



universität
wien

MAGISTERARBEIT

Titel der Magisterarbeit

„Vergleich zwischen der manuellen Vermessung
geometrischer Körperparameter und der
automatisierten Bestimmung durch ein 3D Infrarotlaser
Scansystem“

Verfasserin

Magdalena Wagner, Bakk. rer. nat.

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2012

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 066 826

Studienrichtung lt. Studienblatt: Magisterstudium Sportwissenschaft

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

VORWORT

An einer Studie mitzuwirken und ein empirisches Magisterarbeitsthema abzuhandeln war schon zu Beginn meines Magisterstudiums ein großer Wunsch. Durch die Studie „Vergleich zwischen der manuellen Vermessung geometrischer Körperparameter und der automatisierten Bestimmung durch ein 3D Infrarotlaser Scansystem“ konnte dies verwirklicht werden.

Ich möchte allen Personen danken, die mir diese Studie ermöglicht haben. Den beiden Betreuern Dr. Mario Heller und Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. techn. Arnold Baca, für die Hilfe rund um die Studie und Analyse der erhobenen Daten, dem Österreichischen Institut für Sportmedizin für die reibungslose Terminkoordination, den Probandinnen und Probanden, die sich freiwillig zur Verfügung gestellt haben, und den fleißigen Korrekturleserinnen und Korrekturlesern. Ein ganz besonderer Dank gilt Elisabeth Pichler, die mich bei der praktischen Umsetzung der Studie tatkräftig unterstützt hat, sowie meinem Lebenspartner Robert und meinen Eltern die mir während des ganzen Studiums zur Seite gestanden sind und mir aufmunternde Worte geschenkt haben, wenn dies von Nöten war.

ABSTRACT (Deutsch)

Hintergrund: Das Ziel dieser Studie ist die Validierung der Bestimmung von geometrischen Körperparameterwerten unter Verwendung des *VITUS Smart* 3D Ganzkörperscanners, wobei elf manuell erhobene Körperparameter, eingeteilt in Längen-, Höhen- sowie Umfangsmaße, mit automatisch generierten Daten verglichen und auf Übereinstimmung überprüft werden.

Methode: Insgesamt nahmen an dieser Studie 61 Personen, davon 30 Männer und 31 Frauen, im Alter von $33,18 \pm 15,35$ Jahren, sowie einer Masse von $71,3 \pm 13,8$ kg teil. Die Testpersonen wurden in enganliegender Badebekleidung sowie mit einer Badehaube gescannt und im Anschluss daran manuell vermessen.

Resultate: Zehn der elf erhobenen Parameter unterscheiden sich signifikant ($p < 0,05$) voneinander. Die vom Scanner ermittelten Höhen- und Längenmaße sind niedriger als die manuell erhobenen Daten. Automatisch generierte Umfangsmaße tendieren dazu, größer zu sein als die manuell ermittelten Werte. Zwei der sechs Umfangsmaße weisen diese Tendenz nicht auf. Die Bilddatenanalyse zeigt auf, dass bei diesen beiden Umfangsmaßen Messfehler seitens des 3D Ganzkörperscanners vorhanden sind. Ebenso gibt es Probleme bei der automatischen Lokalisation des Olecranon. Die Auswertung nach BMI zeigt auf, dass vier von elf Variablen signifikante ($p < 0,017$) Unterschiede zwischen den BMI-Gruppen, Normalgewicht, Übergewicht und Adipositas Grad I, aufweisen.

Conclusio: Der Vergleich von automatisch generierten und manuell erhobenen Werten zeigt zwar signifikante Unterschiede auf, jedoch sind die Differenzen sehr gering. Es darf nicht vernachlässigt werden, dass die Referenzmethode keine Goldstandard Methode darstellt. In der 3D Ganzkörperscantechnologie steckt enormes Potenzial, da in nur 10 bis 12 Sekunden 152 Körperparameter erfasst werden und diese Methode als sehr genau gilt. Für zukünftige Studien ist es von Bedeutung, die in der Diskussion dargestellten Verbesserungsmöglichkeiten hinsichtlich der automatischen Erfassung zu beachten.

Schlüsselwörter: Genauigkeit, anthropometrische Vermessung, 3D Ganzkörperscantechnologie.

ABSTRACT (English)

Background: The aim of the study was to validate the method of determining geometrical body-parameter-values by using the *VITUS Smart* 3D whole body scanner, located at the Centre for Sport Science at the University of Vienna. The objective was, to compare eleven body measurements of circumferences, length and height from the 3D whole body scanner with manual measurements.

Design: Sixty-one subjects (31 female and 30 male) aged between $33,18 \pm 15,35$ years and weighing $71,3 \pm 13,8$ kg participated in this study. Volunteers were initially scanned, wearing close-fitting swimwear and a bathing cap, tape measurements were collected afterwards.

Results: Significant ($p < 0,05$) differences were found in ten of eleven body dimensions. The values of the height and lengths obtained from 3D whole body scans were generally smaller and the circumferences tend to be greater than the tape measurements. This tendency is not visible in two of the six circumference parameters. The reason for this, is finding in missing data points. Problems also existed with the automatic landmark recognition of the olecranon. The BMI group evaluation shows significant ($p < 0,017$) differences in four of seven variables.

Conclusions: This study shows small but significant differences between manually and scanned body dimensions. It is important to emphasize that the reference method is not a gold standard method. The 3D whole body scanning technology was found to be highly accurate while needing only 10 to 12 seconds to capture 152 body dimensions. For further studies it is important, to consider the recommended suggestions regarding the scanning measurements, which are presented in the discussion.

Keywords: accuracy, anthropometric measurement, 3-dimensional whole body Scanner.

INHALTSVERZEICHNIS

VORWORT	3
ABSTRACT (Deutsch)	5
ABSTRACT (English).....	6
1 EINLEITUNG	9
1.1 Aufbau der Arbeit.....	10
2 GRUNDLAGEN DER ANTHROPOMETRIE.....	11
2.1 Klassische Anthropometrie	12
2.1.1 Messinstrumente der Anthropometrie	12
2.1.2 Einschränkungen und Möglichkeiten der klassischen Anthropometrie	14
2.2 3D Ganzkörperscantechnologie.....	15
2.2.1 Einsatzbereiche der 3D Ganzkörperscantechnologie.....	16
2.2.2 Technologie.....	19
2.2.2.1 Messprinzip Laserscanner	19
2.2.2.2 <i>Hardware</i>	23
2.2.2.3 <i>Software</i>	23
2.2.3 Messergebnisse	25
2.2.3.1 Genauigkeit	26
2.2.3.2 Präzision.....	27
2.2.3.3 Validierungsrichtlinien.....	28
2.2.4 Einschränkungen und Möglichkeiten der 3D Technologie.....	31
2.3 Zusammenfassung	31
3 STUDIENDESIGN	33
3.1 Methodik.....	33
3.1.1 Probanden und Probandinnen	34
3.1.1.1 Einschlusskriterien.....	34
3.1.1.2 Ausschlusskriterien.....	34
3.1.2 Testablauf.....	34
3.1.2.1 3D Ganzkörperscan.....	35
3.1.2.2 Manuelle Vermessung	36
4 STATISTISCHE DATENANALYSE RELIABILITÄT.....	41
4.1 Intra-Tester Reliabilität.....	41
4.2 Inter-Tester Reliabilität.....	43
4.3 Zusammenfassung Reliabilität.....	45
5 STATISTISCHE DATENANALYSE VALIDIERUNG	47
5.1 T-Test für abhängige Stichproben.....	53
5.1.1 Auswertung gesamt	54
5.1.2 Zusammenfassung der Auswertung gesamt.....	57
5.1.3 Auswertung der geschlechterspezifischen Parameter.....	58

5.1.3.1	Frauen	59
5.1.3.2	Männer.....	59
5.1.4	Zusammenfassung der geschlechterspezifischen Parameter.....	60
5.2	Varianzanalyse und Kruskal-Wallis-Test	61
5.2.1	Auswertung nach <i>BMI</i>	61
5.2.2	Zusammenfassung der Auswertung nach <i>BMI</i>	64
5.3	Auswertung der 3D Bildaufnahmen	66
5.3.1	Erklärungsversuche von Abweichungen in der 3D Bilddatenanalyse.....	74
5.4	Interpretation der Ergebnisse	75
6	DISKUSSION UND AUSBLICK	79
LITERATUR		81
ABBILDUNGSVERZEICHNIS		85
TABELLENVERZEICHNIS		87
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....		88
ANHANG I.....		89
ANHANG II.....		94
ANHANG III.....		99
LEBENS LAUF		112
EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG.....		114

1 EINLEITUNG

Bereits seit Jahrhunderten steht der Körper im Mittelpunkt medizinischer, anthropologischer sowie soziologischer Forschung. Den allerersten Hinweis, dass sich Menschen mit der Konstitutionslehre beschäftigen, lieferte der griechische Poet Solon im sechsten Jahrhundert v. Chr. (vgl. Tanner, 2010, S. 1). Das Interesse für das komplexe System Mensch wird bereits seit Jahrhunderten thematisiert. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der komplexen Thematik „menschliche Gestalt“. Die Anthropometrie, welche als Methode der Anthropologie, der sogenannten Konstitutionslehre, gilt und sich der Vermessung von körperbaulichen Merkmalen widmet, stellt eine wesentliche Basis der vorliegenden Arbeit dar (vgl. Raschka, 2006, S. 8). Eine erste Standardisierung der Erfassung morphologischer Merkmale wurde durch Rudolf Martin vor einem Jahrhundert vorgenommen und diente als Grundlage für die Weiterentwicklung der konstitutionsbiologischen Vermessungslehre (vgl. Raschka, 2006, S. 112). Die neueste Entwicklung in diesem Bereich stellt die 3D-Ganzkörperscan Technologie dar. Diese Methode bringt eine Vielzahl an Möglichkeiten mit sich, wie bspw. die Erhebung von 150 Körperparametern in nur 10 bis 12 Sekunden. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Validierung der Methode zur Bestimmung von geometrischen Körperparameterwerten unter Verwendung des *VITUS Smart* 3D Ganzkörperscanners der Firma *Vitronic*. Die automatisch generierten Werte des 3D Laserscanners werden mit manuell gemessenen, standardisierten anthropometrischen Körperparametern, wie Höhen-, Längen- sowie Umfangsmaßen, verglichen und auf ihre Gültigkeit überprüft. Diese Studie soll aufzeigen, ob bzw. welche Unterschiede zwischen manuell vermessenen und mittels 3D Infrarotlaser automatisch generierten Daten existieren. Folgende Fragestellung und Hypothese leiten sich daraus ab:

Gibt es einen Unterschied zwischen manuell vermessenen Körperparametern und den mittels 3D Laserscan ermittelten Werten?

H_0 : Es existiert kein Unterschied zwischen manuell erhobenen und automatisch generierten Körperparametern.

H_1 : Es existiert ein Unterschied zwischen manuell erhobenen und automatisch generierten Körperparametern.

Zur Klärung dieser Fragestellung wurde von der Autorin eine Validierungsstudie geplant und im Jänner 2012 am Institut für Sportwissenschaft (Universität Wien) in Kooperation mit der Abteilung Biomechanik, Bewegungswissenschaft und Sportinformatik, Sport- und Leistungsphysiologie sowie mit dem ÖISM (Österreichischen Institut für Sportmedizin) durchgeführt. Additiv zu diesen Untersuchungen wurde im Dezember 2011 die Reliabilität

der manuellen Messwerte überprüft, da diese ein Qualitätskriterium der manuellen Messmethode darstellen (vgl. Jensen & Abel, 1999, S. 523). Es gilt jedoch anzumerken, dass die manuelle Vermessung per se keine Goldstandard¹ Methode darstellt, sich jedoch als die einzige Methode erweist die Genauigkeit der 3D Ganzkörperscantechnologie zu überprüfen (vgl. McKinnon & Istook, 2002, S. 109).

1.1 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in sechs Kapitel (siehe Abbildung 1). Einleitende Worte, die zu klärende Fragestellung und einen Überblick über die Arbeit beinhaltet das Kapitel eins. Im Kapitel zwei werden die Grundlagen der klassischen Anthropometrie sowie der 3D Ganzkörperscantechnologie vorgestellt, wobei sich die Ausführung auf die wichtigsten Details beschränkt. Auf diesen theoretischen Grundlagen aufbauend wurde von der Autorin das Studienprotokoll erstellt, welches in Kapitel drei erläutert wird. Kapitel vier beschäftigt sich mit der Auswertung der Reliabilitätstestung und in Kapitel fünf werden die Daten der Validierung statistisch ausgewertet und interpretiert. Abschließend werden in Kapitel sechs die Ergebnisse diskutiert und ein Ausblick formuliert.

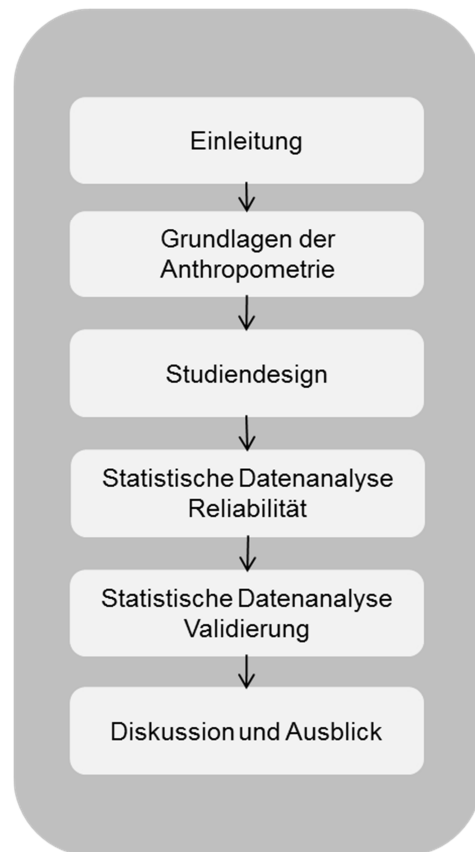


Abb. 1: Aufbau der Arbeit.

¹ Goldstandard: Methode/Untersuchung die bspw. Körperparameter zuverlässig ermittelt und damit zum Vergleich mit einem anderen Test herangezogen werden kann (vgl. Bauer, 2007, S. 334).

2 GRUNDLAGEN DER ANTHROPOMETRIE

Das Wort Anthropometrie setzt sich aus den griechischen Wortstämmen *An[th]ro[po]* und *me[tr]ie* zusammen. „Anthropo“ bedeutet Mensch, Mann (vgl. Bauer, 2007, S. 121) und „metrie“ messen, ausmessen sowie bemessen; (vgl. Bauer, 2007, S.500). Kroemer et al. (1986, S.1; zit. n. Simmons & Istook, 2003, S. 307) sprechen von der Anthropometrie als Beschreibung des menschlichen Körpers. Die Anthropometrie stellt eine Methode der Anthropologie, der Lehre der Konstitution, dar (vgl. Raschka, 2006, S. 8).

