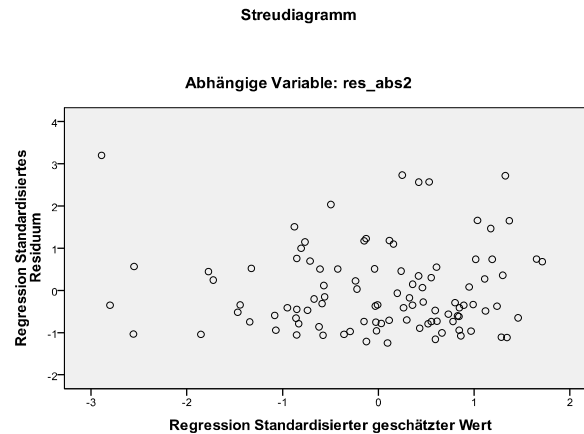


Abb. 24: Modellentwicklung Frauen: Prüfung auf Homoskedastizität

#### 4) Prüfung auf Autokorrelation

Die Annahme, dass die Residuen der Beobachtungswerte nicht miteinander korrelieren, wird mit dem Durbin-Watson Test geprüft.

*Analysieren* → *Regression* → *Linear*: im Menüpunkt *Statistiken* Durbin-Watson auswählen.

| Modellzusammenfassung <sup>b</sup> |                   |           |                        |                              |                         |
|------------------------------------|-------------------|-----------|------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Modell                             | R                 | R-Quadrat | Korrigiertes R-Quadrat | Standardfehler des Schätzers | Durbin-Watson-Statistik |
| 1                                  | ,928 <sup>a</sup> | ,861      | ,856                   | 2,7027                       | 2,110                   |

a. Einflußvariablen : (Konstante), Brustumfang\_norm, Oberschenkelumfanggesamt\_norm, Körpervolumen in l, BMI in kg/m2

b. Abhängige Variable: BIA KFA in %

Die Nullhypothese, dass die Beobachtungswerte nicht autokorreliert sind, kann nicht abgelehnt werden. Werte zwischen 1,6 und 2,5 deuten auf keine Autokorrelation hin, die Residuen sind voneinander unabhängig und diese Voraussetzung gilt demnach als erfüllt.

#### 5) Prüfung auf Multikollinearität

Zwischen den unabhängigen Variablen sollen keine linearen Abhängigkeiten bestehen. Dies wird mit der Kollinearitätsdiagnose überprüft.

*Analysieren* → *Regression* → *Linear*: im Menüpunkt *Statistiken* Kollinearitätsdiagnose auswählen.

In der Tabelle *Koeffizienten*<sup>a</sup> sind jedoch Abhängigkeiten erkennbar. Ein Variance Inflation Faktor (VIF) von über 11 deutet auf Multikollinearität hin. Die Variablen Körpervolumen und Brustumfang\_norm hängen besonders hoch mit den übrigen unabhängigen Variablen zusammen.

| Koeffizienten <sup>a</sup>    |                                     |                |                               |        |      |                         |        |
|-------------------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------------|--------|------|-------------------------|--------|
| Modell                        | Nicht standardisierte Koeffizienten |                | Standardisierte Koeffizienten | T      | Sig. | Kollinearitätsstatistik |        |
|                               | Regressionskoeffizient B            | Standardfehler | Beta                          |        |      | Toleranz                | VIF    |
| 1 (Konstante)                 | -29,524                             | 6,958          |                               | -4,243 | ,000 |                         |        |
| BMI in kg/m <sup>2</sup>      | -,521                               | ,390           | -,373                         | -1,334 | ,185 | ,019                    | 53,597 |
| Körpervolumen in l            | ,291                                | ,064           | ,586                          | 4,580  | ,000 | ,089                    | 11,221 |
| Oberschenkelumfanggesamt_norm | 62,276                              | 20,762         | ,316                          | 3,000  | ,003 | ,132                    | 7,596  |
| Brustumfang_norm              | 48,922                              | 11,886         | ,526                          | 4,116  | ,000 | ,089                    | 11,180 |

a. Abhängige Variable: BIA KFA in %

Die Tabelle *Kollinearitätsdiagnose* zeigt, dass Eigenwert und Konditionsindex der Variablen Körpervolumen, Oberschenkelumfanggesamt\_norm und Brustumfang\_norm ebenfalls auffällig sind.

| Kollinearitätsdiagnose <sup>a</sup> |           |           |                 |                |                          |                    |                               |                  |
|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------------|----------------|--------------------------|--------------------|-------------------------------|------------------|
| Modell                              | Dimension | Eigenwert | Konditionsindex | Varianzanteile |                          |                    |                               |                  |
|                                     |           |           |                 | (Konstante)    | BMI in kg/m <sup>2</sup> | Körpervolumen in l | Oberschenkelumfanggesamt_norm | Brustumfang_norm |
| 1                                   | 1         | 4,968     | 1,000           | ,00            | ,00                      | ,00                | ,00                           | ,00              |
|                                     | 2         | ,023      | 14,628          | ,03            | ,01                      | ,03                | ,00                           | ,00              |
|                                     | 3         | ,005      | 32,886          | ,00            | ,00                      | ,10                | ,05                           | ,18              |
|                                     | 4         | ,004      | 36,641          | ,05            | ,02                      | ,29                | ,13                           | ,00              |
|                                     | 5         | ,000      | 133,721         | ,91            | ,97                      | ,58                | ,81                           | ,82              |

a. Abhängige Variable: BIA KFA in %

Allerdings besteht laut Backhaus et al. (2006, S. 89) bei empirischen Daten immer ein gewisser Grad an Multikollinearität. Von dem Ausschluss einzelner Parameter aufgrund dieser nicht erfüllten Voraussetzung wird daher abgesehen. Zumal, weil ein Ausschluss beispielsweise des Körpervolumens oder des Hüftumfangs nichts am Vorliegen von Multikollinearität ändern würde.

#### 5.3.2.6.4 Kreuzvalidierung

In diesem Fall wird die Stichprobe der Frauen in zwei Teile aufgesplittet. Mit beiden Datensätzen wird jeweils eine Vorhersagegleichung mittels multipler linearer Regression generiert. Die Vorhersagegleichungen werden anschließend in der jeweils anderen Gruppe angewendet und mittels gepaarten t-Tests auf Unterschiede geprüft.

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$H_0$ : Die Mittelwerte der beiden Körperfettformeln unterscheiden sich nicht voneinander. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Mittelwerten.

*Daten → Fälle auswählen → Nach Zeit- oder Fallbereich: Gruppe 1 = 39 - 88, Gruppe 2 = 89 - 138.*

*Analysieren → Regression → Linear.*

*Transformieren → Variable berechnen: KF\_F\_Gr01 und KF\_F\_Gr02.*

*Analysieren → Mittelwerte vergleichen → T-Test bei verbundener Stichprobe.*

| Gruppe | Fälle  | n  | $r^2$         | Vorhersagegleichungen                                                                                                                                                         | t-Test für verbundene Stichprobe n 01 / 02 |
|--------|--------|----|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1      | 39-88  | 50 | $r^2 = 0,868$ | <b>01:</b> $-32,535 - 0,690 \cdot \text{BMI} + 0,302 \cdot \text{Körpervolumen} + 65,555 \cdot \text{Oberschenkelumfanggesamt\_norm} + 56,943 \cdot \text{Brustumfang\_norm}$ | Korrelation: $r=1$<br>$p=0,000$            |
| 2      | 94-138 | 50 | $r^2 = 0,864$ | <b>02:</b> $-29,361 - 0,539 \cdot \text{BMI} + 0,288 \cdot \text{Körpervolumen} + 63,835 \cdot \text{Oberschenkelumfanggesamt\_norm} + 49,863 \cdot \text{Brustumfang\_norm}$ | Korrelation: $r=0,999$<br>$p=0,000$        |

Tab. 34: Modellentwicklung Frauen: Kreuzvalidierung

Anhand der p-Werte in beiden Gruppe ist ersichtlich, dass die Nullhypothese bei einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$  abgelehnt wird. Es gibt einen Unterschied zwischen den beiden Körperfettformeln in beiden Gruppen. Das bedeutet, dass die beiden Vorhersagegleichungen keine ähnlichen Ergebnisse liefern. Auch hier gilt laut Heyward und Wagner (2004, S. 18) eine Vorhersageungenauigkeit, wodurch die Verwendungsfähigkeit des Regressionsmodells für die gesamte Stichprobe kritisch zu betrachten ist. Die Körperfettformeln beider Gruppen korrelieren jedoch sehr hoch miteinander, was auf einen starken Zusammenhang hindeutet.

#### **5.3.2.6.5 Übereinstimmung der Messmethoden**

In einem letzten Schritt werden nun die beiden Messmethoden zur Bestimmung des Körperfettanteils miteinander verglichen und auf ihre Übereinstimmung geprüft. Die Frage, ob die durch die Regressionsfunktion ermittelten Körperfettwerte den Werten der bioelektrischen Impedanzanalyse entsprechen, wird mit einem gepaarten t-Test beantwortet.

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$H_0$ : Die Mittelwerte der beiden Körperfettanalysemethoden unterscheiden sich nicht voneinander. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Mittelwerten.

Zuerst wird mit dem Regressionsmodell eine neue Variable berechnet. Dann wird der gepaarte t-Test durchgeführt:

*Transformieren → Variable berechnen: KFA\_Frauen.*

*Analysieren → Mittelwerte vergleichen → T-Test bei verbundenen Stichproben*

Der p-Wert, ersichtlich in Tabelle *Test bei gepaarten Stichproben*, ist deutlich größer als das gewählte Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$ . Die Nullhypothese kann nicht abgelehnt werden. Die Körperfettwerte der bioelektrischen Impedanzanalyse unterscheiden sich nicht signifikant von jenen, die mittels der Regressionsfunktion berechnet wurden. Die Messgenauigkeit der Regressionsfunktion kann somit bestätigt werden, es herrscht eine sehr gute Übereinstimmung sowie eine sehr hohe Korrelation (siehe Tabelle *Korrelationen bei gepaarten Stichproben*) zwischen den beiden Methoden.



Test bei gepaarten Stichproben

|                                       | Gepaarte Differenzen |                    |                                 |                                      |        | T      | df | Sig. (2-seitig) |
|---------------------------------------|----------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------------------|--------|--------|----|-----------------|
|                                       | Mittelwert           | Standardabweichung | Standardfehler des Mittelwertes | 95% Konfidenzintervall der Differenz |        |        |    |                 |
|                                       |                      |                    |                                 | Untere                               | Obere  |        |    |                 |
| Paaren BIA KFA in %<br>1 - KFA_Frauen | -,00163              | 2,64754            | ,26475                          | -,52696                              | ,52370 | - ,006 | 99 | ,995            |

Korrelationen bei gepaarten Stichproben

|                                       | N   | Korrelation | Signifikanz |
|---------------------------------------|-----|-------------|-------------|
| Paaren 1<br>BIA KFA in % & KFA_Frauen | 100 | ,928        | ,000        |

### 5.3.3 Zusammenfassung der statistischen Datenanalyse

Die Regressionsanalyse gilt als flexibles sowie häufig eingesetztes Analyseverfahren und ist als statistische Methode zur Aufdeckung von Kausalbeziehungen sehr gut geeignet. Mit der Regressionsanalyse können Ursachen analysiert und Wirkungen prognostiziert werden (Backhaus et al., 2006, S. 46ff). Das Ziel der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit, ein mathematisches Modell zur Vorhersage des Körperfettgehalts aus den Werten eines 3D Ganzkörperscanners jeweils für Männer und für Frauen zu entwickeln, wurde erreicht. Die Aussagekraft der aus dem 3D Ganzkörperscanner ermittelten Daten zur Berechnung des Körperfettanteils konnte bestätigt werden.

Die entwickelten Regressionsmodelle ermöglichen eine Vorhersage des Körperfettanteils durch ihre jeweiligen Parameter. Allerdings ist zu beachten, dass die geringe Stichprobengröße von  $n = 38$  bei den Männern einen starken Einfluss auf die Entwicklung des Regressionsmodells hat. Aus diesem Grund sollten anstelle einer Anwendung der Modellgleichung für Männer eine Vergrößerung der Stichprobenanzahl sowie eine neuerliche Modellentwicklung erfolgen.

Dennoch wird folgende Vorhersagegleichung für weiße Männer zwischen 23 und 75 Jahren als vorläufiges Endergebnis präsentiert:

$$\text{KFA\%' [\%]} = -23,699 + 73,7 \cdot \text{Bauchumfang\_norm}$$

Folgende Vorhersagegleichung ist für weiße Frauen zwischen 23 und 75 Jahren gültig und wird an dieser Stelle als endgültiges Ergebnis präsentiert:

$$\begin{aligned} \text{KFA\%' [\%]} = & -29,524 - 0,521 \cdot \text{BMI [kg/m}^2\text{]} + 0,291 \cdot \text{Körpervolumen [l]} + 62,276 \cdot \\ & \text{Oberschenkelumfanggesamt\_norm} + 48,922 \cdot \text{Brustumfang\_norm} \end{aligned}$$

Die beiden Regressionsmodelle können als 1-Kompartiment-Modell bzw. als 4-Kompartiment-Modell der Ganzkörper-Ebene angesehen werden, weil die Ermittlung des prozentuellen Körperfettanteils mit Hilfe äußerer Erscheinungsmerkmale erfolgt bzw. das Gesamtkörpervolumen miteinbezogen wird. Der Rückschluss auf die fettfreie Masse erfolgt über das 2-Kompartiment-Modell der molekularen Ebene:

$$\text{FM [kg]} = \text{KFA\%' [\%]} \cdot \text{BM [kg]} / 100$$

$$\text{FFM [kg]} = \text{BM [kg]} - \text{FM [kg]}$$

Aufgrund der nur teilweise erfüllten Modellvoraussetzungen sowie der nicht erfolgreichen Kreuzvalidierungen ist davon auszugehen, dass beide Regressionsmodelle nur eingeschränkt in der Grundgesamtheit angewendet werden können (Field, 2009, S. 220ff). Auch bei Extrapolation kann keine Garantie für den Erhalt valider Ergebnisse gegeben werden. Es wird empfohlen, die Modelle ausschließlich innerhalb ihres jeweiligen Geltungsbereiches heranzuziehen.

## 5.4 Diskussion und Ausblick

Die Frage, wie präzise die Vorhersage mit den entwickelten Regressionsmodellen für Männer und Frauen tatsächlich ist und wie genau sich die Ergebnisse der Regressionsmodelle an die wahren Körperfettwerte annähern, kann nicht genau geklärt werden. Die Gründe dafür sind auf zwei wesentliche Aspekte zurück zu führen: Die Modelle wurden anhand einer Referenzmethode entwickelt, die zwar präziser ist als die Infrarotspektroskopie und die Hautfaltendickemessung, die jedoch nicht als „Golden Standard“-Methode gilt. Zahlreiche Faktoren (siehe Kapitel 2.2.2.7) wirken beeinflussend auf die bioelektrische Impedanzanalyse und haben Messungenauigkeiten zur Folge, welche die Messergebnisse verfälschen können. Um Messfehler und Ungenauigkeiten seitens des 3D Ganzkörperscanners auszuschließen, ist eine umfassende Validierung dieser Technologie im Vorfeld notwendig. Grundsätzlich sollten die gemessenen Längen- und Breitenmaße sowie Umfänge des 3D Ganzkörperscanners mit anthropometrischen Maßbandmessungen verglichen und auf diese Weise die Messgenauigkeit des 3D Ganzkörperscanners festgestellt werden. Dieser Aspekt wurde bei der Studie „Bestimmung von körperbaulichen Merkmalen mit Hilfe eines 3D-Scanners“ nicht berücksichtigt. Aus diesem Grund kann davon ausgegangen werden, dass bei der Entwicklung der Vorhersagemodelle Ungenauigkeiten und Messfehler beeinflussend wirkten.

Der geschätzte Körperfettanteil aus den Daten des 3D Ganzkörperscanners entspricht nicht exakt dem angenommenen wahren Körperfettwert der bioelektrischen Impedanzanalyse. Allerdings ist mit dem Vorhersagemodell der Frauen eine ausgesprochen gute Annäherung an die Körperfettwerte der bioelektrischen Impedanzanalyse möglich. Somit gilt, dass mit den gewählten unabhängigen Variablen BMI, Körpervolumen, Oberschenkelumfanggesamt\_norm und Bauchumfang\_norm eine sehr gute Vorhersage des Körperfettanteils der Frauen getroffen werden kann.

Die Anwendung beider Vorhersagegleichungen zur Bestimmung des Körperfettanteils aus den Werten eines 3D Ganzkörperscanners ist jedoch berechtigt, was folgendes Zitat von Backhaus et al. (2006, S. 78) noch zusätzlich unterstreicht:

*„Der Wert eines Modells resultiert daraus, dass es einfacher ist als die Realität und sich auf die Wiedergabe wichtiger struktureller Aspekte begrenzt.“* (Backhaus et al., 2006, S. 78).

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass ein 3D Ganzkörperscanner für Studienzwecke im Bereich Körperfettanalysen durchaus eingesetzt werden kann. Von den zahlreichen Vorteilen (siehe Kapitel 4.3.4) sind insbesondere ökonomische Aspekte hervorzuheben. Die Durchführung eines 3D Scans ist sehr einfach, die Dauer der Durchführung pro Proband/in ist sehr gering und es ist nur wenig Personal für die Durchführung notwendig. Ganz im Gegensatz zu anthropometrischen Maßbandmessungen, welche je nach Untersucher/in bezüglich Messdauer und Messgenauigkeit variieren können. Die bioelektrische Impedanzanalyse als schnellere Alternative zu anthropometrischen Maßbandmessungen und als günstigere Alternative zur 3D Ganzkörperscantechnologie zu bezeichnen, wäre an dieser Stelle zulässig. Allerdings befinden sich wichtige Informationen bezüglich des Körperfettanteils des Menschen im Bereich des Rumpfes. Die bioelektrische Impedanzanalyse erfasst Fetteinlagerungen in den Extremitäten besser als jene im Körperstammbereich (siehe Kapitel 2.2.2.7). Daher kann der mit der bioelektrischen Impedanzanalyse ermittelte Körperfettwert vom tatsächlichen Wert stark abweichen. Die 3D Ganzkörperscantechnologie mit den entwickelten Vorhersagemodellen ist daher als Methode zur Bestimmung des Körperfettanteils durchaus anwendbar. Auf eine Kombination mit traditionellen anthropometrischen Messmethoden wird hier lediglich verwiesen. Anthropometrische Messmethoden können ergänzend im Zuge von wissenschaftlichen Studien wertvolle Informationen liefern, wie dies beispielsweise bei der Ermittlung des Körpergewichtes zur Bestimmung des BMI-Wertes für das Regressionsmodell der Frauen der Fall ist.

Der wahre Körperfettgehalt des Menschen kann mit keiner Methode exakt bestimmt werden (Heyward & Wagner, 2004, S. 27). Aus diesem Grund erheben die in der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit entwickelten Modelle nicht den Anspruch auf Perfektion, gelten sie laut Perl et al. (2002, S. 15) lediglich als abstrakte Abbilder eines Systems. Ein Vergleich mit Regressionsmodellen, die anhand einer „Golden Standard“-Methode wie beispielsweise dem Bod Pod entwickelt wurden, wäre von Vorteil und wird an dieser Stelle empfohlen. Dadurch könnte die noch offene Frage geklärt werden, ob mit den entwickelten Regressionsmodellen eine Annäherung an die angenommenen wahren Körperfettwerte einer „Golden Standard“-Methode generell möglich ist.

## LITERATURVERZEICHNIS

Andreoli, A.; Melchiorri, G.; De Lorenzo, A.; Caruso, I.; Salimei, P. S.; Guerrisi, M. (2002). Bioelectrical impedance measures in different position and vs. dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). *Journal of sports medicine and physical fitness*, 42: 186 - 189.

Backhaus, K.; Erichson, B.; Plinke, W.; Weiber, R. (2006). *Multivariate Analysemethoden*. 11., überarbeitete Auflage. Heidelberg: Springer.

Baumgartner, R.N. (2005). Age. In S.B. Heymsfield, T. G. Lohman, ZM. Wang & S. B. Going (Hrsg.), *Human Body Composition*. 2<sup>nd</sup> Edition, (S. 259 - 269). United States: Human Kinetics.

Bartels, R.; Bartels, H. (2004). *Physiologie: Lehrbuch der Funktionen des menschlichen Körpers*. 7., überarbeitete Auflage. München: Elsevir.

Becker, C. (2002). *Formulierung populationsspezifischer Algorithmen zur Bestimmung der Körperfettmasse von Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen, basierend auf Feldmethoden mit Air Displacement Plethysmography als Referenz*. Dissertation, Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde der Christian-Albrechts-Universität Kiel.

Bellisari, A.; Roche, A. F. (2005). Anthropometry and Ultrasound. In S.B. Heymsfield, T. G. Lohman, ZM. Wang & S. B. Going (Hrsg.), *Human Body Composition*. 2<sup>nd</sup> Edition, (S. 109 - 127). United States: Human Kinetics.

Beyer, E. (1992). *Wörterbuch der Sportwissenschaft*. 2., unveränderte Auflage. Schorndorf: Hofmann.

Bortz, J.; Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. 7. Auflage. Heidelberg: Springer.

Bungartz, H.-J.; Zimmer, S.; Buchholz, M.; Pflüger, D. (2009). *Modellbildung und Simulation. Eine anwendungsorientierte Einführung*. Heidelberg: Springer.

Cameron, N.; Jones, L. L. (2010). History, Methods, and General Applications of Anthropometry in Human Biology. In M. P. Muehlenbein (Hrsg.), *Human Evolutionary Biology*, (S. 92 - 112). New York: Cambridge University Press.

Chumlea, Wm. C.; Sun, S. S. (2005). Bioelectrical Impedance Analysis. In S. B. Heymsfield, T. G. Lohman, ZM. Wang & S. B. Going (Hrsg.), *Human Body Composition*. 2<sup>nd</sup> Edition, (S. 79 - 88). United States: Human Kinetics.

Daniell, D. (2007). A comparison of the accuracy of the Vitus Smart® and Hamamatsu Body Line® 3D whole-body scanners. In M. Marfell-Jones, T. Olds (Hrsg.), *Kinanthropometry X. Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Society for Advancement of Kinanthropometry Conference*, (S. 39 - 54). New York: Routledge.

Davies, P. S. W.; Murphy, A. J. (2010). Energy Expenditure and Body Composition: History, Methods, and inter-relationships. In M.P. Muehlenbein (Hrsg.), *Human Evolutionary Biology*, (S. 113 - 126). New York: Cambridge University Press.

Dittmar, M.; Reber, H. (2004) Validation of different bioimpedance analyzers for predicting cell mass against whole-body counting of potassium (40K) as a reference method. *American Journal of Human Biology*, 16: 697 - 703.

Drosdowski, G. (1989). *Duden. Deutsches Universal Wörterbuch A - Z*. 2., völlig neu bearbeitete und stark erweiterte Auflage. Mannheim: Dudenverlag.

Ellis, K. J. (2005). Whole-Body Counting and Neutron Activation Analysis. In S. B. Heymsfield, T. G. Lohman, ZM. Wang & S. B. Going (Hrsg.), *Human Body Composition*. 2<sup>nd</sup> Edition, (S. 51 - 62). United States: Human Kinetics.

Evans, E. M.; Arngrimsson, S. A.; Cureton, K. J. (2001). Body composition estimates from multicomponent models using BIA to determine body water. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33 (5): 839 - 845.

Field, A. (2009). *Discovering Statistics using SPSS*. 3<sup>rd</sup> Edition. Singapore: Sage.

Gallagher, D.; Javed, F. (2009). Assessment of Human Body Composition. In D. B. Allison, M. L. Baskin (Hrsg.), *Handbook of Assessment Methods for Eating Behaviors and Weight-Related Problems. Measures, Theory, and Research*, 2<sup>nd</sup> Edition, (S. 481 - 528). USA: Sage Publications.

Going, S. B. (2005). Hydrodensitometry and Air Displacement Plethysmography. In S. B. Heymsfield, T. G. Lohman, ZM. Wang & S. B. Going (Hrsg.), *Human Body Composition*. 2<sup>nd</sup> Edition, (S. 17 - 33). United States: Human Kinetics.