Bereits seit Jahrhunderten beschäftigen sich Forscher der Medizin, Biologie und Anthropologie mit der Vermessung von Menschen, da diese in großem Zusammenhang mit Gesundheitsrisiken steht. Der Körperbau stellt einen Indikator hinsichtlich akuter oder chronischer Erkrankungen dar und gibt Auskunft über die körperliche Fitness (vgl. Wang et al., 2006, S. 810; Komlos, 1993, S. 5). Aus dem ermittelten Gesundheitsstatus kann die Medizin Behandlungsmöglichkeiten für Patientinnen und Patienten ableiten (vgl. Treleaven & Wells, 2007, S. 28). Auch die Sportwissenschaft zeigt großes Interesse an der Anthropometrie. Studien haben gezeigt, dass anthropometrische sowie physiologische Parameter Auswirkungen auf die sportliche Leistungsfähigkeit haben. Besonders im Leistungssport spielen körperbauliche Voraussetzungen eine wesentliche Rolle (vgl. Schranz, Tomkinson, Olds & Daniell, 2010, S. 459). Anthropometrische Daten werden ebenfalls für die Somatotypbestimmung verwendet, woraus eine nach dem Körperbau orientierte Eignung von Sportlerinnen und Sportler für eine Sportart bestimmt werden kann (Malousaris et al., 2008, S. 338). Neben der Medizin und Sportwissenschaft werden anthropometrische Daten in der Industrie eingesetzt. Die Bekleidungsindustrie verwendet Körpermaße, um eine optimale Größentabelle für die Population sowie Maßbekleidung für Individuen zu erstellen. Ebenfalls finden anthropometrisch erhobene Daten Anwendung in der Autoindustrie, in der Arbeitsplatzergonomie sowie im Entwerfen von Flugzeugcockpits (vgl. Simmons & Istook, 2003, S. 306f).

Dieser kurze Überblick zeigt auf, dass die Anthropometrie in unzähligen Bereichen eingesetzt wird. Neben der klassischen Anthropometrie finden in jüngster Zeit immer häufiger 3D Technologien zur Vermessung des menschlichen Körpers Anwendung. Dieses Kapitel beschäftigt sich mit diesen beiden Methoden, wobei zu Beginn die klassische Anthropometrie, nachfolgend die 3D Ganzkörperscantechnologie und abschließend ein Überblick hinsichtlich Einschränkungen und Möglichkeiten beider Methoden dargestellt wird.

2.1 Klassische Anthropometrie

Hautfaltendicken, Umfänge sowie Breitenmaße werden verwendet, um den Körperbautyp zu analysieren sowie Körperfett aus diesen Werten vorherzusagen (vgl. Lohmann, 1988, S. 125). Diese anthropometrischen Messdaten werden aufgezeichnet, um Referenzdaten sowie den Gesundheits- und Ernährungsstatus einer Population zu erhalten (vgl. Johnston & Martorell, 1988, S. 107). Im klassischen Sinne werden anthropometrische Parameter manuell unter Zuhilfenahme verschiedenster Messinstrumente vermessen (vgl. Lohmann, Roche & Martorell, 1988, S. 1).

2.1.1 Messinstrumente der Anthropometrie

Der Einsatz von Messinstrumenten ist von der Art der Messung abhängig. Folgende Messinstrumente finden in der Anthropometrie Anwendung:

Maßband

Umfangmaße, wie der Bauchumfang, werden mit einem Maßband gemessen. Empfohlen wird ein nicht elastisches, flexibles Maßband, welches vor der Null-Linie einen nicht graduieren Bereich von etwa 3 cm aufweist (vgl. Norton et al., 1996, S. 29).



Abb. 2: Lufkin Anthropometrie Maßband (Norton et al., 1996, S. 29).

Waage

Die Körpermasse wird mittels einer Personenwaage aufgezeichnet. Traditionell werden Federwaagen mit einer Messgenauigkeit zwischen 100 g und 500 g verwendet. Digitale Waagen gewinnen jedoch immer häufiger an Beliebtheit, da diese besser transportiert werden können, günstiger sind und die Messgenauigkeit bei +/- 50 g liegt (vgl. Norton et al., 1996, S. 29f).

Anthropometer

Ein Anthropometer wird verwendet um Höhenmaße, Längenmaße, Segmentlängen sowie Breitenmaße zu vermessen. In der Praxis hat sich der Anthropometer von Siber-Hegner GPM mit einem Messbereich von 0-210 cm bewährt (vgl. Norton et al., 1996, S. 30f).

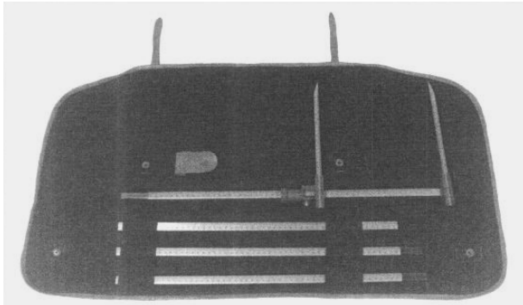


Abb. 3: Siber-Hegner GPM Anthropometer (Norton et al., 1996, S. 31).

Große Schublehre

Der obere Teil des Anthropometers stellt die große Schublehre dar. Mit diesem Instrument werden Knochendimensionen sowie Segmentlängen, wie z. B. Unterarmlänge, gemessen (vgl. Norton et al., 1996, S. 31).

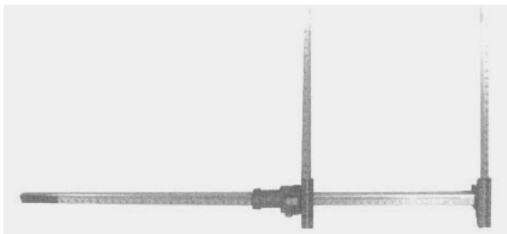


Abb. 4: Große Schublehre (Norton et al., 1996, S. 31).

Kleine Schublehre

Die kleine Schublehre wird verwendet um Breiten- und Längenmaße, wie z.B. Handlänge, Handbreite u. dgl., festzustellen (vgl. Norton et al., 1996, S. 32).

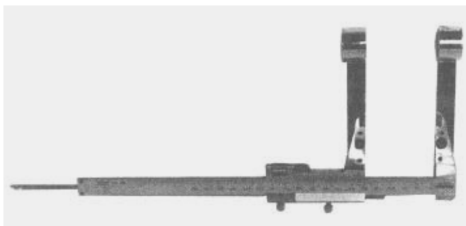


Abb. 5: Kleine Schublehre (Norton et al., 1996, S. 32).

Tasterzirkel

Dieses Messinstrument hat zwei gebogene Metallarme, um die genauen Messpunkte, wie z. B. die Akromien bei der Schulterbreite lokalisieren zu können. Neben Breitenmaßen wird der Tasterzirkel auch für die Vermessung von Tiefenmaßen, wie der Brustkorbtiefe u.dgl., verwendet (vgl. Norton et al., 1996, S. 32).

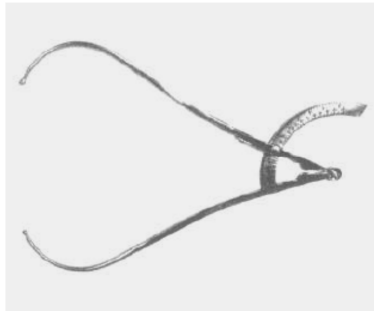


Abb. 6: Tasterzirkel (Norton et al., 1996, S. 32).

Kaliper – Hautfaltenmessgerät

Mittels Kaliper werden die Hautfaldendicken gemessen und damit der Körperfettgehalt ermittelt. Der Messbereich liegt je nach Kaliper zwischen 0 und 80 mm. Um Ergebnisse vergleichen zu können, ist es von Bedeutung, dass die Vermessung immer mit demselben Messinstrument stattfindet (vgl. Norton et al., 1996, S. 30).

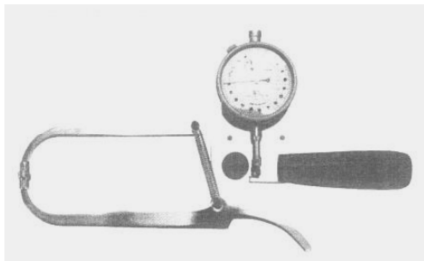


Abb. 7: Harpender Kaliper (Norton et al., 1996, S. 30).

2.1.2 Einschränkungen und Möglichkeiten der klassischen Anthropometrie

Diese Darstellung der Messinstrumente verdeutlicht, dass portables Equipment, hinsichtlich der manuellen Vermessung, enormes Potential in sich birgt. Die manuelle Vermessung ist unabhängig von Räumlichkeiten, kann nahezu überall durchgeführt

werden und stellt eine kostengünstige Variante dar, um anthropometrische Parameter erheben zu können (vgl. Wang et al., 2000, S. 325). Jedoch existieren Einflussfaktoren, welche Auswirkungen auf die Qualität der Messergebnisse haben können. Dazu zählen die Tension des Maßbandes, die Palpation der anatomischen Orientierungspunkte, Messfehler der messenden Person sowie Unstimmigkeit hinsichtlich der Messmethode (vgl. McKinnon & Istook, 2002, S. 109). Um Messfehler zu minimieren sowie die Unstimmigkeiten in der Messmethode zu beseitigen, ist eine umfangreiche Schulung der Vermesserin bzw. des Vermessers sowie ein standardisiertes Manual notwendig. Wichtig ist auch, dass die Testerin oder der Tester Kompetenzen im Bereich der Anatomie aufweist (vgl. Marfell-Jones, 1996, S. 4). Ebenso ist es bedeutend, dass nicht sofort erhobene Parameter im Nachhinein nicht mehr eruiert werden können, wenn die Testperson nicht mehr verfügbar ist (Robinette & Daanen, 2006, S. 264). Auch Hautfaltendicken können manuell erhoben werden und in weiterer Folge kann daraus der prozentuelle Körperfettgehalt berechnet werden. Diese Methode ist sehr kostengünstig, erfordert jedoch eine umfangreiche Einarbeitungszeit sowie umfassendes Training der Testerin bzw. des Testers (vgl. Carlyon et al., 1996, S. 98). Die angeführten Punkte verdeutlichen, dass die manuelle anthropometrische Erhebung von Körperparametern Einschränkungen unterliegt. Jedoch stellt diese Methode derzeit die einzige Möglichkeit dar, manuell erhobene und automatisch generierte Körperparameter einem Vergleich zu unterziehen (vgl. McKinnon & Istook, 2002, S. 109).

2.2 3D Ganzkörperscantechnologie

Die 3D Ganzkörperscantechnologie ist eine relativ neuartige Technologie, Körperparameter wie Höhen-, Längen- sowie Umfangsmaße zu erfassen. In den 1980er Jahren wurden etwaige Scanner für Forschungszwecke eingesetzt. Erst seit Mitte der 1990er Jahre werden 3D Scanner häufiger in verschiedenen Bereichen, wie z.B. in der Textilindustrie, Medizin oder Sportwissenschaft, für die Erfassung von anthropometrischen Werten eingesetzt, da diese Technologien zuverlässigere sowie genauere Ergebnisse erbringen. Zudem konnten die Kosten derartiger Untersuchungen stark gesenkt und somit die Einsatzmöglichkeiten erweitert werden (vgl. Istook & Hwang, 2001, zit. n. Olds & Honey, 2006, S. 1).

2.2.1 Einsatzbereiche der 3D Ganzkörperscantechnologie

Die Bekleidungsindustrie zeigt großes Interesse an der Entwicklung und Verbesserung der 3D Ganzkörperscantechnologie. Mit Hilfe dieser Technologie entsteht die Möglichkeit, Körpermaße mit existierenden Bekleidungsgrößen zu vergleichen und den Prozentanteil der Personen, welche diese Größe tragen, zu ermitteln (Istook & Hwang, 2001; zit. n. Olds & Honey, 2006, S. 9). Ebenso dienen 3D Body-Scanner der Bekleidungsindustrie dazu, Maßbekleidung zu erstellen (vgl. Carrere et al., 2002; zit. n. Olds & Honey, 2006, S. 9). Das Projekt „Bekleidung nach Maß“ zielt darauf ab, mit Hilfe eines 3D Ganzkörperscanners kostengünstige, maßgefertigte Anzüge zu produzieren und dadurch den Kundenanforderungen nach Individualität gerecht zu werden (vgl. Human Solutions, 2004). Ein weiterer Einsatzbereich im Bekleidungssektor stellt die „Virtual try on“ Technologie dar. „Virtual try on“ bietet die Möglichkeit nach einmaliger Erstellung eines 3D Bildes mittels eines 3D Laserscanners, Bekleidung virtuell an sich selbst anzuprobieren (vgl. Cordier et al., 2003; zit. n. Olds & Honey, 2006, S. 9).

Ein weiteres Einsatzgebiet stellt die Automobil- sowie Flugzeugindustrie dar. Die Flugzeugindustrie verwendet 3D Abbildungen von Menschen um Flugzeugcockpits, Helme für Piloten, Sauerstoffmasken sowie Uniformen zu designen (vgl. Jones & Rioux, 1997; Paquette, 1996; zit. n. Mckinnon & Istook, 2001, S. 2). Die Automobilindustrie nutzt die automatische dreidimensionale Modellierung, um individuellen Komfort sowie Sicherheit, wie bspw. den Abstand des Fahrers zu den Armaturen, die Anbringung von Sicherheitsgurten sowie den Airbag Abstand in die Produktion einfließen zu lassen (vgl. Robinette, Dannen & Paquet, 1999, S. 380).

Die erhöhten Anforderungen an die Akteure in Videospielen, ihren menschlichen Vorbildern zum Verwechseln ähnlich zu sehen, veranlasst die Industrie auch hier 3D Scanner zum Einsatz zu bringen. Die Ganzkörperscantechnologie ermöglicht Graphik Designern „Avatare“, menschenähnliche Figuren, für Videospiele, Filme u. dgl. zu erstellen (vgl. Olds & Honey, 2006, S. 8).