Han, H.; Nam, Y.; Choi, K. (2010). Comparative analysis of 3D body scan measurements and manual measurements of size Korea adult females. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40: 530 - 540.

Heyward, V. H.; Wagner, D. R. (2004). *Applied Body Composition Assessment*. 2<sup>nd</sup> Edition. United States: Human Kinetics.

Heyward, V. H. (2010). *Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription*. 6<sup>th</sup> Edition. USA: Human Kinetics.

Horie, L. M.; Barbosa-Silva, M. C. G.; Torrinhas, R. S.; Túilo de Mello, M.; Cecconello, I.; Waitzberg, D. L. (2008). New body fat prediction equations for severely obese patients. *Clinical Nutrition*, 27: 350 - 356.

Isjwara, R. I.; Lukito, W.; Schultink, J. W. (2007). Comparison of body compositional indices assessed by underwater weighing, bioelectrical impedance and anthropometry in Indonesian adolescent girls. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 16: 641 - 648.

Janssen, J.; Laatz, W. (2007). *Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows*. 6., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Berlin: Springer.

Kitano, T.; Kitano, N.; Inomoto, T.; Futatsuka, M. (2000). Evaluation of Body Composition Using Dual-energy-X-ray Absorptiometry, Skinfold Thickness and Bioelectrical Impedance Analysis in Japanese Female College Students. *Journal of nutritional science and vitaminology*, 47: 122 - 125.

Koula-Jenik, H.; Kraft, M.; Miko, M.; Schulz, R.-J. (2006). *Leitfaden Ernährungsmedizin*. München: Urban & Fischer.

Leweling, H. (1995). Zusammensetzung des Körpers. In H.-K. Biesalski, P. Fürst, R. Kluthe, W. Pöler, C. Puchstein, H. B. Stähelin. *Ernährungsmedizin*, (S. 3 - 12). Stuttgart: Georg Thieme.

Lohman, T. G.; Chen, Z. (2005). Dual-Energy X-Ray Absorptiometry. In S.B. Heymsfield, T.G. Lohman, ZM. Wang & S.B. Going (Hrsg.), *Human Body Composition*. 2<sup>nd</sup> Edition, (S. 63 - 77). United States: Human Kinetics.

Lu, J-M.; Wang, M-J. J. (2010). The Evaluation of Scan-Derived Anthropometric Measurements. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 59 (8): 2048 - 2054.

Malina, R. M. (2005). Variation in Body Composition Associated With Sex and Ethnicity. In S. B. Heymsfield, T. G. Lohman, ZM. Wang & S. B. Going (Hrsg.), *Human Body Composition*. 2<sup>nd</sup> Edition, (S. 271 - 298). United States: Human Kinetics.

McArdle, W. D.; Katch, F. L.; Katch V. L. (2009). *Exercise Physiology: Nutrition, Energy and Human Performance*. Philadelphia: Lippincott Raven.

Müller, M. J.; Westenhöfer, J.; Bosy-Westphal, A.; Löser, C.; Selberg, O. (2007). Ernährungsmedizinische Untersuchungen. In M. J. Müller. *Ernährungsmedizinische Praxis. Methoden – Prävention – Behandlung*. 2., vollständig neu bearbeitete Auflage, (S. 1 - 196). Heidelberg: Springer.

Ortlieb, C. P.; V. Dresky, C.; Gasser, I.; Günzel, S. (2009). *Mathematische Modellierung. Eine Einführung in zwölf Fallstudien*. Wiesbaden: Vieweg & Teubner.

Perl, J.; Lames, M.; Glitsch, U. (2002). *Modellbildung in der Sportwissenschaft*. Schorndorf: Hofmann.

Preiser, S.; Dresel, M. (2003). *Pädagogische Psychologie*. Weinheim: Juventa.



Pschyrembel, W. (1998). *Klinisches Wörterbuch*. Berlin: de Gruyter.

Raithel, J. (2008). *Quantitative Forschung: Ein Praxisbuch*. 2., durchgesehene Auflage. Wiesbaden: Springer Science & Business Media.

Rehner, G.; Daniel, H. (2010). *Biochemie der Ernährung*. Heidelberg: Springer.

Reiche, D. (2006). *Roche-Lexikon Medizin*. 5., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. München: Urban & Fischer.

Robinette, K. M.; Daanen, H.; Paquet, E. (1999). The Caesar Project; A 3-D Surface Anthropometry Survey. In Hrsg. *Unbekannt, Proceedings in 3-D Digital Imaging and Modeling*, (S. 380-386). Ottawa Kanada.

Ross, R.; Janssen, I. (2005). Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging. In S. B. Heymsfield, T. G. Lohman, ZM. Wang & S. B. Going (Hrsg.), *Human Body Composition*. 2<sup>nd</sup> Edition, (S. 89 - 108). United States: Human Kinetics.

Sachs, L. & Hedderich, J. (2006). *Angewandte Statistik. Methodensammlung mit R*. 12., vollständig neu bearbeitete Auflage. Heidelberg: Springer.

Sardinha, L. B.; Teixeira, P. J. (2005). Measuring Adiposity and Fat Distribution in Relation to Health. In S.B. Heymsfield, T. G. Lohman, ZM. Wang & S. B. Going (Hrsg.), *Human Body Composition*. 2<sup>nd</sup> Edition, (S. 177 - 201). United States: Human Kinetics.

Schlicht, W.; Brand, R. (2007). *Körperliche Aktivität, Sport und Gesundheit*. Weinheim: Juventa.

Schoeller, D. A. (2005). Hydrometry. . In S. B. Heymsfield, T. G. Lohman, ZM. Wang & S. B. Going (Hrsg.), *Human Body Composition*. 2<sup>nd</sup> Edition, (S. 35 - 49). United States: Human Kinetics.

Schranz, N.; Tomkinson, G.; Olds, T.; Daniell, N. (2010). Three-dimensional anthropometric analysis: Differences between elite Australian rowers and the general population. *Journal of Sports Science*, 28 (5): 459 - 469.

Schultz, S. G. (2002). William Hervey and the circulation of the blood: The birth of a scientific revolution and modern physiology. *News in Physiological Science*, 17: 175 - 180.

Schutz, Y. (2004). Ermittlung der Körperzusammensetzung. In H.-K. Biesalski, P. Fürst, H. Kasper, R. Kluthe, W. Pöler, C. Puchstein & H. B. Stähelin (Hrsg.), *Ernährungsmedizin*. 3., erweiterte Auflage, (S. 8 - 18). Stuttgart: Georg Thieme.

Shi, X.-J.; Sun, L.; Chen, J.-X. (2006). The Design and Implementation of Electronic Made-to-Measure System. In T. Sobh, K. Elleithy (Hrsg.), *Advances in Systems, Computing Sciences and Software Engineering. Proceedings of SCSS 2005*, (S. 205 - 208). Dordrecht: Springer.

Shen, W.; St-Onge, M.-P.; Wang, ZM.; Heymsfield, S. B. (2005). Study of Body Composition: An Overview. In S. B. Heymsfield, T. G. Lohman, ZM. Wang & S. B. Going (Hrsg.), *Human Body Composition*. 2<sup>nd</sup> Edition, (S. 1 - 16). United States: Human Kinetics.

Smeets, R. (2003). *Korrelation der Bioelektrischen Impedanz Analyse (B.I.A.) und Lebensqualität nach körperformenden Eingriffen in der Plastischen Chirurgie*. Dissertation, Medizinische Fakultät der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.

Speckmann, E.-J.; Wittkowski, W. (1998). *Bau und Funktion des menschlichen Körpers*. 19. Auflage. München: Urban & Fischer.

Speckmann, E.-J.; Hescheler, J.; Köhling, R. (2008). *Physiologie*. München: Urban & Fischer.

Steward, A. D. (2010). Kinanthropometry and body composition: A natural home for three-dimensional photonic scanning. *Journal of Sports Science*, 28 (5): 445 - 457.

Thomson, R.; Brinkworth, G. D.; Buckley, J. D.; Noakes, M.; Clifton, P. M. (2007). Good agreement between bioelectrical impedance and dual X-ray absorptiometry for estimating changes in body composition during weight loss in overweight young women. *Clinical Nutrition*, 26: 771 - 777.

Unbekannt (2011, 26. Februar). *Welcome to ISAK*. Zugriff am 26. Februar unter: <http://www.isakonline.com/>

Wells, J. C. K.; Ruto, A.; Treleaven, P. (2008). Whole-body three-dimensional photonic scanning: a new technique for obesity research and clinical practice. *International Journal of Obesity*, 32: 232 - 238.

Wang, J.; Gallagher, D.; Thornton, J. C.; Yu, W.; Horlick, M.; Pi-Sunyer, F. X. (2006). Validation of a 3-dimensional photonic scanner for the measurement of body volumes, dimensions, and percentage body fat. *American Journal of Clinical Nutrition*, 83: 809 - 816.

Wang, ZM.; Pierson, R. N. J.; Heymsfield, S. B. (1992). The five level model: a new approach to organizing body composition research. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 56: 19 - 28.

Wang, ZM.; Wang, Z-M.; Heymsfield, S. B. (1999). History of the study of human body composition. A brief review. *American Journal of Human Biology*, 11: 157 - 165.

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

|                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abb. 1: Die Erforschung der Körperzusammensetzung, unterteilt in drei Kategorien ..... | 10  |
| Abb. 2: Unterschiedliche Definitionen des Begriffs fettfreie Masse.....                | 12  |
| Abb. 3: Verhältnis zwischen Ganzkörperflüssigkeit und Ganzkörperwasser.....            | 13  |
| Abb. 4: Das „Five-Level Model“ von Wang et al. ....                                    | 19  |
| Abb. 5: Vergleich von Kompartiment-Modellen innerhalb der atomaren Ebene.....          | 21  |
| Abb. 6: Divergente Darstellung der molekularen Ebene in Bezug auf das Glykogen.....    | 23  |
| Abb. 7: Vergleich der gängigsten Kompartiment-Modelle der molekularen Ebene .....      | 24  |
| Abb. 8: Vergleich der Kompartiment-Modelle auf zellulärer Ebene.....                   | 26  |
| Abb. 9: Überblick über die Kompartiment-Modelle auf der Gewebs-Ebene .....             | 27  |
| Abb. 10: Hydrodensitometrie.....                                                       | 37  |
| Abb. 11: Bod Pod ® zur Air Displacement Plethysmographie .....                         | 38  |
| Abb. 12: vereinfachte Darstellung des Stromflusses durch das Gewebe.....               | 45  |
| Abb. 13: Bland-Altman Plot: BIA vs. Infrarot-Spektroskopie .....                       | 57  |
| Abb. 14: Bland-Altman Plot: BIA vs. Hautfaltendickemessung .....                       | 57  |
| Abb. 15: Virtuelle Kleideranprobe.....                                                 | 60  |
| Abb. 16: Prüfung auf Zusammenhang: 3D Scan, Körpervolumen, Brustumfang .....           | 71  |
| Abb. 17: Prüfung auf Zusammenhang: 3D Scan, %BF .....                                  | 72  |
| Abb. 18: Fettverteilungstypen am Beispiel der Frau .....                               | 77  |
| Abb. 19: Schematische Darstellung des Modellierungsprozesses.....                      | 78  |
| Abb. 20: Vermessungen der Hautfaltendicken .....                                       | 80  |
| Abb. 21: Modellentwicklung Männer: Überprüfung der Linearitätsannahme.....             | 98  |
| Abb. 22: Modellentwicklung Männer: Prüfung auf Homoskedastizität .....                 | 99  |
| Abb. 23: Modellentwicklung Frauen: Überprüfung der Linearitätsannahme.....             | 107 |
| Abb. 24: Modellentwicklung Frauen: Prüfung auf Homoskedastizität .....                 | 109 |