Doch nicht nur Bekleidungs-, Automobil-, Flugzeug- und Unterhaltungsindustrie zeigen enormes Interesse an dieser neuartigen Technologie. Zunehmend findet die Laserscantechnologie Anwendung in der Medizin sowie in Gesundheitsbereichen. Automatisch generierte 3D Abbildungen werden zur Produktion von Prothesen verwendet. Es wird ein Bild vom gesunden Glied generiert sowie gespiegelt um es zur Berechnung des Volumens sowie der Oberfläche für die Erstellung der Prothese für die beeinträchtigte Gliedmaße zu nutzen. Ebenso wird die 3D Ganzkörperscantechnologie dazu eingesetzt,

bessere Prädiktoren von Krankheits- und Risikofaktoren zu erforschen (vgl. Olds & Honey, 2006, S. 8).

In der Adipositas-Forschung hat sich der *BMI* zur Kategorisierung von Übergewicht etabliert, wobei dieser erst bei zusätzlicher Betrachtung der Körperform eine aussagekräftige Beurteilung des Körpers zulässt (vgl. Wells, Treleaven & Cole, 2007; zit. n. Stewart, 2010, S. 456). Der *BMI* stellt lediglich die Relation von Körpermasse und Körpergröße dar (vgl. Weineck, 2007, S. 1009), vernachlässigt jedoch den Anteil der Muskel- bzw. Fettmasse (vgl. Dalton et al., 2003, S. 560). Der errechnete *BMI* gibt alles in allem einen ersten Überblick hinsichtlich Übergewicht bzw. Adipositas (vgl. Weineck, 2007, S. 1009). Tabelle 1 zeigt die Klassifikation des *BMI*, welche von der WHO² vorgenommen wurde:

Tab. 1: *BMI Klassifikation*

Klassifikation	BMI (kg/m ²)
Untergewicht	< 18,5
Normalgewicht	18,5 – 24,9
Übergewicht	25 – 29,9
Adipositas Grad I	30 – 34,9
Adipositas Grad II	35 – 39,9
Adipositas Grad III	> 40

Quelle: WHO (2008, S. 20)

Zusätzlich zum BMI ermöglicht die Darstellung des *waist-hip ratio*³, detailliertere Aussagen hinsichtlich des Gesundheitsstatus treffen zu können (vgl. Wells, Ruto & Treleaven, 2008, S. 232). Der *WHR* wird aus dem Taillenumfang und dem Hüftumfang berechnet. Wobei der Taillenumfang in der Mitte zwischen letzter Rippe und Beckenkamm gemessen wird und der Hüftumfang als der größte Umfang des Gesäßes gilt. Da dieser Index eine hohe Korrelation mit kardiovaskulären Risikofaktoren aufweist, wird dieser als Indikator hinsichtlich des Gesundheitsstatus verwendet (vgl. Dalton et al., 2003, S. 555). Die Klassifikation des *WHR* (siehe Tabelle 2) wurde ebenfalls von der WHO formuliert:

² World Health Organisation

³ *WHR: waist-hip ratio*. Das Hüft-Taillen-Verhältnis wird eingesetzt um Übergewicht zu klassifizieren (vgl. Dalton et al., 2003, S. 556).

Tab. 2: WHR Klassifikation

Klassifikation	Frauen WHR	Männer WHR
Normalgewicht	< 0,8	< 0,9
Übergewicht	0,8 – 0,84	0,9 – 0,99
Adipositas	> 0,84	> 0,99

Quelle: DGSP (2007, S. 26)

Neben *BMI* und *WHR* findet ebenso der Bauchumfang in medizinischen Settings Anwendung. Dieser Index wird verwendet um Aussagen hinsichtlich Bauch- sowie Gesamtkörperfett zu treffen. Tabelle 3 zeigt die Klassifikation des Bauchumfanges, welche von der *WHO* herausgegeben wurde (vgl. Dalton et al., 2003, S. 556).

Tab. 3: Bauchumfang

Klassifikation	Frauen Bauchumfang	Männer Bauchumfang
Normalgewicht	< 80 cm	< 94 cm
Übergewicht	80 – 87,9 cm	94 – 101,9 cm
Adipositas	> 88 cm	> 102 cm

Quelle: DGSP (2007, S. 26)

BMI, *WHR* sowie Bauchumfang werden durch Betrachtung der Körperform aussagekräftiger. 3D Body Scanner können diese Werte und über 100 weitere Umfang-, Längen- und Höhenmaße innerhalb von 10 Sekunden ermitteln und somit eine rasche anthropometrische Darstellung ermöglichen (vgl. Treleaven & Wells, 2007, S. 28ff).

Auch die Sportwissenschaft zeigt großes Interesse an der Verwendung der Laserscanttechnologie. In der Sportart Schwimmen werden mittels 3D Aufnahmen hydrodynamische Charakteristika berechnet. Im Radsport wird diese Methode ebenso für die Ermittlung des Luftwiderstandes angewendet (vgl. Olds & Honey, 2006, S. 8f). Der Erfolg einer Athletin bzw. eines Athleten ist nicht nur von den Umwelteinflüssen abhängig, sondern steht in erster Linie in großem Zusammenhang mit den körperbaulichen Voraussetzung für eine Sportart, sowie mit physiologischen, biomechanischen und erfahrungsbasierten Faktoren (vgl. Norton et al., 2006; zit. n. Schranz, Tomkinson, Olds & Daniell, 2010, S. 459). In unzähligen Sportarten wurde die Brisanz der

anthropometrischen Charakteristika intensiv erforscht. Dazu ist es unter anderem erforderlich, anthropometrische Körperparameter von Spitzensportlern und Spitzensportlerinnen mit denen der Normalbevölkerung zu vergleichen. Der Einsatz der 3D Ganzkörperscantechnologie ermöglicht in kurzer Zeit eine hohe Anzahl an Personen zu vermessen (Norton & Olds, 2001; zit. n. Schranz, Tomkinson, Olds & Daniell, 2010, S. 459f). Neben sportartspezifischem Einsatz wird die 3D Ganzkörperscantechnologie auch multisportiv zur Trainingskontrolle sowie zur Überwachung von Diäten der Sportler und Sportlerinnen verwendet (vgl. Olds & Honey, 2006, S. 8f).

Die Aktualität des Einsatzes von 3D Ganzkörperscannern findet nicht zuletzt hinsichtlich der genannten Vielzahl an Einsatzbereichen seine Begründung und basiert auf drei verschiedenen, in Kapitel 2.2.2 näher erläuterten, Technologien.

2.2.2 Technologie

Um 3D Bilder generieren zu können, finden in der Praxis drei verschiedene Technologien Anwendung. Bei der Photogrammetrie werden Lichtmuster von einem Videoprojektor auf den Körper projiziert und von Kameras aufgenommen. Die Bilder werden durch eine digitale Schnittstelle übertragen, woraus die Körperoberfläche berechnet wird. Millimeterwellen-Scanner arbeiten mit Radio-Wellen, welche durch die Bekleidung hindurchscannen können (vgl. Treleaven & Wells, 2007, S. 29f). Diese finden jedoch in der Praxis wegen ethischer Gründe selten Anwendung (vgl. Wells, Ruto & Treleaven, 2008, S. 233). Die dritte Technologie stellt die Laserscantechnologie dar. Scanner dieser Art projizieren augensichere Laserstrahlen auf das Objekt, Kameras zeichnen diese auf und im Anschluss werden mit Hilfe der Triangulation die Daten berechnet (vgl. Treleaven & Wells, 2007, S. 30). Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Messungen wurden mit einem Laserscanner aufgezeichnet, weshalb diese Technologie in den folgenden Unterkapiteln genauer thematisiert wird.

2.2.2.1 Messprinzip Laserscanner

Um 3D Bilddaten erfassen zu können, wird bei der Laserscantechnologie die Light-Strip-Methode verwendet. Ein Laser projiziert eine Linie auf das zu scannende Objekt (siehe Abbildung 8). Eine Kamera, welche in einem definierten Abstand und Winkel zur Lichtquelle positioniert ist, zeichnet das reflektierte Licht auf (siehe Abbildung 9). Die Linie erscheint und verändert sich in Proportion zu den unterschiedlichen Höhen des Objektes. Der mittels Triangulation errechneten Winkels zwischen Objekt und Lichtquelle, wird dazu

verwendet, um den Grad der Abweichungen und Veränderungen der Laserlinie zu ermitteln und das Objekt darzustellen (vgl. Vitronic, 2009, S. 13f).

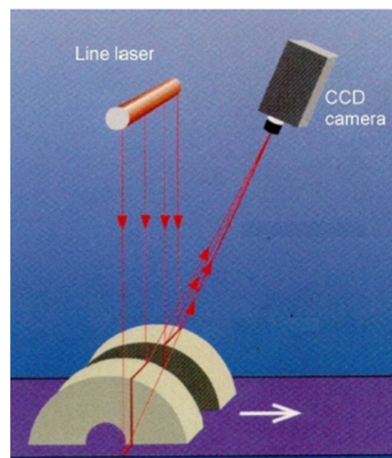


Abb. 8: Laserlinie (Vitronic, 2009, S. 15). Abb. 9: Prinzip der Light-Strip Methode (1) (Vitronic, 2009, S. 13).

Der Sensor bewegt sich mit einer vorgegebenen Geschwindigkeit über das Objekt. Kenntnisse über exakte Geschwindigkeit oder der genauen Position des Objektes werden verwendet, um ein 3D Bild des Scangegegenstandes zu generieren. Abbildung 10 stellt die genaue Vorgehensweise der Light-Strip Methode an Hand eines Rechteckes dar (vgl. Vitronic, 2009, S. 14).

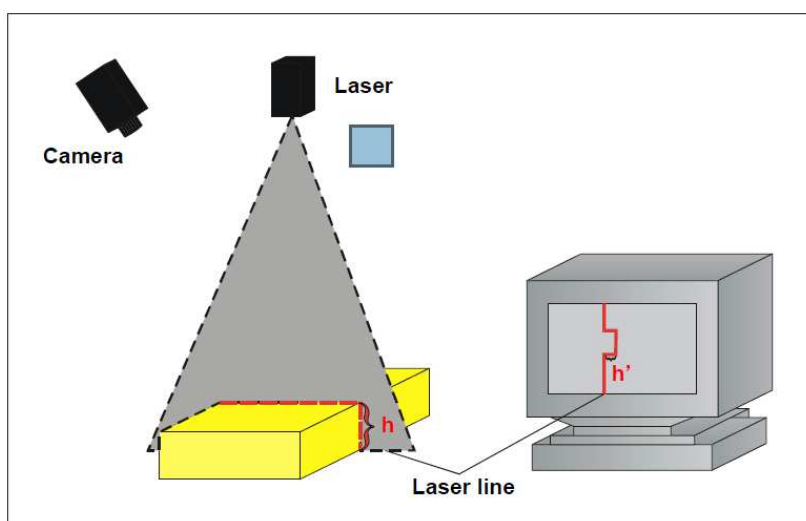


Abb. 10: Light-Strip Methode (2) (Vitronic, 2009, S. 14).

Abbildung 11 zeigt die schematische Vorgehensweise der Light-Strip Methode am Menschen. Die Erfassung erfolgt vertikal von oben nach unten (vgl. Mckinnon & Istook, 2002, S. 107).

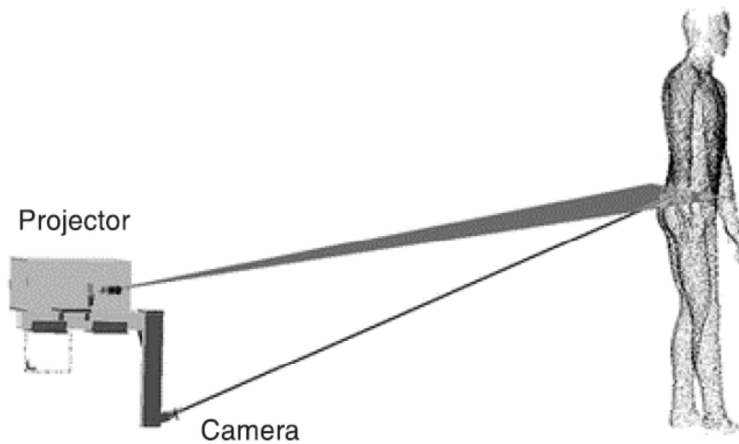


Abb. 11: Vertikale Triangulation zwischen Projektor, Kamera und Testperson (Mckinnon & Istook, 2002, S. 107).

Der Winkel zwischen Kamera und Laser wird mittels Triangulation (siehe Abbildung 12) berechnet (vgl. Vitronic, 2009, S. 14). Der vorgegebene Abstand zwischen Lichtquelle und Kamera bildet die Grundlage zur Berechnung des Winkels. Dieser Winkel verändert sich während des Scanvorganges nicht, lediglich der Abstand zwischen Objekt und Laser (h) verändert sich. Dieser Abstand kann berechnet werden und ergibt die Y Koordinate. Die Z Koordinate stellt die Höhe dar, welche für alle Punkte entlang einer Linie gleich bleibt. Die X Koordinate wird relativ zum Referenzpunkt berechnet (vgl. Olds & Honey, 2006, S. 2; Daniell, 2008, S. 40). Abbildung 13 illustriert die X-, Y- und Z- Koordinate.

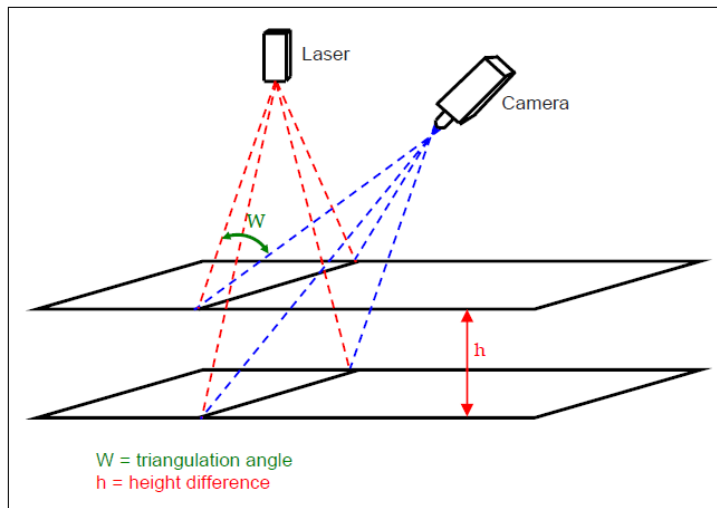


Abb. 12: Methode der Triangulation (Vitronic, 2009, S. 14).

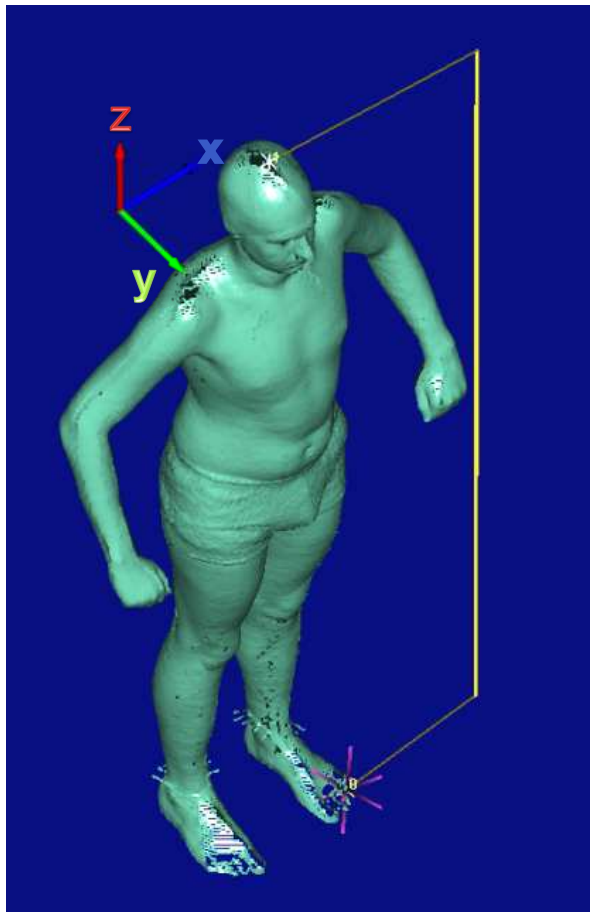


Abb. 13: XYZ Koordinaten.

2.2.2.2 Hardware

3D Laserscanner, wie der *VITUS smart XXL* der Firma *Vitronic* haben die Scan-Technologie in vier Säulen integriert (siehe Abbildung 14). Die Säulen sind im Winkel von ca. 90° zueinander aufgestellt. Die Personen werden mittels augensicherer Lasers in ca. 12 Sekunden gescannt, wobei acht Kameras die Laserlinie während des Scanvorganges aufzeichnen. Das Gesamtskansystem hat eine Abmessung von 2100mm x 1900mm x 2820mm (vgl. Vitronic, 2011, S. 9).



Abb. 14: Vitus smart Laserscanner (Vitronic, 2011, S. 9).

2.2.2.3 Software

Die Darstellung der Körperoberfläche erfolgt durch eine Punktwolke von ca. 600.000 Punkten, welche in einem XYZ Koordinatensystem abgebildet werden. Bevor die Daten verwendet werden können, bedarf es einer Aufbereitung der aufgenommenen Punkte. Ausreißer welche durch Störeffekte, wie z.B. reflektierendes Licht, entstanden sind, werden eliminiert (vgl. Paquette, 1996; zit. n. Olds & Honey, 2006, S. 3). Die Oberflächentopographie des gescannten Objektes wird mit Hilfe komplexer Algorithmen aus den Rohdatenpunkten errechnet (vgl. Wells, Ruto & Treleaven, 2008, S. 233). Im Anschluss werden die Daten aller 8 Kameras zusammengeführt und daraus ein 3D Bild generiert. Diese Bearbeitung erfolgt mittels einer *Software*, welche von der Herstellerfirma des Scanners zur Verfügung gestellt wird (vgl. Paquette, 1996; zit. n. Olds & Honey, 2006, S. 3). Die *Software* ist auch behilflich, um aus den aufgenommenen Datenpunkten Umfänge, Längen- sowie Höhenmaße ablesen zu können. Die Grundlage dafür legen anatomische Schlüsselstellen, welche entweder automatisch oder manuell identifiziert werden können. Die automatische Identifikation auch *ALR (Automatic Landmark Recognition)* genannt, erkennt Schlüsselstellen ohne menschliches Zutun. Die manuelle Identifikation wird unterschieden in *DLR (Digital Landmark Recognition)* und *PLR (Physical Landmark Recognition)*. Bei der *DLR*-Methode werden die anatomischen

Schlüsselstellen in der *Scansoftware* direkt am PC beim aufgenommenen 3D Bild von der Benutzerin bzw. vom Benutzer festgelegt. Diese Methode funktioniert bei schlanken Personen sehr gut, da die Schlüsselstellen auf Grund des geringen Anteils von subkutanem Fett leichter bestimmt werden können. Bei stark muskulösen Personen existieren Probleme hinsichtlich der Identifikation, da hier die knöchernen Schlüsselpunkte schwieriger lokalisiert werden können. Die *PLR*-Methode gilt derzeit als die genaueste Methode *Landmarks* zu erkennen. Vor dem Scanvorgang werden Marker, an den anatomischen Punkten platziert. Der Scanner erkennt diese Marker und ermöglicht eine Bestimmung verschiedenster anthropometrischer Körperparameter (Buxton et al., 2000; Suikerbuik et al. 2004; zit. n. Olds & Honey, 2006, S. 6f). Robinette & Daanen (2006, S. 261) haben in einer Studie 72 Marker angebracht, welche am 3D Bild als weiße Punkte dargestellt wurden, um genaue Höhen-, Längen- und Umfangsmaße zu erhalten. In weiterer Folge wurden diese Punkte als Referenzpunkte für die manuelle Vermessung verwendet.

2.2.2.3.1 Kalibrierung

Damit die *Software* genaue Messdaten zur Verfügung stellen kann, ist eine Kalibrierung des Scansystems notwendig. Dabei wird ein etwa 200 cm hohes Rohr (*hk-tube*⁴) mit einem Durchmesser von 110 mm insgesamt fünf Mal gescannt. Zu Beginn wird das *hk-tube* in der Mitte des Podests (siehe Abbildung 15) und im Anschluss an allen vier Außenkanten mittig platziert und gescannt. Sind die Ergebnisse ohne Störfaktoren, kann die Kalibrierung erfolgreich abgeschlossen werden. Die gescannte Geometrie des Rohrs dient als Referenz für den Algorithmus und somit der Berechnung der 3D Datenpunkte. (vgl. Vitronic, 2008, S. 2).



Abb. 15: Position 1 der Kalibrierung.

⁴ height calibration tube

2.2.3 Messergebnisse

Bei Messvorgängen werden genaue Ergebnisse und exakte Messdaten angestrebt, für deren Erzielung bei der Erhebung der Daten bestimmte Gütekriterien eingehalten werden sollen. Diese werden in Haupt- und Nebengütekriterien eingeteilt, welche in Abbildung 16 dargestellt werden (vgl. Raithel, 2008, S. 44f).

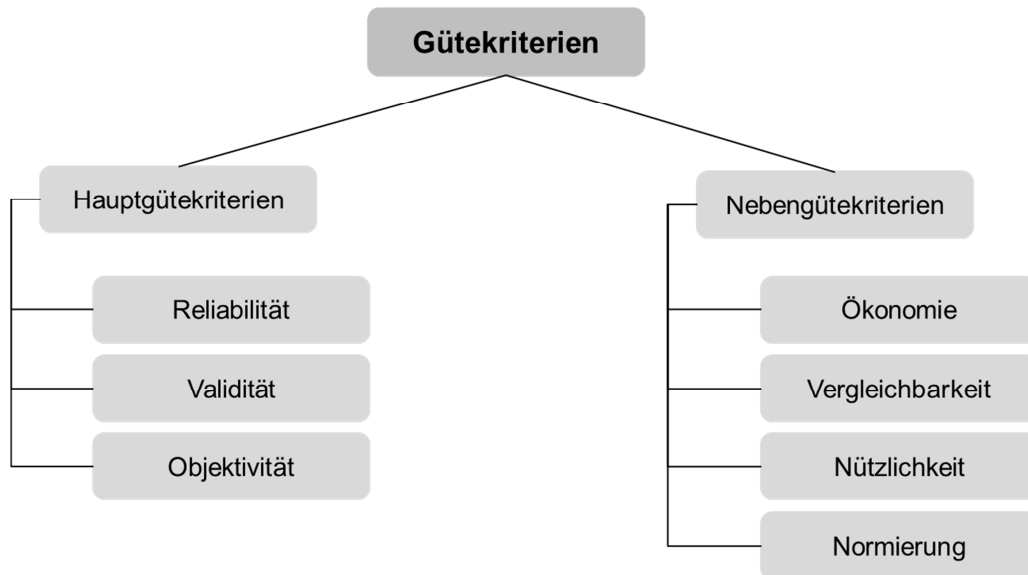


Abb. 16: Gütekriterien von Messungen (modifiziert nach Raithel, 2008, S. 45).

Die Erfassung von geometrischen Körperparameterwerten mittels 3D Ganzkörperscantechnologie ist eine neuartige Technologie, bei der überprüft werden muss, ob tatsächlich die Werte gemessen werden, welche gemessen werden sollen. Dieser Vorgang wird in der Literatur als Validierung (Überprüfung der Gültigkeit) eines Messinstrumentes beschrieben. Die Validität stellt neben der Reliabilität sowie der Objektivität eines der drei Hauptgütekriterien dar. Die Objektivität gibt die Unabhängigkeit der Testperson an, was bedeutet, dass zwei verschiedene Forscherinnen bzw. Forscher gleiche Testergebnisse erzielen. Die Reliabilität gibt die Zuverlässigkeit sowie die Reproduzierbarkeit wiederholter Messungen an (vgl. Lienert, 1969; Diekmann, 2005; zit. n. Raithel, 2008, S. 45ff). Befasst man sich mit 3D Ganzkörperscanner-Evaluierungsstudien, wird man oftmals mit den Wörtern Präzision sowie Messgenauigkeit konfrontiert, welche in den folgenden Unterkapiteln näher erläutert werden (vgl. Robinette & Daanen, 2006, S. 259ff; Wang et al., 2006, S. 809ff; Lu & Wang, 2010, S. 2048).

2.2.3.1 Genauigkeit

Die Genauigkeit eines 3D Ganzkörperscanners wird durch einen Vergleich von manuell erhobenen Parametern sowie automatisch generierten Werten des Scanners bestimmt (vgl. Han, Nam & Choi, 2010, S. 530). Lu und Wang (2010, S. 2049) führten eine Evaluierungs-Studie des 3D Ganzkörperscanners *Vitronic Vitus-3D 1600* durch, wobei zwölf Körperparameter erhoben wurden. Diese gliedern sich in Höhen-, Längen- sowie Umfangsmaße. Neben der manuellen und automatischen Vermessung von 163 Testpersonen wurden auch die Maße einer Schaufensterpuppe erhoben, um Einflussfaktoren wie Muskelzuckungen, kleinste Bewegungen des gesamten Körpers sowie Schwankungen verursacht durch die Atmung zu eliminieren. Durch die Vermessung der Schaufensterpuppe konnten die Autoren eine sehr hohe Genauigkeit, der automatisch generierten Daten nachweisen. Die Abweichungen zwischen manuellen und automatisch erhobenen Daten sind bei der Schaufensterpuppe geringer als beim Menschen (vgl. Tabelle 4). Bei der Vermessung des Mannequins gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen manuellen und automatisch generierten Werten, beim Menschen hingegen existieren in acht von zwölf Körperparametern signifikante Unterschiede zwischen den beiden Messmethoden. Das Signifikanzniveau wurde auf $p=0,05$ festgelegt.

Tab. 4: Genauigkeit Vergleich Mensch und Schaufensterpuppe

Körperparameter	MAD (mm) Mensch	p-Wert	MAD ⁵ (mm) Schaufensterpuppe	p-Wert
Körperhöhe	5,76	0,4705	0,86	0,4654
Schulterbreite	8,06	0,0047	0,82	0,8298
Taillenumfang	14,73	0,0090	2,75	0,6379
Hüftumfang	10,23	0,5974	1,42	0,0713
Armlänge	10,38	0,0001	5,51	0,3554

Quelle: modifiziert nach Lu & Wang (2010, S. 2051ff)

Wang et al. (2006, S. 811ff) setzten sich ebenfalls mit dieser Thematik auseinander und haben zusätzlich zur manuellen und automatischen Vermessung von Körperparameter eine Unterwassermessung zur Bestimmung des Körperfettanteiles durchgeführt. Es konnte bewiesen werden, dass die Körpervolumina sowie Umfänge mittels 3D Body-

⁵ MAD: Mean absolute difference = absolute mittlere Differenz

Scanner signifikant höher sind als mittels Densitometrie bzw. Maßbandvermessung. Die Unterschiede der Ergebnisse des Vergleiches manuell vs. Scan sind zwar signifikant, jedoch ist die Differenz zwischen den beiden Messmethoden sehr gering. Ebenso konnten die Autoren aufzeigen, dass Umfänge eine höhere Differenz der beiden Mittelwerte aufweisen als Höhen- bzw. Längenmaße.

Neben dem Vergleich zweier unterschiedlicher Messmethoden wird oftmals die Präzision einer Messmethode untersucht.

2.2.3.2 Präzision

Die Präzision, auch als Reproduzierbarkeit beschrieben, wird definiert als die Differenz zwischen wiederholten Messungen eines z. B. 3D Scanners, und ist eine Kenngröße zur Evaluation eines Messinstrumentes (vgl. Lu & Wang, 2010, S. 2048). Ein gebräuchliches Maß um die Präzision zu beschreiben stellt der CV^6 dar. Dieser errechnet sich aus der Quadratwurzel von Varianz⁷ dividiert durch den Mittelwert (vgl. Robinette & Daanen, 2006, S. 262f).

Der Variationskoeffizient setzt die Streuung in Relation zum Mittelwert und wird daher als relatives Streuungsmaß bezeichnet. Der Variationskoeffizient ist insbesondere zum Vergleich zweier Verteilungen geeignet, die in unterschiedlichen Dimensionen gemessen wurden (z.B. Preise in unterschiedlichen Währungen) (Duller, 2007, S. 110).