## TABELLENVERZEICHNIS

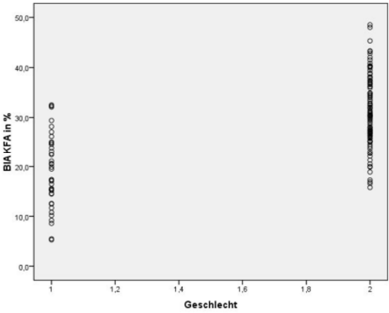
|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 1: Terminologie: Körpermasse .....                                              | 14 |
| Tab. 2: Terminologie: Lipide.....                                                    | 15 |
| Tab. 3: Terminologie: Fette .....                                                    | 15 |
| Tab. 4: Terminologie: Magermasse und fettfreie Masse.....                            | 16 |
| Tab. 5: Terminologie: Ganzkörperwasser & Ganzkörperflüssigkeit .....                 | 17 |
| Tab. 6: Terminologie: Zellmasse .....                                                | 17 |
| Tab. 7: Überblicksmäßige Darstellung der 5 Ebenen mit ihren Kompartiment-Modellen .. | 29 |
| Tab. 8: Gliederungsmöglichkeiten der Messmethoden.....                               | 31 |
| Tab. 9: Vor- und Nachteile der Ganzkörperkaliummethode.....                          | 34 |
| Tab. 10: Vor- und Nachteile von HD und ADP .....                                     | 39 |
| Tab. 11: Vor- und Nachteile der Isotopendilution .....                               | 40 |
| Tab. 12: Vor- und Nachteile der DEXA-Methode.....                                    | 42 |
| Tab. 13: Vor- und Nachteile der bioelektrischen Impedanzanalyse .....                | 48 |
| Tab. 14: Vor- und Nachteile der Hautfaltendickemessung .....                         | 51 |
| Tab. 15: Vor- und Nachteile der Infrarot-Spektroskopie .....                         | 52 |
| Tab. 16: Überblicksmäßige Darstellung der Messmethoden .....                         | 53 |
| Tab. 17: Validierungsstudien der BIA.....                                            | 54 |
| Tab. 18: Messgenauigkeit 3D Scan, Prüfung auf Unterschied .....                      | 66 |
| Tab. 19: Messgenauigkeit 3D Scan, Evaluation einiger exemplarischer Ergebnisse ..... | 67 |
| Tab. 20: Präzision 3D Scan, Evaluation einiger exemplarischer Ergebnisse.....        | 68 |
| Tab. 21: Einflussfaktoren: exemplarische Zusammenfassung.....                        | 70 |
| Tab. 22: Vor- und Nachteile der 3D Ganzkörperscantechnologie.....                    | 72 |
| Tab. 23: Prozentuelle Körperfett-Standardwerte .....                                 | 74 |
| Tab. 24: Klassifikation von Übergewicht und Adipositas durch den BMI.....            | 76 |

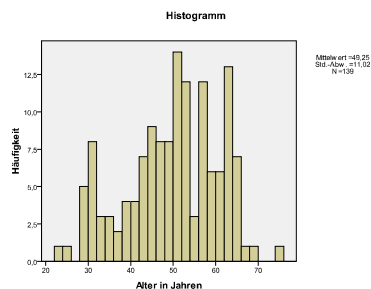
|                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tab. 25: Anthropometrische Daten des 3D Scanner VITUS smart XXL .....             | 81  |
| Tab. 26: Voraussetzungsprüfungen ausgewählter Parameter .....                     | 86  |
| Tab. 27: Ermittlung der Einflussvariablen, exemplarische Darstellung .....        | 87  |
| Tab. 28: Bivariate Korrelationsanalyse für Männer und Frauen.....                 | 89  |
| Tab. 29: Bivariate Korrelationsanalyse mit Streudiagrammen für Männer .....       | 90  |
| Tab. 30: Vergleich der Regressionsmodelle und Variablenselektion für Männer ..... | 91  |
| Tab. 31: Bivariate Korrelationsanalyse mit Streudiagrammen für Frauen.....        | 92  |
| Tab. 32: Vergleich der Regressionsmodelle und Variablenselektion für Frauen.....  | 94  |
| Tab. 33: Modellentwicklung Männer: Kreuzvalidierung .....                         | 101 |
| Tab. 34: Modellentwicklung Frauen: Kreuzvalidierung .....                         | 111 |

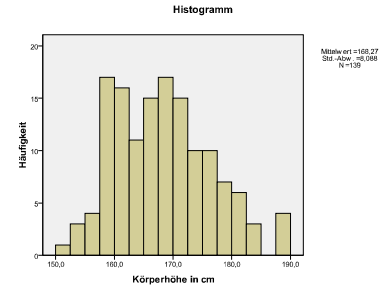
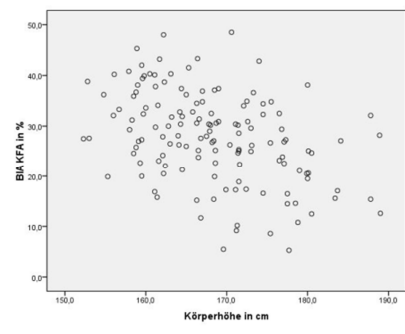
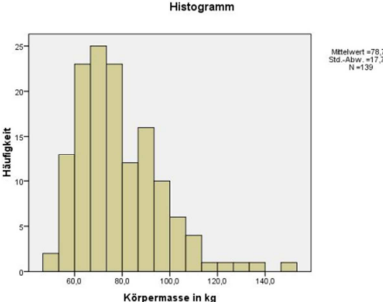
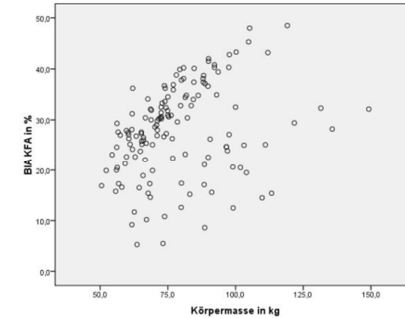
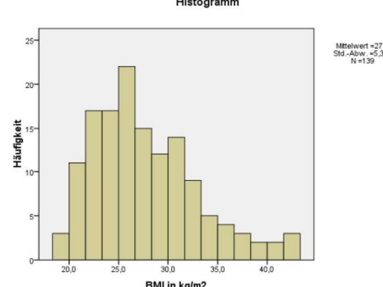
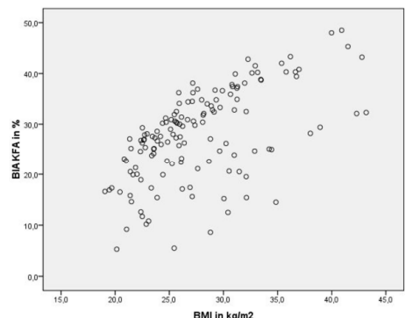
## ANHANG A

|                                                              |                                                           |                                                                                                                  |                                                                                                                     |                                                 |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Voraussetzungen für die multiple lineare Regression<br>n=139 | 1) Skalenniveau<br>AV metrisch, UV metrisch oder dichotom | 2) Normalverteilung ( $\alpha=0,05$ )<br>H0=Es gibt keinen Unterschied der Verteilung von einer Normalverteilung | 3) Signifikanter Zusammenhang ( $\alpha=0,05$ )<br>H0=Es besteht kein sign. Zusammenhang zwischen der AV und der UV | 4) Prüfung auf Linearität mittels Streudiagramm |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|

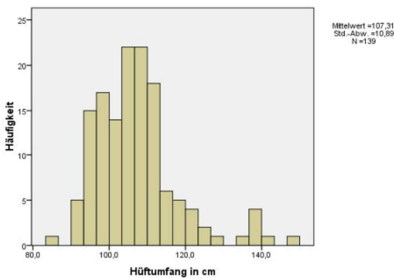
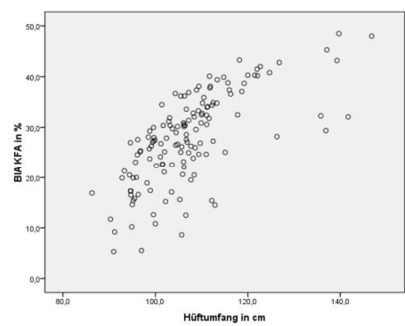
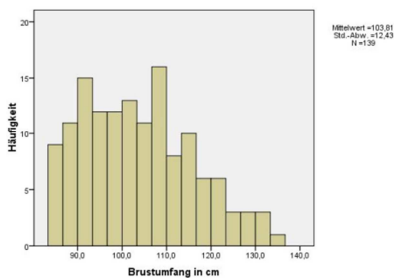
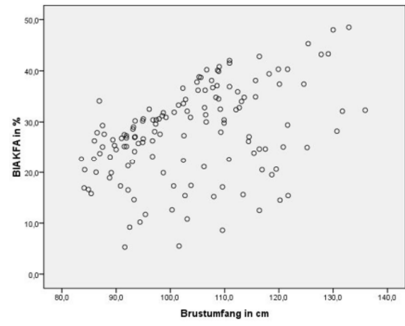
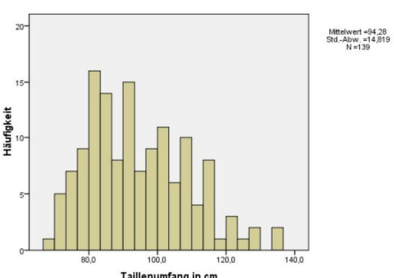
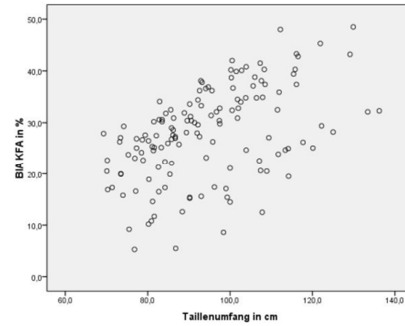
|               |          |         |  |  |
|---------------|----------|---------|--|--|
| AV: BIA KFA % | Metrisch | p=0,200 |  |  |
|---------------|----------|---------|--|--|

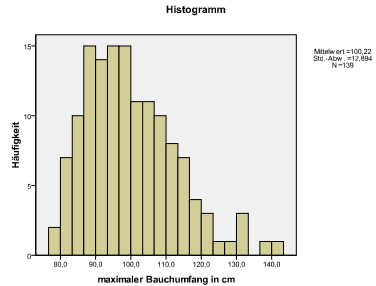
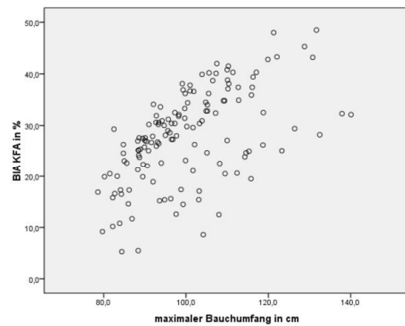
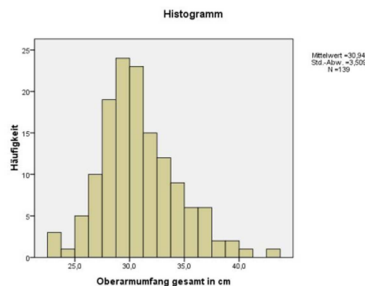
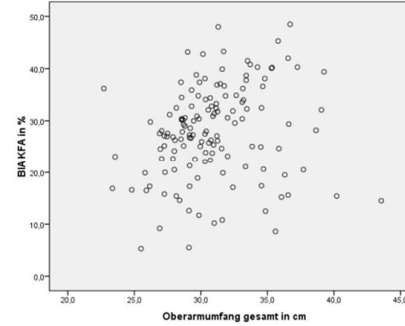
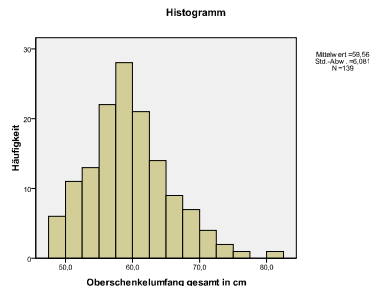
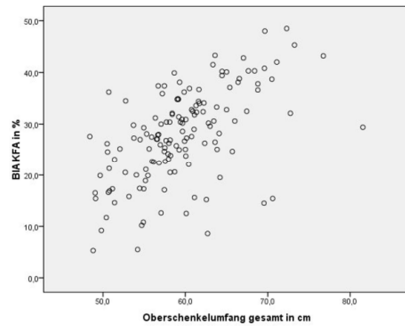
|                |          |         |                            |                                                                                      |
|----------------|----------|---------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| UV: Geschlecht | Dichotom |         | p=0,000 r=0,607 $r^2=0,37$ |  |
| UV: Alter      | Metrisch | p=0,061 | p=0,278                    |                                                                                      |