Robinette und Daanen (2006, S. 263) haben in einer Studie die Abweichungen von manuell gemessenen, eindimensionalen Körperparametern mit den Abweichungen eines 3D-Scanners verglichen. In dieser Studie wurden 20 Personen von zwei verschiedenen Teams drei Mal manuell sowie drei Mal mittels 3D Scanner vermessen. Das Studiendesign wurde von der CAESAR-Studie (*Civilian American and European surface anthropometry resource*) übernommen. Insgesamt wurden an den Probandinnen und Probanden 72 Marker angebracht, welche als Referenzpunkte für die manuellen sowie automatisch generierten Messungen dienten. Aus diesen Ergebnissen wurden die MAD (absolute mittlere Differenz) der Wiederholungswerte berechnet und mit den maximal erlaubten Fehlern der ANSUR-Studie verglichen. Die Forscherinnen und Forscher berechneten für alle Messergebnisse den Variationskoeffizient und es konnte aufgezeigt werden, dass die linearen Messwerte des Scanners präziser als die manuell erhobenen

⁶ CV: *Coefficient of variation* = Variationskoeffizient

⁷ „Die Varianz ist die mittlere quadratische Abweichung vom Mittelwert. Die Berechnung der Varianz ist nur für metrische Merkmale zulässig“ (Duller, 2007, S. 109).

linearen Werte sind. Umfänge wurden in dieser Studie vernachlässigt und sollten in weiteren Studien berücksichtigt werden. Lu und Wang (2010, S. 2050ff) haben sowohl Längen- und Höhenmaße als auch Umfänge in ihrer Studie erhoben und konnten aufzeigen, dass Scanner präziser als traditionelle anthropometrische Messungen sind. Die Präzision wurde sowohl für Menschen als auch für eine Schaufensterpuppe bestimmt. Durch die Schaufensterpuppe konnten minimale Bewegungen des Körpers, welche bei Menschen vorkommen, ausgeschlossen werden und eine absolut stabile Position des Scanobjektes erreicht werden. Die *MAD* drückt die mittlere absolute Differenz zwischen zwei Scanvorgängen aus (siehe Tabelle 5). Vergleicht man die wiederholten Messungen beim Mensch und bei der Schaufensterpuppe, wird ersichtlich, dass beim Scannen von Schaufensterpuppen geringere Abweichungen zwischen zwei Scanergebnissen vorherrschen als bei der Vermessung eines menschlichen Körpers.

Tab. 5: Präzision des Scanner Vergleiches Mensch und Schaufensterpuppe

Körperparameter	<i>MAD</i> (mm) Mensch	<i>MAD</i> (mm) Schaufensterpuppe
Körperhöhe	2,08	0,86
Schulterbreite	5,73	0,82
Taillenumfang	5,13	2,75
Hüftumfang	5,47	1,42
Armlänge	6,69	5,51

Quelle: modifiziert nach Lu & Wang (2010, S. 2051ff)

Lu und Wang (2010, S. 2052) haben mit ihrer Studie eine höhere Präzision als in vorangegangenen Studien erreicht und herausgefunden, dass 3D Ganzkörperscansysteme präzisere Ergebnisse als die klassische anthropometrische Messung liefern.

2.2.3.3 Validierungsrichtlinien

Unzählige Studien beschäftigen sich mit der Evaluierung eines 3D Ganzkörperscansystems (vgl. bspw. Mckinnon & Istook, 2002, S. 103ff; Daniell, 2008, S. 39ff; Robinette & Daanen, 2006; S. 259ff; Wells, Ruto & Treleaven, 2008, S. 233; Han, Nam & Choi, 2010, S. 530ff; Lu & Wang, 2010, S. 2048ff). Diese zeigen auf, dass

verschiedene Einflussfaktoren existieren, welche die Qualität des 3D Scanbildes beeinflussen. Um bestmögliche Ergebnisse zu erzielen, beschreiben die Autoren Richtlinien, welche bei der Validierung eingehalten werden sollen. Ein wesentlicher Punkt stellt die Bekleidung der Probandinnen und Probanden dar. Diese werden gebeten körpernah geschnittene Bekleidung, wie z.B. Badeanzug, Badehose bzw. Bikini zu tragen. Eng anliegende Bekleidung hat den Vorteil, dass die Körperform genauer dargestellt werden kann. Weite Bekleidung würde die Ergebnisse verfälschen, da z.B. Umfänge unkorrekt bemessen werden. Ebenso ist es von Bedeutung, dass die Testperson den ganzen Scanvorgang in einer Position, ohne sich zu bewegen, verweilen kann (vgl. Wells, Ruto & Treleaven, 2008, S. 233). Neben einer statischen Position soll auch die Atmung während des Scanvorganges angehalten werden, da die Atmung die Daten des Rumpfes sowie die Körpergröße beeinflussen (vgl. Mckinnon & Istook, 2002, S. 120f). Auch die Haare stellen einen Störfaktor dar und vermindern die Qualität der automatisch generierten 3D-Werte. Durch die Verwendung einer Badekappe kann ein derartiger Einfluss reduziert werden (vgl. Lu & Wang, 2010, S. 2049). Eine regelmäßige Kalibrierung des Scanners ist notwendig, da bei fehlender Kalibrierung der Sohlenbereich ungenau gescannt wird und somit die Höhenmaße beeinflusst (vgl. Han, Nam & Choi, 2010, S. 531). Ein weiterer wesentlicher Aspekt stellt eine standardisierte Scan-Position dar. Der Kopf wird mit Blick gerade nach vor, in der Frankfurter Horizontale, die Füße hüftbreit und die Arme leicht abduziert, positioniert (vgl. Daniell, 2008, S. 42). Han, Nam & Choi (2010, S. 531) sind ebenfalls zu dem Schluss gekommen, dass die Scanposition, insbesondere die Stellung der Füße sowie die Abduktion der Arme, in Abhängigkeit der Körpergröße gewählt werden sollen. Durch Erhöhung der Scangeschwindigkeit kann die Messgenauigkeit positiv beeinflusst werden. Hierbei muss jedoch bedacht werden, dass hinsichtlich der Auflösung keine Veränderungen vorgenommen werden sollen. Die angeführten Richtlinien sind für das korrekte Handling des 3D Scanners unabdingbar. Eine wesentliche Bedeutung kommt nicht zuletzt den Kompetenzen der Testerin bzw. des Testers zu, da die Qualität der manuellen Vermessung stark von diesen abhängig ist (vgl. Lu & Wang, 2010, S. 2053). Zudem beurteilt der Scanner den Körper als starres Objekt, der Anthropometrist jedoch nicht, das zur Folge hat, dass dieser bspw. bei Umfangmessungen mittels Maßband mehr Druck auf das Gewebe bringt und somit kleinere Umfänge generiert. Dieses Problem herrscht auch bei Messungen von Breitenmaßen, wie z. B. der Schulterbreite, vor. (vgl. Daniell, 2008, S. 52). Bei dem Vergleich von automatisch generierten und manuell erhobenen Daten spielt es eine wesentliche Rolle die Messwege der beiden Messmethoden aneinander anzugleichen, da bspw. der Scanner den Brustumfang horizontal zum Boden erfasst, die Vorgaben der manuellen Vermessung aber oftmals anders lauten (vgl. Han, Nam & Choi, 2010, S.

534ff). Diese diskutierten Validierungsrichtlinien haben Einfluss auf die Ergebnisse und sollten in der Studienplanung berücksichtigt werden. Ein Überblick der Richtlinien ist in Tabelle 6 ersichtlich.

Tab. 6: Zusammenfassung Validierungsrichtlinien

Parameter	Einflussfaktor	Maßnahme	Autor/in
Körperhöhe	Haare	Tragen einer Badekappe	Lu & Wang, 2010, S. 2049
Körperhöhe Höhenmaße	Fehlende Werte im Bereich der Fußsohle	Regelmäßige Kalibrierung des Scanners	Han, Nam & Choi, 2010, S. 538
Brustumfang Taillenumfang Hüftumfang	Bekleidung	Tragen eng anliegender Badebekleidung oder Unterwäsche	Wells, Ruto & Trealeaven, 2008, S. 233
Höhen-, Umfangs- & Längenmaße	Körperhaltung, Beinstellung, Armstellung	Standardisierte Scanposition	Daniell, 2008, S. 42; Han, Nam & Choi, 2010, S. 531
Körperhöhe, Umfänge	Atmung	Während des Scanvorganges die Atmung einstellen	Mckinnon & Istook, 2002, S. 113
Umfangsmaße, Höhenmaße	Unterschiede zwischen manuellen und mittels Scanner generierten Messwegen	Manuelle Vermessung an die Vermessung des Scanners anpassen	Lu & Wang, 2010, S. 536ff
alle Körperparameter	Kompetenz des Testers bzw. der Testerin	Geschulter Tester bzw. geschulte Testerin	Lu & Wang, 2010, S. 2049
alle Körperparameter	Einfluss der Atmung	Normale Einatmung und kurzes Anhalten der Atmung während der Rumpf gescannt wird.	Mckinnon & Istook, 2002, S. 120

2.2.4 Einschränkungen und Möglichkeiten der 3D Technologie

Es kann generalisiert werden, dass die 3D Ganzkörperscan-Methode eine Vielzahl an Möglichkeiten eröffnet, aber auch Einschränkungen unterlegen ist, welche in diesem Kapitel näher erläutert werden.

Digital gespeicherte 3D Daten ermöglichen einen Zugriff auf Messwerte auch nach der Messung, daraus resultiert, dass im Nachhinein beliebige Daten abgelesen werden können. Diese Möglichkeit besteht bei manuell durchgeführten Messungen nicht, da Probandinnen und Probanden nur einen gewissen Zeitraum zur Verfügung stehen. Wurden die gewünschten Parameter nicht gleich erhoben, gibt es kaum eine Möglichkeit diese zu erhalten (Robinette & Daanen, 2006, S. 264). Der Zeitaufwand von anthropometrischen Untersuchungen kann mittels Ganzkörperscanner enorm verringert werden. In acht bis zehn Sekunden wird der gesamte Körper gescannt und Werte von über 100 Körperparametern können abgelesen werden (vgl. Treleaven & Wells, 2007, S. 28ff). Zudem entsteht die Möglichkeit die gesamte Körperoberfläche zu verbildlichen, Querschnittsdaten sowie Volumen zu ermitteln (vgl. Olds et al., 2008, S. 37). Auch bietet diese Technologie die Möglichkeit zwei- und dreidimensionale Messungen vorzunehmen (vgl. Olds & Honey, 2006, S. 1). Anzumerken ist jedoch, dass 3D-Body-Scanner eine äußerst teure Apparatur darstellen. Die Flexibilität an beliebigen Orten zu messen ist nicht gegeben, da der Scanner Platz und abgedunkelte Räume benötigt. Ebenso fehlt die Möglichkeit, Hautfaltendicken zu messen und damit den prozentuellen Körperfettanteil zu berechnen (vgl. Olds et al., 2008, S. 37). Wang et al. (2010, S. 812ff) haben jedoch in einer Studie einen Zusammenhang zwischen Densitometrie und 3D Bodyscanwerten hinsichtlich des Körperfettanteils gefunden. Diese Thematik, Körperfett aus den Werten eines 3D Scanners vorherzusagen, wurde bisher selten aufgegriffen. Eine Diplomarbeit der Universität Wien beschäftigte sich mit der Entwicklung einer Vorhersagegleichung um den prozentuellen Körperfettanteil aus diesen Werten zu bestimmen, konnte jedoch auf Grund fehlender Werte aus „Goldstandard“ Referenzmethoden nicht aufklären, wie präzise diese Formel tatsächlich ist (vgl. Holnsteiner, 2011, S. 115ff).

2.3 Zusammenfassung

Kapitel 2 zeigt die Vielzahl der Einsatzmöglichkeiten der 3D Scanner sowie der klassischen Anthropometrie auf. Da jedoch 3D Ganzkörperscanner immer häufiger zum Einsatz kommen, wird in folgender Tabelle 7 ein Vergleich zwischen der klassischen Anthropometrie sowie der 3D Ganzkörperscanttechnologie dargestellt.

Tab. 7: Vergleich klassische Anthropometrie vs. 3D-Ganzkörperscantechnologie

Klassische Anthropometrie	3D Ganzkörperscantechnologie
nicht invasiv	nicht invasiv
Körperkontakt notwendig	kein Körperkontakt notwendig
Messinstrumente portabel	Messinstrument nur bedingt portabel
Kostenaufwand gering	Kostenaufwand hoch
hoher Zeitaufwand	geringer Zeitaufwand – ideal für Studien mit hoher Probandenanzahl
Messergebnisse vom Tester abhängig	Messergebnisse unabhängig vom Tester
trainierte Anthropometristen erforderlich	keine besonderen anthropometrischen Kenntnisse notwendig
Standardisierte Bedingungen erforderlich	Standardisierte Bedingungen erforderlich
Nicht erhobene Parameter können nachträglich nicht eruiert werden	Daten können im Nachhinein eruiert werden

Diese Zusammenfassung zeigt, dass die 3D Ganzkörperscantechnologie viel Potenzial sowie Vorteile gegenüber der klassischen anthropometrischen Vermessung mit sich bringt. Auch das Institut für Sportwissenschaft verfügt über einen *VITUS Smart* Ganzkörperscanner der Firma *Vitronic*. Da dieser in Zukunft für Studien und Forschungsarbeiten umfangreich eingesetzt werden soll, ist es notwendig die Validität zu überprüfen. Dafür wurde im Dezember 2011 und im Jänner 2012 eine Studie durchgeführt, die sich explizit mit dem Vergleich von manuell erhobenen Körperparametern und den automatisch generierten Daten des Scanners beschäftigt. Die Planung des Studiendesigns, die Durchführung und die anschließende Auswertung bilden die Grundlage für die vorliegende Arbeit und werden in den Kapiteln 3 bis 5 dargestellt.

3 STUDIENDESIGN

Als Grundlage fungiert die Validierungsstudie: „Vergleich zwischen der manuellen Vermessung geometrischer Körperparameter und der automatisierten Bestimmung durch ein 3D Infrarotlaser Scansystem“ des 3D Ganzkörperscanners *VITUS Smart XXL* der Firma *Vitronic*, welche im Dezember 2011 und Jänner 2012 am Institut für Sportwissenschaft von der Autorin in Zusammenarbeit mit der Abteilung Biomechanik, Bewegungswissenschaft und Sportinformatik, Sport- und Leistungsphysiologie sowie mit dem ÖISM durchgeführt wurde. Die Voruntersuchungen sowie der Probedurchlauf fanden am 1.12. und 15.12.2011, die Hauptuntersuchungen fanden am 11., 12., 16., 17., 18., 23., 24., und 27.1.2012 statt.

3.1 Methodik

Im Rahmen der Validierungsstudie wurden *Inter-Rater-* sowie *Intra-Rater-*Reliabilitätstestungen durchgeführt. Bei den *Inter-Rater-*Reliabilitätstestungen wurden drei Probandinnen bzw. Probanden von drei verschiedenen Personen zu zwei verschiedenen Zeitpunkten manuell vermessen. Die *Intra-Rater-*Reliabilitätstestung wurde lediglich von einer Testerin durchgeführt. Dabei wurden drei Testpersonen zu zwei verschiedenen Zeitpunkten manuell vermessen. Diese Testungen dienen dazu, die Reproduzierbarkeit von Messergebnissen zu untersuchen (vgl. Jensen & Abel, 1999, S. 522).