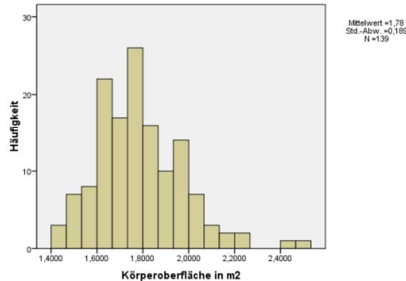
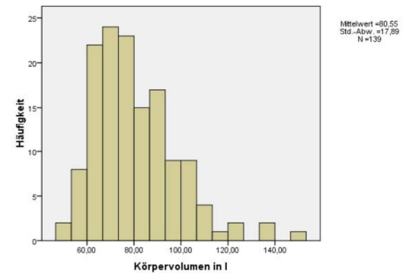
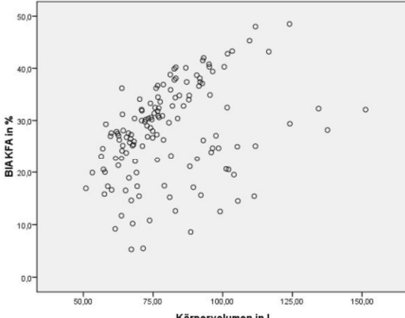


|                 |          |                                                                                                            |                                                                                                                                       |
|-----------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| UV: Körperhöhe  | Metrisch | <p><b>p=0,200</b></p>    | <p><b>p=0,000 r=-0,410 r<sup>2</sup>=0,17</b></p>  |
| UV: Körpermasse | Metrisch | <p><b>p=0,000</b></p>    | <p><b>p=0,000 r=0,308 r<sup>2</sup>=0,09</b></p>   |
| UV: BMI         | Metrisch | <p><b>p=0,001</b></p>  | <p><b>p=0,000 r=0,587 r<sup>2</sup>=0,34</b></p>  |



|                   |          |                                                                                                                                                                                                 |                                                                        |                                                                                      |
|-------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| UV: Hüftumfang    | Metrisch | <p><math>p=0,000</math></p> <p>Histogramm</p>  <p>Mittelwert = 107,31<br/>Std.-Abw. = 10,99<br/>N = 139</p>   | <p><math>p=0,000</math> <math>r=0,693</math> <math>r^2=0,48</math></p> |   |
| UV: Brustumfang   | Metrisch | <p><math>p=0,016</math></p> <p>Histogramm</p>  <p>Mittelwert = 103,01<br/>Std.-Abw. = 12,43<br/>N = 139</p>   | <p><math>p=0,000</math> <math>r=0,418</math> <math>r^2=0,17</math></p> |   |
| UV: Taillenumfang | Metrisch | <p><math>p=0,009</math></p> <p>Histogramm</p>  <p>Mittelwert = 94,28<br/>Std.-Abw. = 14,919<br/>N = 139</p> | <p><math>p=0,000</math> <math>r=0,495</math> <math>r^2=0,25</math></p> |  |

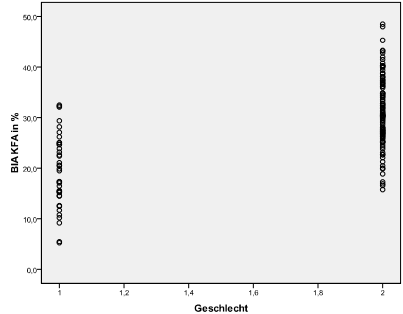
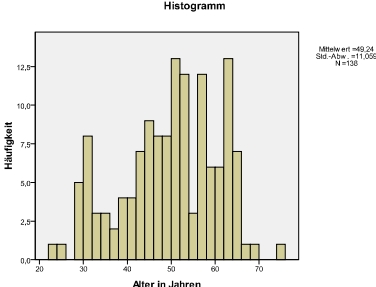
|                                  |          |                                                                                                            |                                                  |                                                                                      |
|----------------------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| UV: Bauchumfang                  | Metrisch | <p><b>p=0,083</b></p>    | <p><b>p=0,000 r=0,564 r<sup>2</sup>=0,32</b></p> |   |
| UV: Oberarmumfang<br>gesamt      | Metrisch | <p><b>p=0,006</b></p>    | <p><b>p=0,023 r=0,192 r<sup>2</sup>=0,04</b></p> |   |
| UV: Oberschenkelumfang<br>gesamt | Metrisch | <p><b>p=0,066</b></p>  | <p><b>p=0,000 r=0,570 r<sup>2</sup>=0,32</b></p> |  |

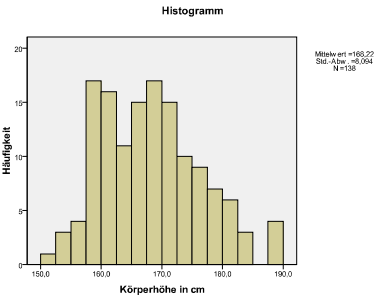
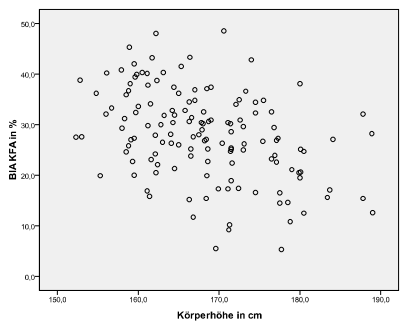
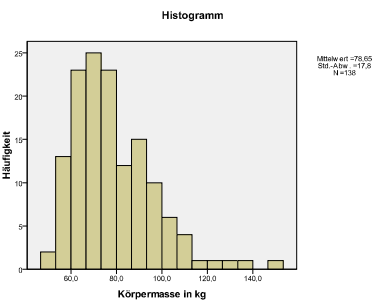
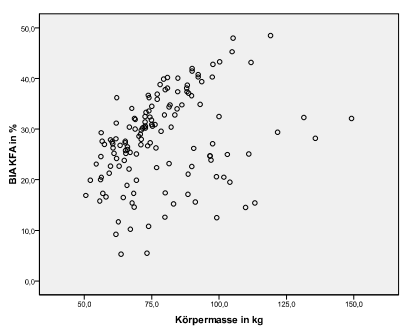
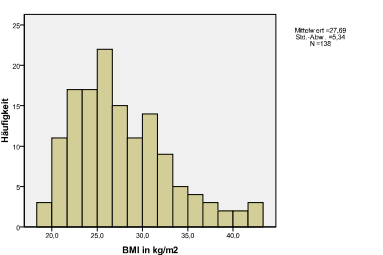
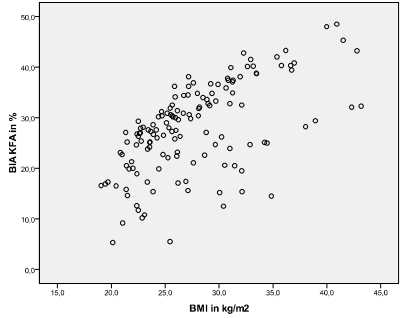
|                      |          |                                                                                                                                                                                              |                                                                        |                                                                                     |
|----------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| UV: Körperoberfläche | Metrisch | <p><math>p=0,016</math></p> <p>Histogramm</p>  <p>Mittelwert = 1,78<br/>Std.-Abw. = 0,169<br/>N = 139</p>  | <p><math>p=0,147</math></p>                                            |                                                                                     |
| UV: Körpervolumen    | Metrisch | <p><math>p=0,000</math></p> <p>Histogramm</p>  <p>Mittelwert = 80,55<br/>Std.-Abw. = 17,89<br/>N = 139</p> | <p><math>p=0,000</math> <math>r=0,360</math> <math>r^2=0,13</math></p> |  |

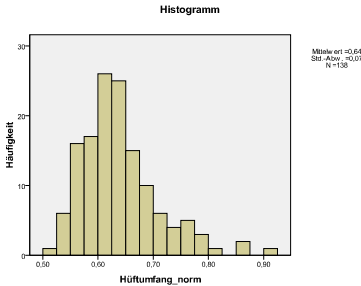
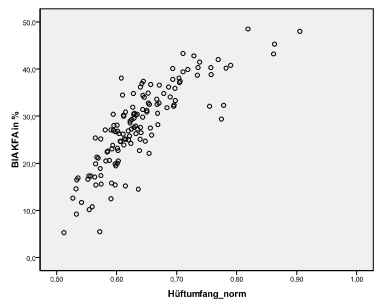
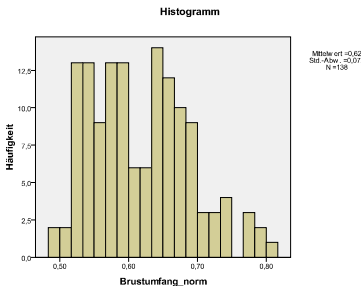
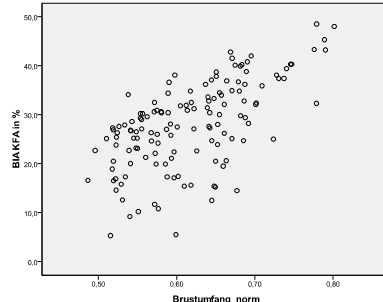
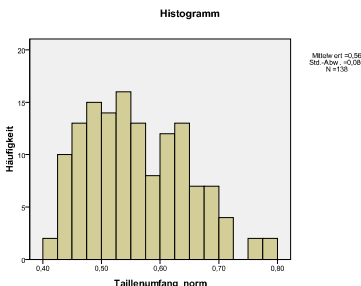
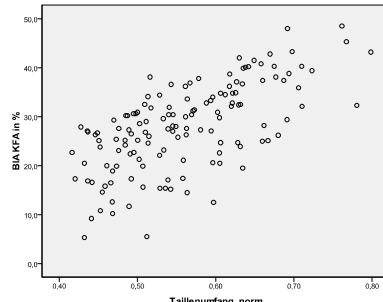
## ANHANG B

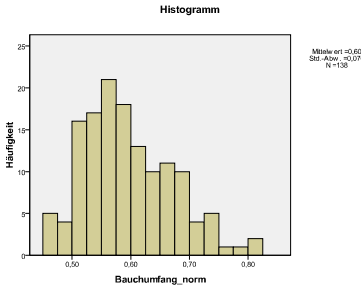
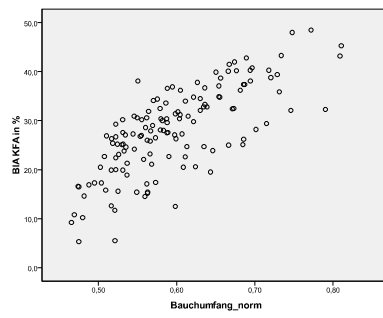
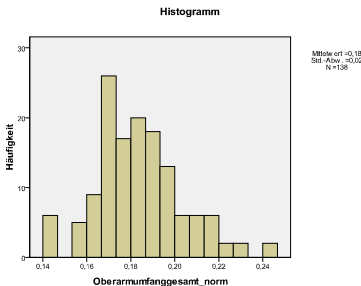
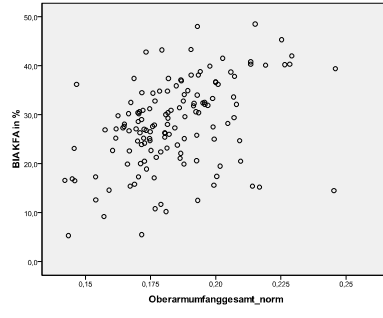
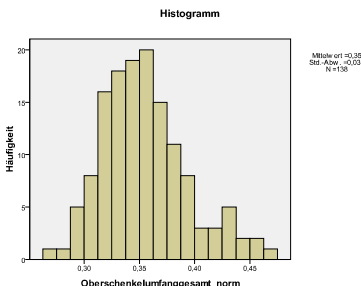
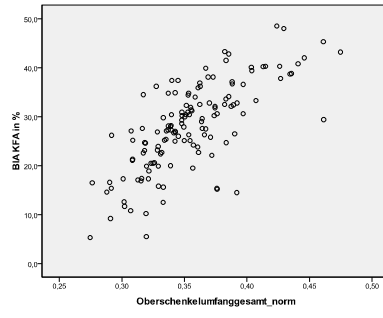
|                                                              |                                                           |                                                                                                                  |                                                                                                                     |                                                 |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Voraussetzungen für die multiple lineare Regression<br>n=138 | 1) Skalenniveau<br>AV metrisch, UV metrisch oder dichotom | 2) Normalverteilung ( $\alpha=0,05$ )<br>H0=Es gibt keinen Unterschied der Verteilung von einer Normalverteilung | 3) Signifikanter Zusammenhang ( $\alpha=0,05$ )<br>H0=Es besteht kein sign. Zusammenhang zwischen der AV und der UV | 4) Prüfung auf Linearität mittels Streudiagramm |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|

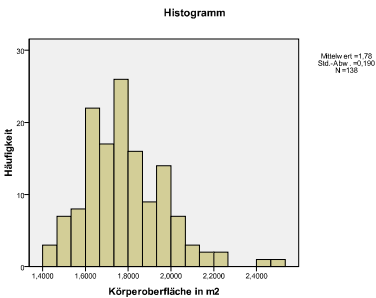
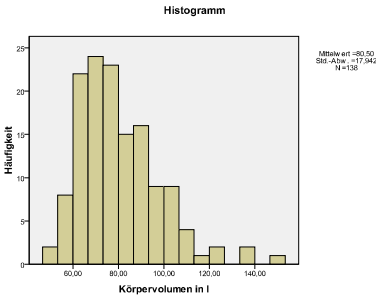
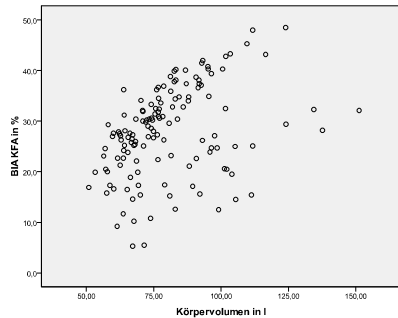
|               |          |         |  |  |
|---------------|----------|---------|--|--|
| AV: BIA KFA % | Metrisch | p=0,200 |  |  |
|---------------|----------|---------|--|--|

|                |          |         |                            |                                                                                      |
|----------------|----------|---------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| UV: Geschlecht | Dichotom |         | p=0,000 r=0,598 $r^2=0,36$ |  |
| UV: Alter      | Metrisch | p=0,086 | p=0,259                    |  |

|                 |          |                                                                                                                                                                                         |                                                   |                                                                                       |
|-----------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| UV: Körperhöhe  | Metrisch | <p><b>p=0,200</b></p> <p>Histogramm</p>  <p>Mittelwert = 165,22<br/>Std.-Abw. = 8,064<br/>N = 138</p> | <p><b>p=0,000 r=-0,404 r<sup>2</sup>=0,16</b></p> |    |
| UV: Körpermasse | Metrisch | <p><b>p=0,000</b></p> <p>Histogramm</p>  <p>Mittelwert = 75,55<br/>Std.-Abw. = 17,6<br/>N = 138</p>   | <p><b>p=0,000 r=0,322 r<sup>2</sup>=0,10</b></p>  |    |
| UV: BMI         | Metrisch | <p><b>p=0,000</b></p> <p>Histogramm</p>  <p>Mittelwert = 27,09<br/>Std.-Abw. = 5,34<br/>N = 138</p> | <p><b>p=0,000 r=0,601 r<sup>2</sup>=0,36</b></p>  |  |

|                        |          |                                                                                                     |                                                                                                                                 |
|------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| UV: Hüftumfang_norm    | Metrisch | <p>p=0,000</p>    | <p>p=0,000 r= 0,830 r<sup>2</sup>=0,69</p>   |
| UV: Brustumfang_norm   | Metrisch | <p>p=0,05</p>     | <p>p=0,000 r=0,620 r<sup>2</sup>=0,38</p>    |
| UV: Taillenumfang_norm | Metrisch | <p>p=0,018</p>  | <p>p=0,000 r=0,654 r<sup>2</sup>=0,43</p>  |

|                                    |          |                                                                                                     |                                                                                                                                 |
|------------------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| UV: Bauchumfang_norm               | Metrisch | <p>p=0,022</p>    | <p>p=0,000 r=0,746 r<sup>2</sup>=0,56</p>    |
| UV: Oberarmumfang_gesamt_norm      | Metrisch | <p>p=0,04</p>     | <p>p=0,000 r=0,423 r<sup>2</sup>=0,18</p>    |
| UV: Oberschenkelumfang_gesamt_norm | Metrisch | <p>p=0,096</p>  | <p>p=0,000 r=0,726 r<sup>2</sup>=0,53</p>  |

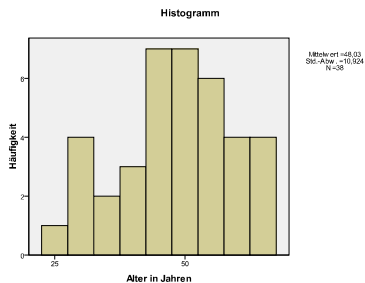
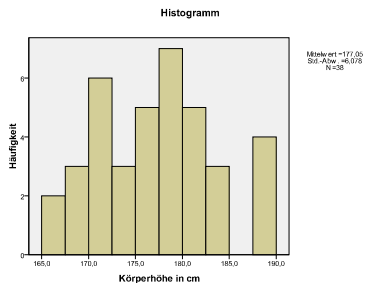
|                      |          |                                                                                                 |                                |                                                                                     |
|----------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| UV: Körperoberfläche | Metrisch | $p=0,011$<br> | $p=0,107$                      |                                                                                     |
| UV: Körpervolumen    | Metrisch | $p=0,000$<br> | $p=0,000$ $r=0,373$ $r^2=0,14$ |  |

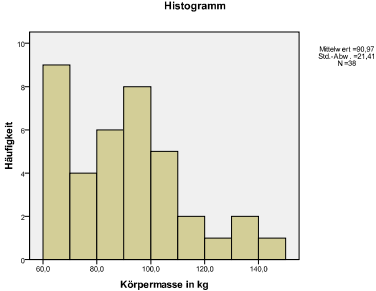
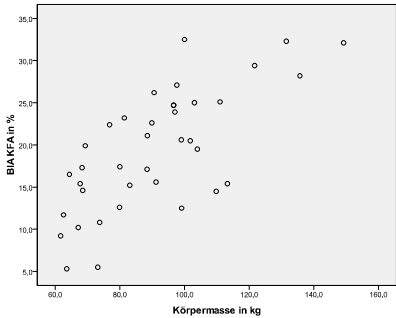
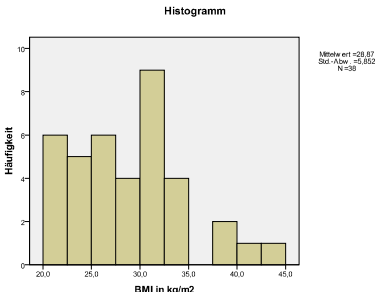
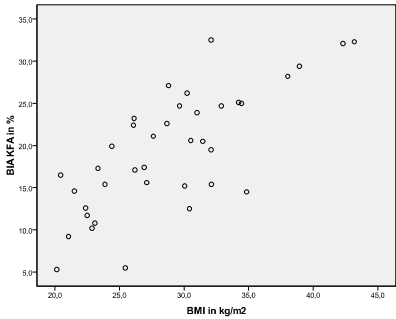
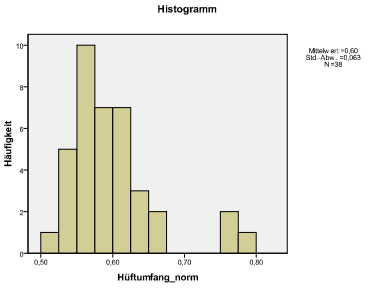
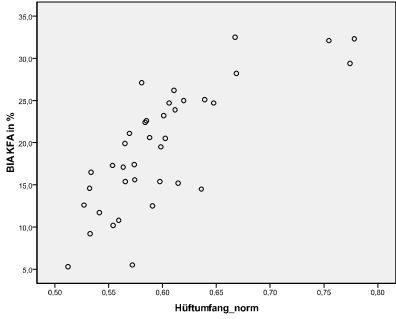


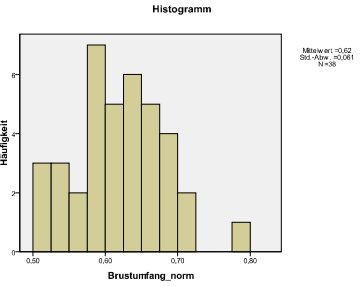
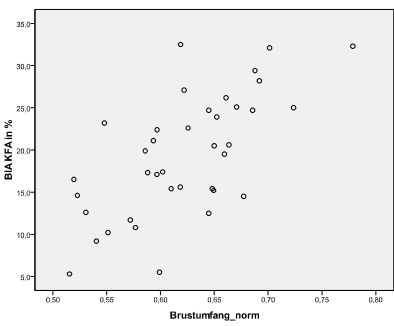
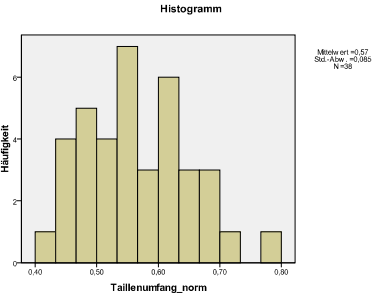
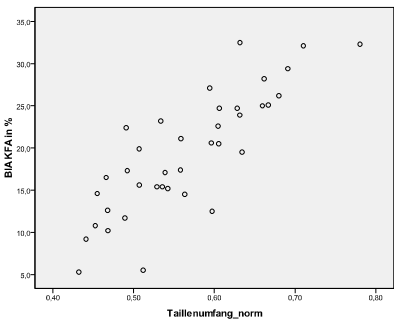
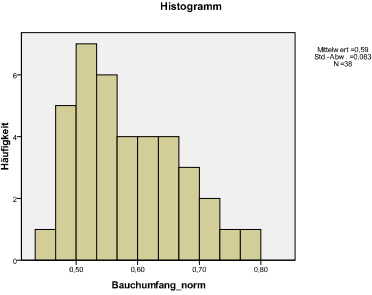
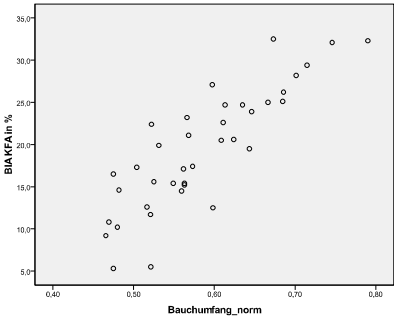
## ANHANG C

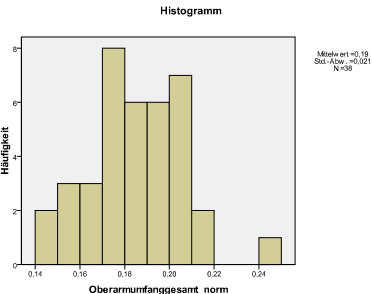
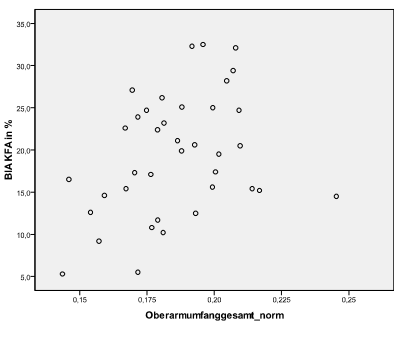
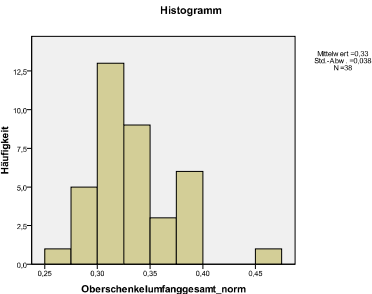
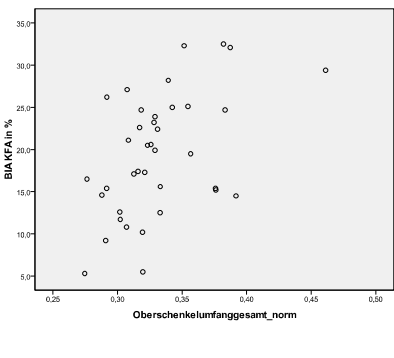
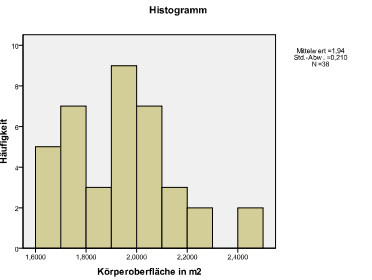
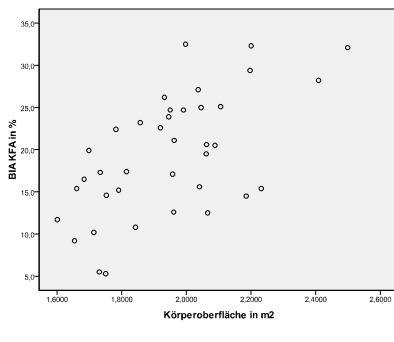
|                                                                     |                                                           |                                                                                                                  |                                                                                                                     |                                                 |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Voraussetzungen für die multiple lineare Regression<br>Männer: n=38 | 1) Skalenniveau<br>AV metrisch, UV metrisch oder dichotom | 2) Normalverteilung ( $\alpha=0,05$ )<br>H0=Es gibt keinen Unterschied der Verteilung von einer Normalverteilung | 3) Signifikanter Zusammenhang ( $\alpha=0,05$ )<br>H0=Es besteht kein sign. Zusammenhang zwischen der AV und der UV | 4) Prüfung auf Linearität mittels Streudiagramm |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|