Nach diesen Testungen wurde in weiterer Folge ein Probedurchlauf gestartet, um den Zeitaufwand pro Probandin und Proband abschätzen zu können und um darauf basierend einen Terminplan für die Studie erstellen zu können. Nach Abschluss der Voruntersuchungen begann im Jänner 2012 die Validierungsstudie. Die Testungen wurden in den Räumlichkeiten des ÖISM (Österreichisches Institut für Sportmedizin) durchgeführt, da der 3D Ganzkörperscanner in einem der Therapieräume aufgebaut ist. Den ersten Schritt stellte die Vermessung mittels 3D Laserscan dar, in einem zweiten Schritt wurden die Studienteilnehmerinnen und Studienteilnehmer von der Testerin manuell, mittels Anthropometer, Maßband und Waage, vermessen. Nach Abschluss der Vermessungen wurden die Testpersonen entlassen und die Teilnahme an der Studie somit beendet.

3.1.1 Probanden und Probandinnen

Für diese Studie wurden 30 Männer und 31 Frauen rekrutiert. Es handelte sich dabei um Studierende der Universität Wien, insbesondere des Instituts für Sportwissenschaft, sowie externen Probandinnen und Probanden. Die Rekrutierung der Studierenden erfolgte über Lernplattformen, E-Maillisten sowie telefonisch. Externe Probandinnen und Probanden wurden ebenfalls per Mail sowie per Telefon um Partizipation gebeten. Die Teilnahme an der Studie erfolgte ausnahmslos freiwillig. Die Probandinnen und Probanden erhielten vorab per E-Mail ein Informationsschreiben bzgl. der Testung sowie eine Einwilligungserklärung zum Unterschreiben.

3.1.1.1 Einschlusskriterien

Um an der Studie teilnehmen zu können, mussten die Probandinnen und Probanden folgende Einschlusskriterien erfüllen:

- frei von körperlichen Beschwerden
- der Proband bzw. die Probandin muss zehn bis zwölf Sekunden in einer vorgegebenen Scanposition ruhig stehen können
- der Proband bzw. die Probandin soll in den ersten acht Sekunden des Scanvorganges die Luft anhalten können

3.1.1.2 Ausschlusskriterien

Die Erfüllung eines der folgenden Kriterien, erweist sich als ausreichend um von der Studie ausgeschlossen zu werden:

- körperliche Beschwerden
- Proband bzw. Probandin kann keine zehn bis zwölf Sekunden in der vorgegeben Scanposition verharren
- Proband bzw. Probandin kann die Luft für acht Sekunden nicht anhalten

3.1.2 Testablauf

Im Rahmen der Studie wurden zwei Messungen durchgeführt. Einerseits eine Vermessung der Körperparameter mittels 3D Laserscanner, andererseits die manuelle

Vermessung mittels Anthropometer und Maßband sowie die Erfassung der Körpermasse mittels Waage.

3.1.2.1 3D Ganzkörperscan

Die Testungen wurden an acht Testtagen durchgeführt. An jedem Testtag erfolgte vor der ersten Messung die Kalibrierung des 3D Ganzkörperscanners (vgl. Kapitel 2.2.2.3.1). Zu Beginn wurde den Probandinnen und Probanden der genaue Ablauf der Messung erläutert. Im Anschluss daran wurden die Testpersonen gebeten sich zu entkleiden und den Badeanzug, Bikini oder Badehose anzuziehen. Die Bekleidung sollte eng anliegen, um genauere automatisierte Werte zu erhalten. Neben enger Bekleidung ist das Tragen einer Badehaube essentiell um genaue, automatisch generierte Werte zu erhalten (vgl. Kapitel 2.2.3.3). Die Probandin bzw. der Proband wurde gebeten im Scanner die Scanposition (siehe Abbildung 17) einzunehmen. Dabei wurden die Füße hüftbreit, innerhalb der vorgegebenen, schwarzen Markierung platziert, die Arme leicht abgespreizt sowie etwas gebeugt (Daumen etwa in Höhe des Trochanter major), die Hände zu einer Faust geballt und der Kopf in die Frankfurter Horizontale⁸ gebracht. Während des Scanvorganges wurden die Teilnehmerinnen und Teilnehmer gebeten, flach einzuatmen und die Luft für etwa acht Sekunden anzuhalten. Die Probandinnen und Probanden bekamen während des Scanvorganges genaue Instruktionen von den Testmitarbeiterinnen. Nach Abschluss des Scanvorganges wurden die anthropometrischen Daten automatisch mittels der Software *ScanworX* bestimmt und im Anschluss daran die manuellen Werte erhoben.



Abb. 17: Scanposition.

⁸ Frankfurter Horizontale: Ohr-Augen-Ebene, anthropologische Messebene, die vom oberen Rand der Gehörgangsmündung über den unteren Augenhöhlenrand derselben Seite zum oberen Gehörgangsrand der gegenüberliegenden Seite verläuft (vgl. Bauer, 2007, S. 308).

3.1.2.2 Manuelle Vermessung

Die Körperparameter, welche für die manuelle Vermessung Anwendung finden, wurden in Anlehnung an Gordon, Cameron-Chumlea & Roche (1988, S. 3ff), Martin et al. (1988, S. 9ff) und Callaway et al. (1988, S. 39ff) sowie hinsichtlich Disponibilität vergleichbarer Werte der Scanner-Software ausgewählt. Diese gliedern sich in Längen-, Höhen- und Umfangsmaße. Neben den geometrischen Körperparametern wurde die Körpermasse in kg mittels einer Waage erhoben, um eine Berechnung des BMI und dadurch eine Klassifizierung anhand des BMI zu ermöglichen. Die Messungen wurden unilateral an der in der Europa gebräuchlichen, linken Körperhälfte durchgeführt (Weiner & Lourie, 1981; zit. n. Martorell et al., 1988, S. 91).

Körperhöhe

Die Körperhöhe wird mittels mobilem Anthropometer bestimmt. Es wird die vertikale Distanz zwischen höchstem Punkt am Kopf und Boden gemessen. Der Kopf soll mit Blick geradeaus (Frankfurter Horizontale) gehalten werden, die Arme hängen an beiden Seiten locker hinab und die Füße sind in etwa hüftbreit platziert (vgl. Gordon, Chameron-Chumlea & Roche, 1988, S. 4f; Human Solutions, 2010, S. 1).

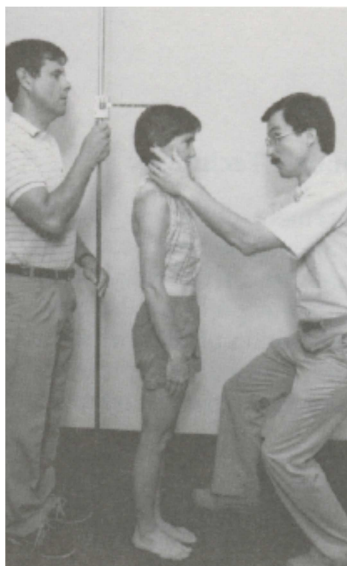


Abb. 18: Körperhöhe mit Frankfurter Horizontale (Gordon, Chameron-Chumlea & Roche, 1988, S. 4).

Taillenumfang

Die Messung des Taillenumfangs erfolgt direkt auf der Haut. Es wird der horizontale Umfang der natürlichen Taille, zwischen Rippen und Hüfte, vermessen (vgl. Callaway et al., 1988, S. 44f; Human Solutions, 2010, S. 1).

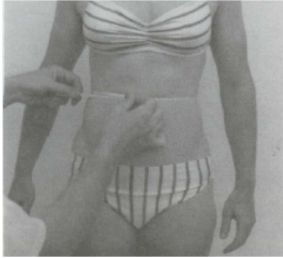


Abb. 19: Taillenumfang (Callaway et al., 1988, S. 44).

Hüftumfang

Das Maßband wird in der Höhe des Gesäßes ohne Druck auszuüben horizontal platziert, wobei der maximale Umfang gemessen wird (vgl. Callaway et al., 1988, S. 46; Human Solutions, 2010, S. 1).

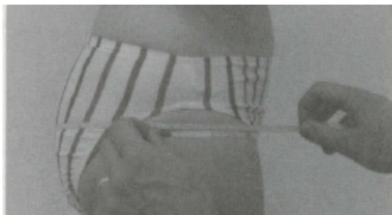


Abb. 20: Hüftumfang (Callaway et al., 1988, S. 46).

Oberarmumfang

Der Oberarmumfang wird in der Mitte des Oberarmes horizontal vermessen. Die Mitte wird durch Bestimmung der Länge zwischen Acromion und Olecranon bestimmt (Callaway et al., 1988, S.51f).

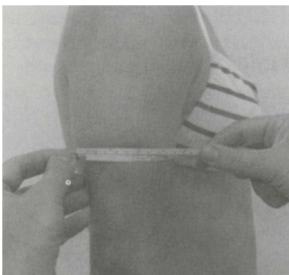


Abb. 21: Oberarmumfang (Callaway et al., 1988, S. 52).

Unterarmumfang

Der Unterarmumfang wird an der breitesten Stelle des Unterarms ermittelt. Die Vermessung erfolgt mit dem Maßband, im rechten Winkel zur Unterarmachse (Callaway et al., 1988, S.52f; Human Solutions, 2010, S. 4).

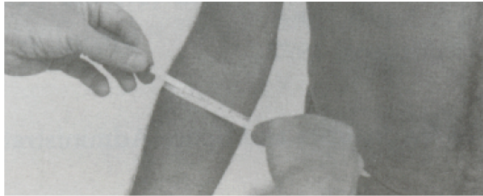


Abb. 22: Unterarmumfang (Callaway et al., 1988, S. 53).

Handgelenkumfang

Die Handfläche zeigt nach oben und die Handmuskulatur ist entspannt. Die Vermessung erfolgt horizontal zur Achse des Unterarmes distal⁹ vom Processus styloideus ulnae und radii (vgl. Callaway et al., 1988, S. 53f; Human Solutions, 2010, S. 5).

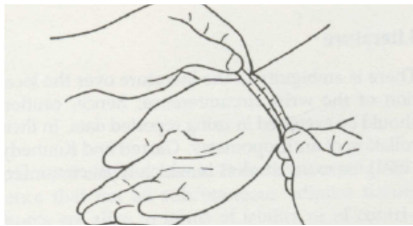


Abb. 23: Handgelenkumfang (Callaway et al., 1988, S. 53).

Knieumfang

Der Knieumfang wird in Höhe der Tibia in der Mitte der Kniescheibe vermessen. Die Füße werden ca. hüftbreit platziert und das Gewicht auf beide Fußsohlen gleichmäßig verteilt (vgl. Human Solutions, 2010, S. 5).

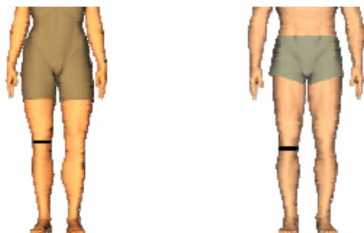


Abb. 24: Knieumfang (Human Solutions, 2010, S. 5).

⁹ distal = körperfern (Bauer, 2007, S. 240).

Unterschenkelumfang

Die Füße werden in etwa hüftbreit platziert und das Gewicht auf beiden Fußsohlen gleichmäßig verteilt. Der maximale horizontale Umfang stellt den Unterschenkelumfang dar (vgl. Callaway et al., 1988, S. 49; Human Solutions, 2010, S. 6).

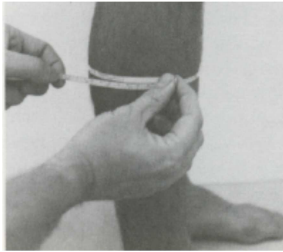


Abb. 25: Unterschenkelumfang (Callaway et al., 1988, S. 49).

Oberarmlänge

Die Oberarmlänge wird als Abstand zwischen Acromion und Olecranon definiert (vgl. Martin et al., 1988, S. 21). Die Messung erfolgt im Stehen, wobei die Arme locker hängen gelassen werden (vgl. Human Solutions, 2010, S. 4).



Abb. 26: Armlänge (Human Solutions, 2010, S. 4).

Unterarmlänge

Die Messung erfolgt mittels kleinem Anthropometer direkt auf der Haut. Der Ellbogen wird 90° gebeugt und die Handflächen zeigen in Richtung Körpermitte. Die Länge wird vom Olecranon bis zum Processus styloideus des Radius gemessen (vgl. Martin et al., 1988, S. 23).

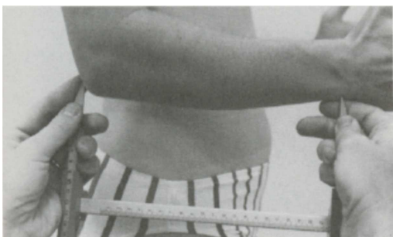


Abb. 27: Messung der Unterarmlänge (Martin et al., 1988, S. 23).

Kniehöhe

Die Testperson soll die Füße ca. hüftbreit platzieren und das Gewicht gleichmäßig auf beiden Fußsohlen verteilen. Gemessen wird die vertikale Distanz zwischen der Mitte der Kniescheibe und Boden (vgl. Martin et al., 1988, S. 17f; Human Solutions, 2010, S. 6).

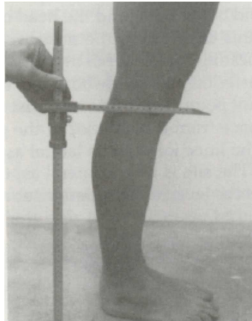


Abb. 28: Messung der Kniehöhe (Martin et al., 1988, S. 18).

3.1.2.2.1 Messinstrumente

Um anthropometrische Parameter manuell erfassen zu können, benötigt man unterschiedliche Messinstrumente (vgl. Kapitel 2.1.1). In dieser Studie wurde für die Längen- sowie Höhenmaße (cm) ein Sibner-Hegner Anthropometer von GPM (siehe Abbildung 29), für die Messung der Umfänge (cm) das Umfangmaßband Seca 201 (siehe Abbildung 30) und für die Erfassung der Körpermasse (kg) eine Körperwaage von Tanita (siehe Abbildung 31) verwendet.

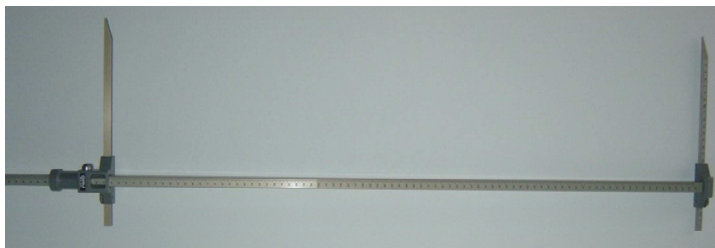


Abb. 29: Anthropometer Siebner-Heger GPM.