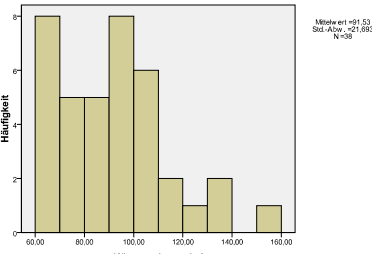
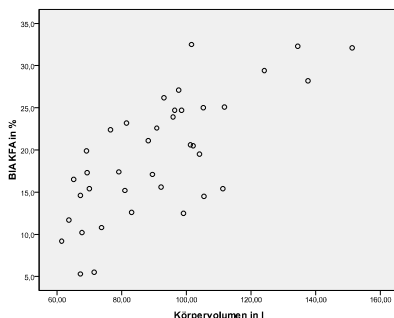
|               |          |         |  |  |
|---------------|----------|---------|--|--|
| AV: BIA KFA % | Metrisch | p=0,200 |  |  |
|---------------|----------|---------|--|--|

|                |          |                                                                                                     |         |  |
|----------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--|
| UV: Alter      | Metrisch | <p>p=0,200</p>   | p=0,447 |  |
| UV: Körperhöhe | Metrisch | <p>p=0,200</p>  | p=0,166 |  |

|                     |          |                                                                                                            |                                                   |                                                                                       |
|---------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| UV: Körpermasse     | Metrisch | <p><b>p=0,200</b></p>    | <p><b>p=0,000 r=0,715 r<sup>2</sup>=0,51</b></p>  |    |
| UV: BMI             | Metrisch | <p><b>p=0,200</b></p>   | <p><b>p=0,000 r=0,750 r<sup>2</sup>=0,56</b></p>  |    |
| UV: Hüftumfang_norm | Metrisch | <p><b>p=0,008</b></p>  | <p><b>p=0,000 r= 0,769 r<sup>2</sup>=0,59</b></p> |  |

|                        |          |                                                                                                            |                                                  |                                                                                       |
|------------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| UV: Brustumfang_norm   | Metrisch | <p><b>p=0,200</b></p>    | <p><b>p=0,000 r=0,665 r<sup>2</sup>=0,44</b></p> |    |
| UV: Taillenumfang_norm | Metrisch | <p><b>p=0,200</b></p>    | <p><b>p=0,000 r=0,833 r<sup>2</sup>=0,69</b></p> |    |
| UV: Bauchumfang_norm   | Metrisch | <p><b>p=0,200</b></p>  | <p><b>p=0,000 r=0,852 r<sup>2</sup>=0,73</b></p> |  |

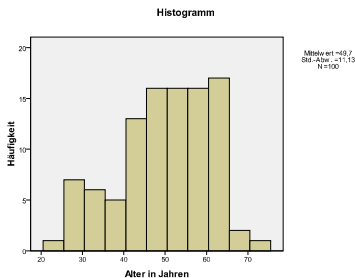
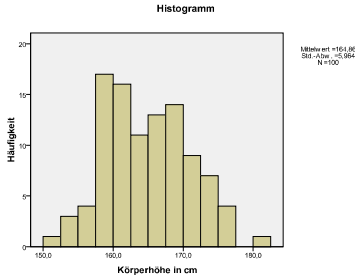
|                                       |          |                                                                                                            |                                                  |                                                                                       |
|---------------------------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| UV: Oberarmumfang<br>gesamt_norm      | Metrisch | <p><b>p=0,200</b></p>    | <p><b>p=0,037 r=0,339 r<sup>2</sup>=0,11</b></p> |    |
| UV: Oberschenkelumfang<br>gesamt_norm | Metrisch | <p><b>p=0,009</b></p>    | <p><b>p=0,002 r=0,490 r<sup>2</sup>=0,24</b></p> |    |
| UV: Körperoberfläche                  | Metrisch | <p><b>p=0,200</b></p>  | <p><b>p=0,000 r=0,613 r<sup>2</sup>=0,38</b></p> |  |

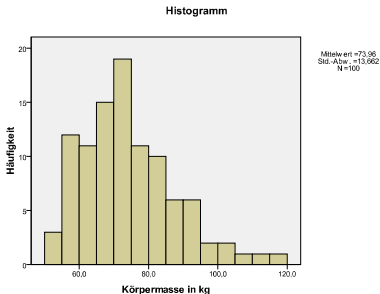
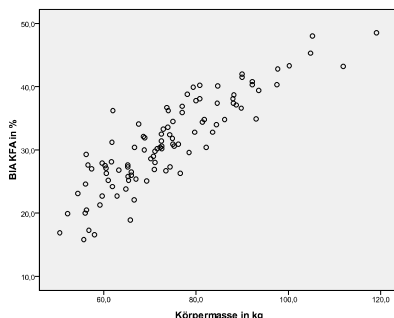
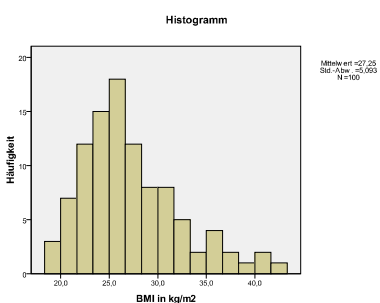
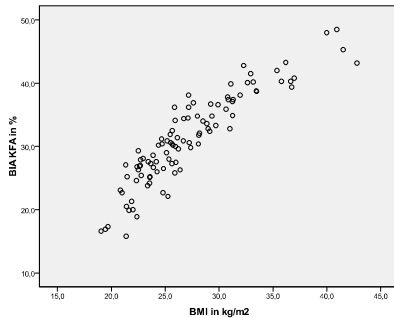
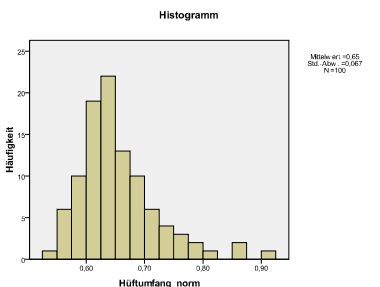
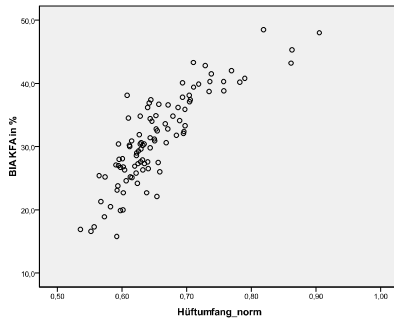
|                   |          |                                                                                                                                                                                        |                                                  |                                                                                     |
|-------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| UV: Körpervolumen | Metrisch | <p><b>p=0,200</b></p> <p>Histogramm</p>  <p>Mittelwert = 91.53<br/>Std.-Abw. = 21.693<br/>N = 35</p> | <p><b>p=0,000 r=0,730 r<sup>2</sup>=0,53</b></p> |  |
|-------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

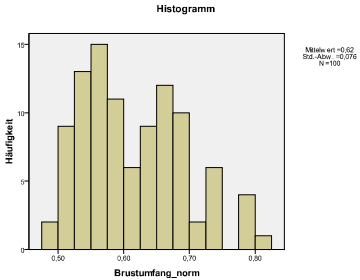
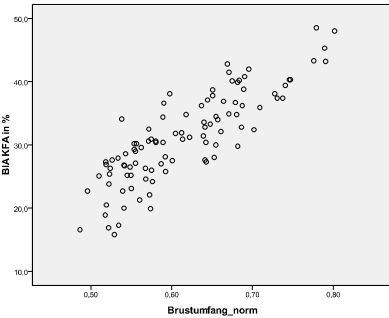
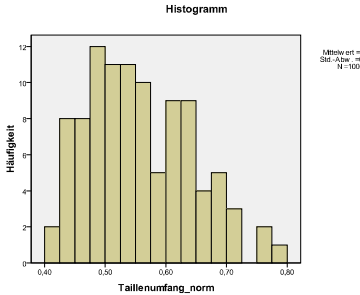
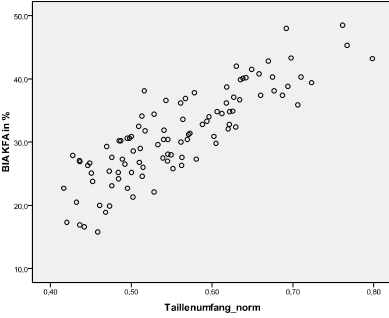
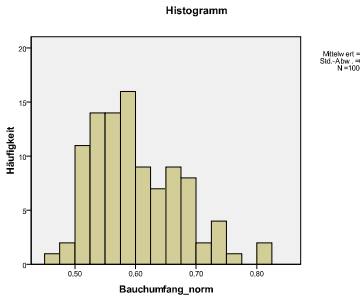
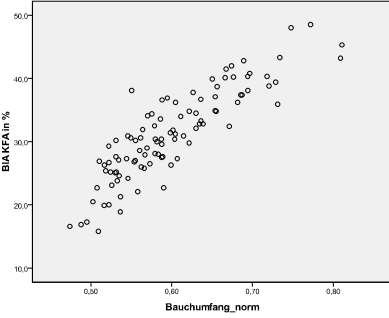
## ANHANG D

|                                                                      |                                                           |                                                                                                                  |                                                                                                                     |                                                 |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Voraussetzungen für die multiple lineare Regression<br>Frauen: n=100 | 1) Skalenniveau<br>AV metrisch, UV metrisch oder dichotom | 2) Normalverteilung ( $\alpha=0,05$ )<br>H0=Es gibt keinen Unterschied der Verteilung von einer Normalverteilung | 3) Signifikanter Zusammenhang ( $\alpha=0,05$ )<br>H0=Es besteht kein sign. Zusammenhang zwischen der AV und der UV | 4) Prüfung auf Linearität mittels Streudiagramm |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|