Abb. 30: Umfangmaßband Seca 201.



Abb. 31: Körperwaage von Tanita.

4 STATISTISCHE DATENANALYSE RELIABILITÄT

Im Rahmen der Studie wird die Intra- sowie Inter-Tester Reliabilität der manuellen Messungen berechnet (vgl. Kapitel 3.1), da diese Qualitätsmerkmale von Messungen darstellen (vgl. Onyango et al., 2006, S. 38). Die Reliabilitätstestungen dienen dazu, die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse der Testerin zu überprüfen (vgl. Jensen & Abel, 1999, S. 523) und im Anschluss zu analysieren, ob etwaige Abweichungen in einer vorgegebenen Norm liegen. Die erlaubten Abweichungen, ausgedrückt durch den *technical error of measurement (TEM)* sind vom Ausbildungsstand der Anthropometristin bzw. des Anthropometristen abhängig und werden für Umfangs-, Längenmaße und der Körperhöhe, wie in Tabelle 8 dargestellt, eingeteilt (vgl. Gore et al., 1996, S. 397ff).

Tab. 8: TEM erlaubte Abweichungen Intra- und Inter-Tester Reliabilität

Art der Analyse	Anthropometrist Anfänger	Anthropometrist Profi
Intra-Tester Reliabilität	2 %	1,5 %
Inter-Tester Reliabilität	2,5 %	2 %

Quelle: mod. n. Gore et al. (1996, S. 409)

Die Ermittlung der Intra- und Inter-Tester Reliabilität wird mit Hilfe des Programmes Microsoft Excel durchgeführt. Die erhobenen Werte und Berechnungen sind im ANHANG I zu finden.

4.1 Intra-Tester Reliabilität

Die Intra-Tester Reliabilität wird lediglich für die Testerin 1 berechnet, da diese die manuellen Vermessungen der Validierungsstudie durchführt. Für die Beurteilung der Intra-Tester Reliabilität wurden drei Probandinnen und Probanden zu zwei verschiedenen Zeitpunkten von der Testerin 1 vermessen.

Die Beurteilung der Intra-Tester Reliabilität wird anhand des *technical error of measurement (TEM)* mittels folgender Formel berechnet (vgl. Onyango et al., 2006, S. 40):

$$\text{absoluter TEM} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_{i1} - M_{i2})^2}{2 * N}}$$

Dabei stellen M_{i1} und M_{i2} die wiederholten Messungen von einem Tester bzw. einer Testerin für eine gemessene Person i , und N die Anzahl der gemessenen Personen dar (vgl. Onyango et al., 2006, S. 40). Es werden alle Abweichungen zwischen der ersten und zweiten Messung der Testerin 1 für jeden Parameter und für alle Probandinnen und Probanden berechnet. In weiterer Folge wird diese Abweichung quadriert und im Anschluss daran die Summe der Abweichungen eines Parameters errechnet. Nach Berechnung des absoluten *TEM* wird dieser mit dem *variable average value* (VAV) relativiert und der relative *TEM* in % errechnet. Dieser gibt die Abweichung der Messungen in Prozent an und ermöglicht die Aussage, inwiefern die Abweichungen akzeptabel oder inakzeptabel sind (vgl. Perini et al., 2005, S. 87):

$$\text{relativer TEM} = \frac{\text{TEM}}{\text{VAV}} * 100$$

Dabei stellt der *TEM* den absoluten *TEM* und der VAV den Mittelwert der Messwerte aller Probandinnen bzw. Probanden einzeln für jeden Parameter dar. Das heißt, dass die Summe der Messung zum Zeitpunkt 1 und Zeitpunkt 2 eines Probanden gebildet und anschließend durch 2 (Anzahl der Messungen) dividiert wird. Dies wird für alle drei Testpersonen durchgeführt. Abschließend werden die Mittelwerte aller Probandinnen und Probanden für einen Parameter summiert und durch 3 dividiert. Der relative *TEM* gibt die Abweichungen der Messungen zwischen Zeitpunkt 1 und Zeitpunkt 2 in Prozent an. Dadurch wird ermöglicht, die auftretenden Abweichungen mit den erlaubten Abweichungen (siehe Tabelle 8) zu vergleichen und als akzeptabel oder inakzeptabel einzustufen.

Die Berechnung der Intra-Tester Reliabilität ergibt, dass die Testerin, welche die Messungen für die Validierungsstudie durchführt, alle Parameter mit akzeptablen Abweichungen bis 2 % vermisst (siehe Tabelle 9). Die größte Abweichung wird beim Unterarmumfang (1,21 %) berechnet, dem folgt der Taillenumfang mit einer Abweichung von 1,06 %. Die restlichen Abweichungen liegen unter einem Prozent. Die Berechnung des relativen *TEM* ergibt beim Knieumfang 0,96 %, beim Hüftumfang 0,88 %, bei der Unterarmlänge 0,85 %, beim Handgelenkumfang 0,76 %, bei der Oberarmlänge 0,72 %, bei der Kniehöhe 0,40 %, beim Oberarmumfang 0,30 % und bei der Körperhöhe 0,19 %. Die geringste Abweichung weist der Unterschenkelumfang mit 0,12 % auf.

Tab. 9: Intra-Tester Reliabilität der Testerin 1

Parameter	TEM %	Klassifikation
Körperhöhe	0,19 %	akzeptabel
Taillenumfang	1,06 %	akzeptabel
Hüftumfang	0,88 %	akzeptabel
Oberarmumfang	0,30 %	akzeptabel
Unterarmumfang	1,21 %	akzeptabel
Handgelenkumfang	0,76 %	akzeptabel
Knieumfang	0,96 %	akzeptabel
Unterschenkelumfang	0,12 %	akzeptabel
Oberarmlänge	0,72 %	akzeptabel
Unterarmlänge	0,85 %	akzeptabel
Kniehöhe	0,40 %	akzeptabel

Die berechneten Ergebnisse der Intra-Tester Reliabilität ergeben, dass alle Abweichungen in der maximal erlaubten Norm von 2 % liegen. Daraus resultiert die Schlussfolgerung, dass die Testerin reproduzierbare Ergebnisse erzielt.

4.2 Inter-Tester Reliabilität

Bei der Berechnung der Inter-Tester Reliabilität werden jeweils zwei Tester miteinander verglichen. Es werden die Ergebnisse der Testerin 1, welche die Validierungsstudie durchführt, mit zwei anderen Testerinnen bzw. Testern verglichen und die Abweichungen berechnet. Die Berechnungen und Daten der Inter-Tester Reliabilität sind auf Grund der Übersichtlichkeit im ANHANG I angeführt. Auch bei der Inter-Tester Reliabilität finden absoluter und relativer *TEM* Anwendung:

$$\text{absoluter TEM} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_{i1} - M_{i2})^2}{2 * N}}$$

Hierbei stellt M_{i1} die Messung von einem Tester und M_{i2} die Messung von dem zweiten Tester für eine gemessene Person i sowie N (Anzahl der gemessenen Personen) dar. Nach Berechnung des absoluten *TEM* wird der relative *TEM* ermittelt um Prozentangaben der Abweichungen zu erhalten:

$$\text{relativer TEM} = \frac{TEM}{VAV} * 100$$

Dabei stellt *TEM* den absoluten *TEM* und *VAV* den *variable average value* dar. Dieser wird aus den Mittelwerten der Messungen von Tester 1 sowie Tester 2 bzw. 3 berechnet. Das bedeutet, dass alle Messungen von einem Tester für einen Parameter summiert und durch die Anzahl der Testpersonen dividiert und anschließend diese Mittelwerte von den zu vergleichenden Testern summiert und durch zwei dividiert werden (vgl. Perini et al., 2005, S. 87).

Die maximal erlaubte Abweichung der Inter-Tester Reliabilität liegt für Anthropometrie Anfänger bei 2,5 % (siehe Tabelle 8). Bei der Betrachtung der Testerin 1 und Testerin 2 wird ersichtlich, dass die Parameter Oberarmlänge (4,77 %) und Kniehöhe (3,71 %) inakzeptable Abweichungen liefern. Die restlichen Parameter liegen innerhalb der akzeptablen Abweichung von 2,5 % (siehe Tabelle 10). Die beste Reproduzierbarkeit erreicht die Körperhöhe mit einer Abweichung von 0,14 %, es folgen die Parameter Knieumfang (0,19 %), Oberarmumfang (0,33 %), Hüftumfang (0,35 %), Unterschenkelumfang (0,82 %), Taillenumfang (0,99 %), Handgelenkumfang (1,07 %), Unterarmumfang (1,94 %) und Unterarmlänge (2,32 %).

Tab. 10: Inter-Tester Reliabilität Testerin 1 und Testerin 2

Parameter	TEM %	Klassifikation
Körperhöhe	0,14 %	akzeptabel
Taillenumfang	0,99 %	akzeptabel
Hüftumfang	0,35 %	akzeptabel
Oberarmumfang	0,33 %	akzeptabel
Unterarmumfang	1,94 %	akzeptabel
Handgelenkumfang	1,07 %	akzeptabel
Knieumfang	0,19 %	akzeptabel
Unterschenkelumfang	0,82 %	akzeptabel
Oberarmlänge	4,77 %	inakzeptabel
Unterarmlänge	2,32 %	akzeptabel
Kniehöhe	3,71 %	inakzeptabel

Die Berechnung des relativen *TEM* der Testerin 1 und des Testers 3 ergibt, dass die Parameter Kniehöhe (3,48 %) und Knieumfang (6,44 %) außerhalb der Norm von 2,5 % liegen. Die geringste Abweichung erreicht der Parameter Körperhöhe (0,16 %). Diesem folgen die Parameter Unterschenkelumfang (0,23 %), Hüftumfang (0,59 %), Oberarmumfang (0,75 %), Taillenumfang (1,30 %), Unterarmumfang (1,30 %), Handgelenkumfang (1,68 %), Oberarmlänge (1,72 %) und Unterarmlänge (1,77 %). Eine tabellarische Aufzeichnung dieser Werte wird in Tabelle 11 dargestellt.

Tab. 11: Inter-Tester Reliabilität Testerin 1 und Tester 3

Parameter	TEM %	Klassifikation
Körperhöhe	0,16 %	akzeptabel
Taillenumfang	1,30 %	akzeptabel
Hüftumfang	0,59 %	akzeptabel
Oberarmumfang	0,75 %	akzeptabel
Unterarmumfang	1,30 %	akzeptabel
Handgelenkumfang	1,68 %	akzeptabel
Knieumfang	6,44 %	inakzeptabel
Unterschenkelumfang	0,23 %	akzeptabel
Oberarmlänge	1,72 %	akzeptabel
Unterarmlänge	1,77 %	akzeptabel
Kniehöhe	3,48 %	inakzeptabel

4.3 Zusammenfassung Reliabilität

Die Testerin, welche die Messungen für die vorliegende Studie durchführt, konnte reliable Ergebnisse erzielen. Die Abweichungen zwischen Messzeitpunkt 1 und Messzeitpunkt 2 liegen bei allen Parametern innerhalb der vorgegebenen Norm. Die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse ist für die nachfolgende Studie von großer Bedeutung, da diese ein Qualitätskriterium darstellt (vgl. Onyango et al., 2006, S. 38). Auch Robinette und Daanen (2006, S. 262) sprechen sich dafür aus, dass gut geschulte Tester bzw. Testerinnen die Messfehler reduzieren.

Die Inter-Tester-Reliabilitäts-Berechnungen haben aufgezeigt, dass Unterschiede zwischen den Testerinnen bzw. Testern auftreten. Diese Unterschiede sind darauf

zurückzuführen, dass Testerin 2 und Tester 3 weniger gut geschulte und trainierte Anthropometristen sind als Testerin 1. Da in diesem Fall die Testungen für die Studie lediglich von Testerin 1 durchgeführt werden, spielen diese Abweichungen für die Validierungsstudie eine unbedeutende Rolle. Würden jedoch Testerin 2 und Tester 3 Messungen im Zuge der Studie durchführen, müsste, wie bei Testerin 1, eine umfassende Einarbeitung in die Thematik der manuellen Messmethoden sowie praktische Übungseinheiten durchgeführt werden.

5 STATISTISCHE DATENANALYSE VALIDIERUNG

Die automatisch generierten Werte wurden mit Hilfe der *Software ScanWorX* der Firma *Human Solution* berechnet, und in das Microsoft Programm Excel übertragen sowie übersichtlich dargestellt. Die statistischen Datenauswertungen werden mit dem Statistikprogramm SPSS 17.0 berechnet und analysiert. In Anlehnung an Mckinnon und Istook (2002, S. 109), Wang et al. (2006, S. 812) sowie Lu und Wang (2010, S. 2049) wird für die Auswertungen der vorliegenden Studie das Signifikanzniveau $p < 0,05$ gewählt.

Die Auswertung der Daten gesamt (siehe Kapitel 5.1.1) sowie der geschlechterspezifischen Parameter (siehe Kapitel 5.1.3) erfolgt mittels T-Tests für abhängige Stichproben. Die Auswertung der Unterschiede der Messwertdifferenzen zwischen manuellen und mittels Scanner erhobenen Daten in den *BMI* Gruppen erfolgt mittels Varianzanalyse (siehe Kapitel 5.2.1).

Insgesamt werden Werte von 61 Testpersonen, 30 Männern und 31 Frauen, (Alter: $33,18 \pm 15,35$ Jahre, *BMI*: $24,0 \pm 4,1$ kg/m²) analysiert. Um einen ersten Überblick der Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Studie zu erhalten, werden die Häufigkeiten nach *BMI* dargestellt (siehe Abbildung 32). Die Einteilung der Probandinnen und Probanden in *BMI*-Gruppen erfolgt nach der Klassifizierung der *WHO* (siehe Kapitel 2.2.1, Tabelle 1). Insgesamt werden 39 der 61 Probandinnen und Probanden der Gruppe Normalgewicht zugeteilt. 15 Personen gelten lt. *WHO* als übergewichtig und 7 Personen werden als adipös Grad I klassifiziert.