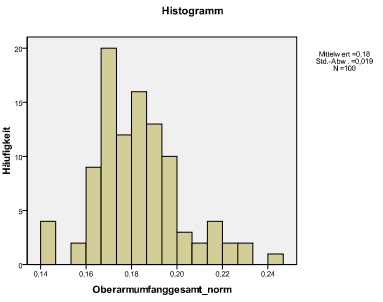
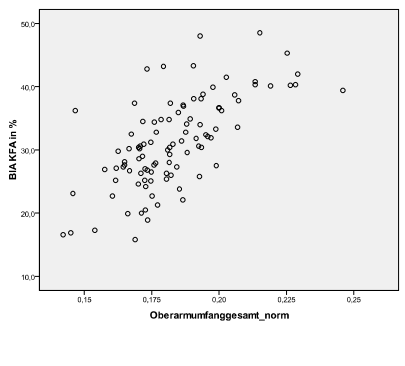
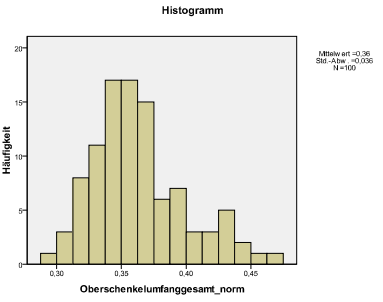
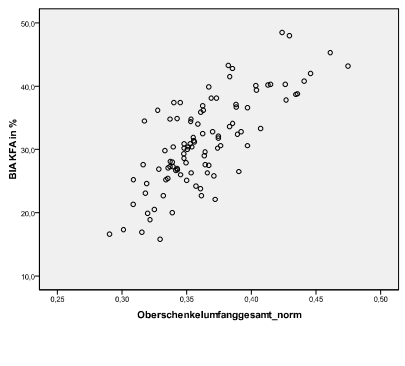
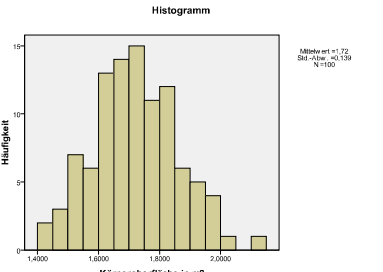
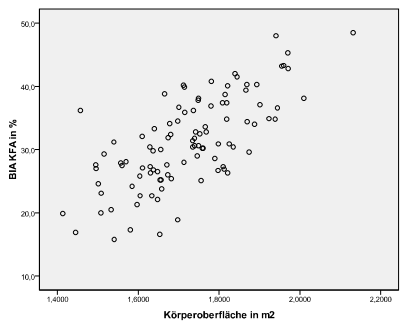
|               |          |         |  |  |
|---------------|----------|---------|--|--|
| AV: BIA KFA % | Metrisch | p=0,200 |  |  |
|---------------|----------|---------|--|--|

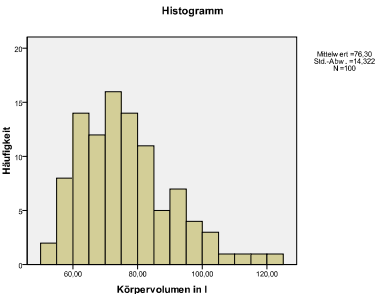
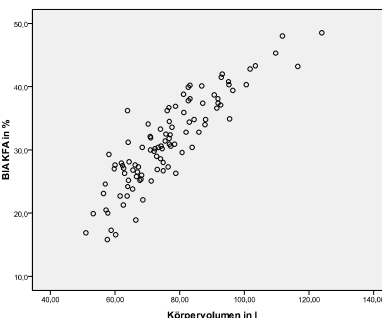
|                |          |                                                                                                                                                                |         |  |
|----------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--|
| UV: Alter      | Metrisch | <p>p=0,195</p>  <p>Mittelwert = 49,7<br/>Std.-Abw. = 11,13<br/>N=100</p>    | p=0,627 |  |
| UV: Körperhöhe | Metrisch | <p>p=0,200</p>  <p>Mittelwert = 165,98<br/>Std.-Abw. = 5,984<br/>N=100</p> | p=0,382 |  |

|                     |          |                                                                                                     |                                               |                                                                                       |
|---------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| UV: Körpermasse     | Metrisch | <p>p=0,040</p>    | <p>p=0,000 r=0,877 <math>r^2=0,77</math></p>  |    |
| UV: BMI             | Metrisch | <p>p=0,001</p>   | <p>p=0,000 r=0,908 <math>r^2=0,82</math></p>  |    |
| UV: Hüftumfang_norm | Metrisch | <p>p=0,000</p>  | <p>p=0,000 r= 0,848 <math>r^2=0,72</math></p> |  |

|                        |          |                                                                                                     |                                                                                                                                 |
|------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| UV: Brustumfang_norm   | Metrisch | <p>p=0,005</p>    | <p>p=0,000 r=0,847 r<sup>2</sup>=0,72</p>    |
| UV: Taillenumfang_norm | Metrisch | <p>p=0,035</p>    | <p>p=0,000 r=0,852 r<sup>2</sup>=0,73</p>    |
| UV: Bauchumfang_norm   | Metrisch | <p>p=0,007</p>  | <p>p=0,000 r=0,874 r<sup>2</sup>=0,76</p>  |



|                                       |          |                                                                                                            |                                                  |                                                                                       |
|---------------------------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| UV: Oberarmumfang<br>gesamt_norm      | Metrisch | <p><b>p=0,108</b></p>    | <p><b>p=0,000 r=0,673 r<sup>2</sup>=0,45</b></p> |    |
| UV: Oberschenkelumfang<br>gesamt_norm | Metrisch | <p><b>p=0,014</b></p>   | <p><b>p=0,000 r=0,755 r<sup>2</sup>=0,57</b></p> |   |
| UV: Körperoberfläche                  | Metrisch | <p><b>p=0,200</b></p>  | <p><b>p=0,000 r=0,714 r<sup>2</sup>=0,51</b></p> |  |

|                   |          |                                                                                                   |                                              |                                                                                     |
|-------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| UV: Körpervolumen | Metrisch | <p>p=0,024</p>  | <p>p=0,000 r=0,882 <math>r^2=0,78</math></p> |  |
|-------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

## ABSTRACT

Die Erforschung der Körperzusammensetzung gilt als eigenständiger Wissenschaftszweig der Humanbiologie und beschäftigt sich mit den quantitativ erfassbaren Komponenten des menschlichen Körpers, mit dem Ziel, einzelne Bestandteile zu bestimmen. Trotz eines vielfältigen Angebotes an Messmethoden ist eine exakte Bestimmung des Körperfettanteils beim lebenden Organismus nicht möglich. Der wahre Körperfettgehalt des Menschen kann nicht tatsächlich gemessen, sondern nur abgeschätzt werden. Aus diesem Grund werden immer wieder neue Technologien zur Bestimmung der Körperzusammensetzung eingesetzt, die im Vergleich zu bereits bestehenden Methoden möglichst wenige Nachteile aufweisen. Der Einsatz der 3D Ganzkörperscantechnologie zur Körperfettbestimmung erzielt in diesem Zusammenhang wachsendes Interesse. Die zahlreichen Vorteile, insbesondere jene ökonomischer Natur, sprechen für den Einsatz der 3D Ganzkörperscantechnologie in der Erforschung der Körperzusammensetzung.

Die Grundidee für die Entstehung der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit entstand aus dem Interesse, die 3D Ganzkörperscantechnologie zur Vorhersage des Körperfettanteils nutzbar zu machen. Ziel dabei ist, ein mathematisches Modell zur Vorhersage des Körperfettanteils aus den Werten eines 3D Ganzkörperscanners zu entwickeln. Zu diesem Zweck wurde im August 2010 von den Abteilungen Sport- und Leistungsphysiologie sowie Biomechanik, Bewegungswissenschaft und Sportinformatik des Institutes für Sportwissenschaft der Universität Wien gemeinsam mit dem Österreichischen Institut für Sportmedizin eine Studie durchgeführt. Von 139 gesunden Probanden/innen (100 Frauen / 39 Männer, Alter:  $49,25 \pm 11,02$  Jahre; BMI:  $27,7 \pm 5,3 \text{ kg/m}^2$ ) wurden Körperfettwerte mittels dreier verschiedener Feldmethoden bestimmt sowie äußere Erscheinungsmerkmale mit einem 3D Ganzkörperscanner ermittelt. Die drei Methoden zur Bestimmung des Körperfettanteils wurden mit dem Bland-Altman Verfahren verglichen. Die Vorhersagegleichungen für den prozentuellen Körperfettanteil von Männern ( $n = 38$ ,  $r^2 = 0,73$ ) und Frauen ( $n = 100$ ,  $r^2 = 0,861$ ) wurden mit der linearen Regressionsanalyse basierend auf den Werten der bioelektrischen Impedanzanalyse entwickelt.

Fazit dieser wissenschaftlichen Arbeit ist, dass die 3D Ganzkörperscantechnologie mit den entwickelten Vorhersagegleichungen durchaus als Methode zur Bestimmung des Körperfettanteils eingesetzt werden kann. Die Frage, wie präzise die Vorhersage des Körperfettanteils mit den entwickelten Vorhersagegleichungen für Männer und Frauen tatsächlich ist, konnte jedoch nicht genau geklärt werden. Der Grund dafür ist, dass die Modelle anhand einer Referenzmethode entwickelt wurden, die zwar präziser ist als andere Feldmethoden, die jedoch nicht als „Golden Standard“-Methode gilt. Aus diesem Grund wird eine neuerliche Modellentwicklung anhand beispielsweise der Air Displacement Plethysmographie zur Validierung der entwickelten Vorhersagegleichungen empfohlen.

## ABSTRACT

Body composition research is a special branch of human biology, which focuses on the quantitative characteristics of the human body, with the objective of estimating certain components. Despite a great number of methods available to estimate body fat, a perfect method for the in vivo body fat estimation does not exist. All these methods make certain assumptions so that the percentage of body fat can only be roughly estimated. A main aim is to adopt new methods that can be used to accurately estimate body fat in order to decrease the drawbacks of traditional methods. In this context, the use of 3D whole body scanners for the estimation of percent body fat is gaining more and more interest. Advantages, especially key benefits regarding economic aspects, favor for the use of 3D whole body scanning technology in body composition research.

The basic idea for the development of this scientific exposition resulted from the interest to use 3D whole body scanning for the prediction of body fat percentage. The objective is to develop a prediction equation to accurately deduce the percentage of body fat from data of a 3D whole body scanner. For this purpose a scientific study was performed by the departments of Sport and Exercise Physiology as well as Biomechanics, Kinesiology and Applied Computer Science at the Centre of Sport Science (University of Vienna). The study was done in August 2010 in cooperation with the Austrian Institute of Sports Medicine. In 139 healthy volunteers (100 females / 39 males, age:  $49,25 \pm 11,02$  years; BMI:  $27,7 \pm 5,3$  kg/m<sup>2</sup>), percent body fat was estimated using three different field methods and anthropometric data derived from a 3D whole body scanner. The three methods for estimating percent body fat were compared by the Bland-Altman procedure. A regression analysis based on bioelectrical impedance (BIA) as the reference method was performed to develop and validate new prediction equations for males ( $r^2 = 0,73$ ) und females ( $r^2 = 0,861$ ).

In conclusion the usage of 3D whole body scanning technology with the developed prediction equations is definitely an effective method for estimating body fat percentage. To what accuracy the two prediction equations predict the real percent body fat cannot be evaluated. The prediction equations were developed with the help of a reference method which is not deemed to be as accurate as a „gold standard“ method. For this reason, the development of prediction equations based on Air Displacement Plethysmographie is strongly recommended at this point.



# HOLNSTEINER MARTINA, BAKK.

## PERSÖNLICHE DATEN

Geburtsdatum: 14.08.1981  
Geburtsort: Linz  
Staatsbürgerschaft: Österreich

## BERUFLICHE TÄTIGKEITEN

03/2011 - 06/2011  
10/2009 - 02/2010 Studienassistentin an der Abteilung Biomechanik, Sportinformatik & Bewegungswissenschaft  
(Universität Wien, Institut für Sportwissenschaft)

Seit 01/2008 Sportkletterlehrerin, Sportlehrerin  
(auf selbständiger Basis)

Seit 10/2006 Ehrenamtliche Mitarbeiterin in der Kletterhalle Linz  
(Verein Naturfreunde)

11/2006 - 09/2007  
01/2004 - 09/2006 Diplomierte psychiatrische Gesundheits- und Krankenschwester  
(Krankenhaus der Barmherzige Brüder Linz)

## AUSBILDUNGEN

03/2007 - 02/2010 Bakkalaureatsstudium Sportwissenschaft  
(Universität Wien, Institut für Sportwissenschaft)

02/2008 - 10/2008 Instruktorausbildung Sportklettern Breitensport  
(Bundessportakademie Innsbruck)

10/2006 - 05/2007 Instruktorausbildung Schwimmen  
(Bundessportakademie Linz)

10/2000 - 09/2003 Ausbildung zur diplomierten Gesundheits- und Krankenschwester  
(Nervenklinik Linz Wagner Jauregg)

10/1991 - 06/1999 Europagymnasium Linz Auhof