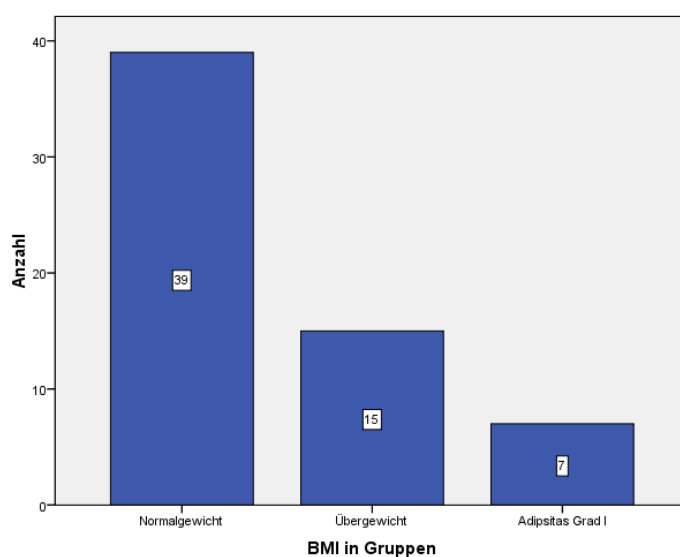


Abb. 32: Häufigkeiten nach *BMI* gesamt.

Betrachtet man die Anzahl der Studienteilnehmerinnen und Studienteilnehmer nach Geschlecht, wird in Abbildung 33 ersichtlich, dass mehr als die Hälfte der Frauen (23) und Männer (16) normalgewichtig sind. Verhältnismäßig mehr Männer (10 Probanden) als Frauen (5 Probandinnen) weisen Übergewicht auf. Diese Tendenz ist auch in der Gruppe Adipositas Grad I erkennbar, welcher 4 Männer und 3 Frauen zugeordnet sind.

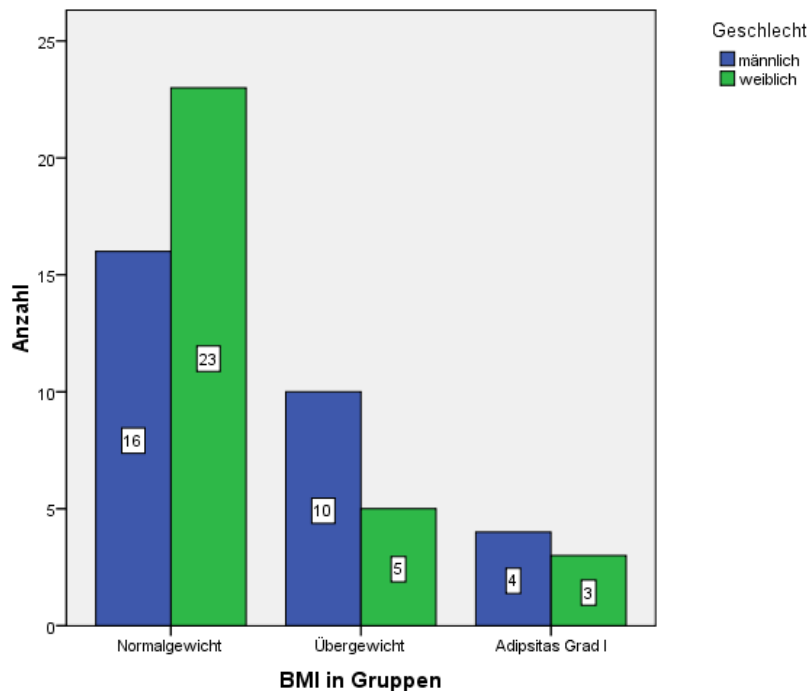


Abb. 33: Häufigkeiten nach BMI und Geschlecht.

Einen ersten Überblick hinsichtlich der Übereinstimmung beider Messmethoden gibt ein Bland-Altman-Diagramm. Dieses Diagramm stellt die Mittelwerte, ermittelt aus den manuellen und automatisch generierten Daten, den Differenzen, zwischen manuell und automatisch generiert, gegenüber. Der Grad der Übereinstimmung wird durch die Berechnung der Mittleren Differenz ($\bar{d}$) und der Standardabweichung der Differenzen (s) dargestellt. Es wird erwartet, dass die meisten Differenzen zwischen $+1,96s$ und $-1,96s$ liegen. Für die vorliegenden Daten bedeutet dies:

$$\bar{d} - 2s = 0,03 - (1,96 * 1,75) = -3,4 \text{ cm}$$

$$\bar{d} + 2s = 0,03 + (1,96 * 1,75) = +3,46 \text{ cm}$$

Das heißt, dass die Differenzen der beiden Messmethoden zwischen $+3,46 \text{ cm}$ und $-3,40 \text{ cm}$ liegen. Abbildung 34 lässt erkennen, dass die Schwankungsbreite groß ist und nicht von einer Übereinstimmung gesprochen werden kann (vgl. Bland & Altman, 2010, S. 933).

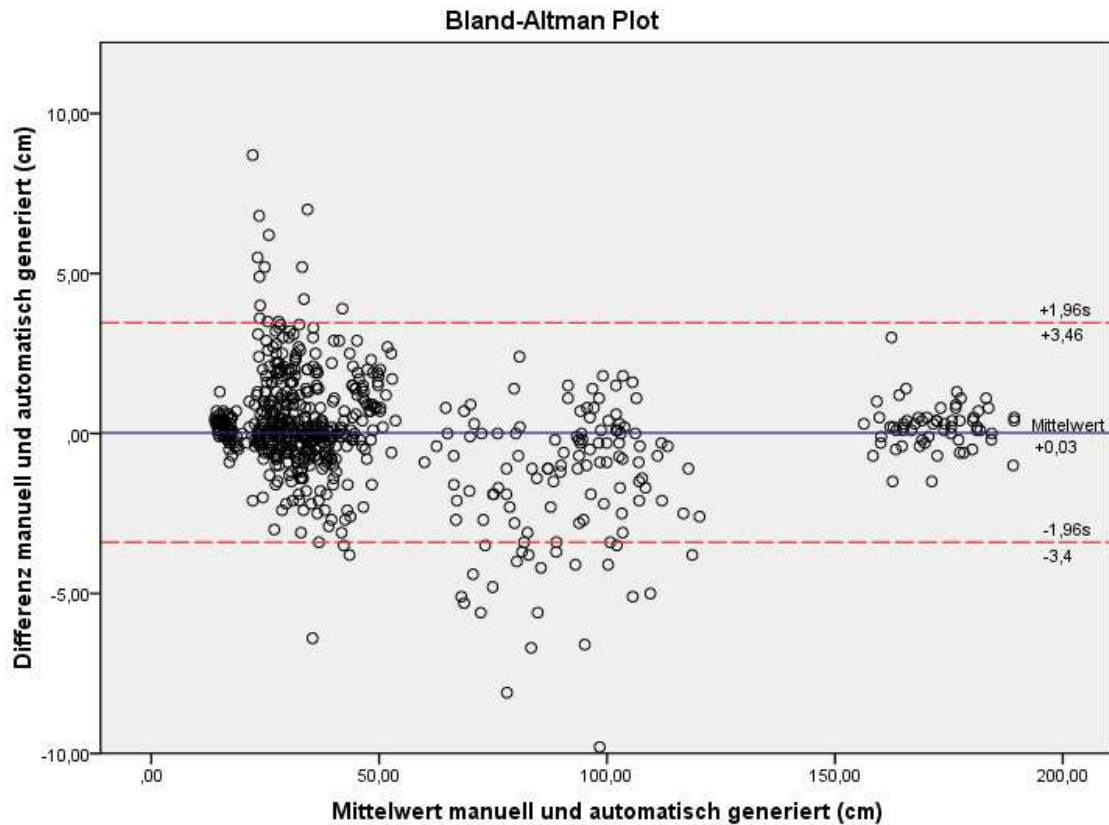


Abb. 34: Bland-Altman Plot: manuell vs. automatisch generiert.

Bland und Altman (2010, S. 933) deklarieren, dass die Limits der Übereinstimmung lediglich Schätzungen darstellen. Um zu sehen wie präzise die Schätzungen sind, werden Standardfehler sowie Konfidenzintervalle berechnet. Für das 95%-Konfidenzintervall existieren 670 Freiheitsgrade und eine T-Verteilung $t=1,65$. Die Formeln für die Berechnung des 95%-Konfidenzintervall für die *bias*¹⁰ lauten:

$$\bar{d} - (t * SE_d) \text{ und } \bar{d} + (t * SE_d)$$

$$SE_d = \sqrt{s^2/n}$$

Für die vorliegenden Daten werden nun folgende Berechnungen durchgeführt:

$$0,03 - (1,65 * 0,068) = -0,082 \text{ cm} \text{ sowie } 0,03 + (1,65 * 0,068) = 0,142 \text{ cm}$$

Daraus ergibt sich für die Differenzen (manuellen - automatisch generierten Daten) ein 95%-Konfidenzintervall von -0,082 cm bis 0,142 cm.

¹⁰ bias = manuelle Messung – automatisch generierte Messung

In weiterer Folge werden die Konfidenzintervalle für $\bar{d} - 2s$ und $\bar{d} + 2s$ berechnet, da diese die Grenzen der Übereinstimmung aufzeigen (vgl. Bland-Altman, 2010, S. 933).

$$(\bar{d} - 2s) - (t * SE_{d \pm 2s}) \text{ und } (\bar{d} + 2s) + (t * SE_{d \pm 2s})$$

$$SE_{d \pm 2s} = \sqrt{\left(\frac{3s^2}{n}\right)}$$

Für das untere Limit der Übereinstimmung bedeutet dies:

$$-3,40 - (1,65 * 0,12) = -3,60 \text{ cm sowie } -3,4 + (1,65 * 0,12) = -3,20 \text{ cm}$$

Für das obere Limit der Übereinstimmung berechnet sich daraus:

$$3,46 - (1,65 * 0,12) = 3,26 \text{ cm sowie } 3,46 + (1,65 * 0,12) = 3,66 \text{ cm}$$

Für das obere Limit der Übereinstimmung lautet das 95%-Konfidenzintervall 3,26 cm bis 3,66 cm und für das untere Limit der Übereinstimmung -3,60 cm bis -3,20cm.

Diese genauere Betrachtung lässt erkennen, dass die Konfidenzintervalle des oberen und unteren Limits der Übereinstimmung nahe beieinander liegen und die Variation der Differenzen gering ausfällt. Die Gesamtauswertung nach Bland-Altman zeigt auf, dass Diskrepanzen existieren, jedoch eine hohe Korrelation ($r=0,999$; $p=0,000$) zwischen den beiden Messmethoden vorhanden ist.

In weiterer Folge werden die Variablen in Körperhöhe, Umfangs- und Längenmaße eingeteilt und mittels Bland-Altman Verfahren dargestellt.

In Abbildung 35 wird ersichtlich, dass die Differenzen der manuellen sowie der automatisch generierten Messmethode des Parameters Körperhöhe zwischen +1,58 cm und -1,16 cm liegen. Dies deutet darauf hin, dass keine Übereinstimmung vorliegt.

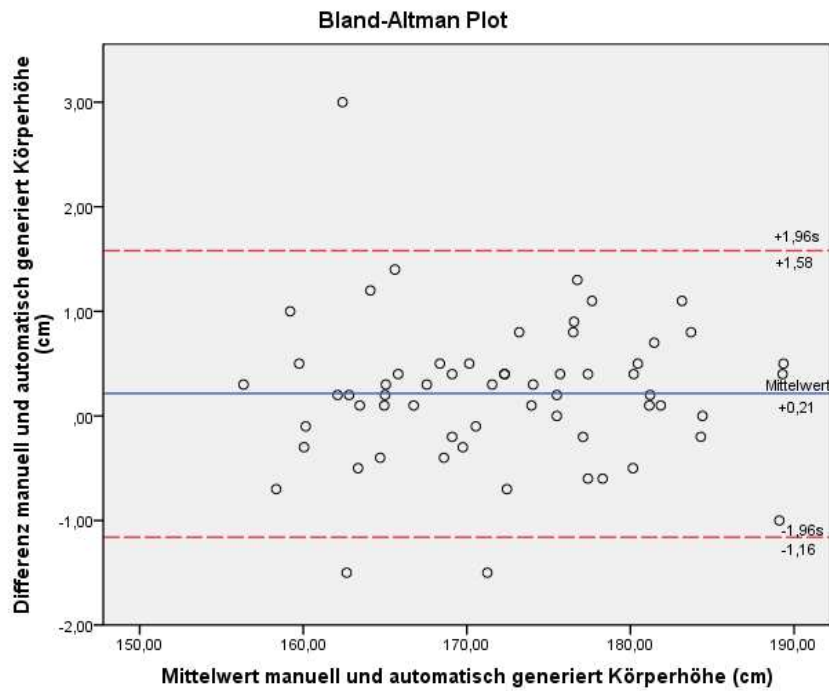


Abb. 35: Bland-Altman Plot: manuell vs. automatisch generiert Körperhöhe.

Betrachtet man das Bland Altman Diagramm der Umfangsmaße, (Abbildung 36) wird ebenfalls eine hohe Schwankungsbreite ersichtlich. Die Differenzen der beiden Messmethoden liegen zwischen 2,92 cm und -3,70 cm.

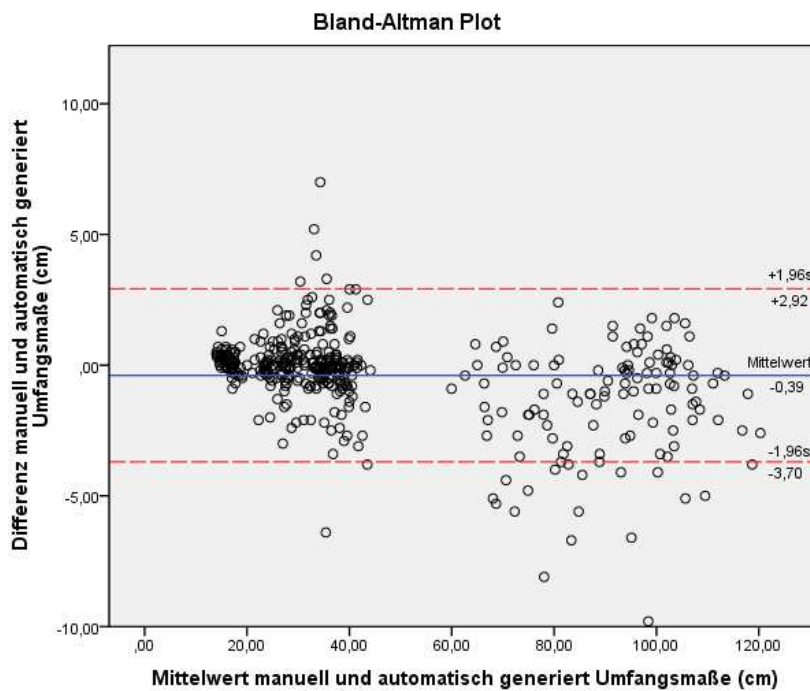


Abb. 36: Bland-Altman Plot: manuell vs. automatisch generiert Umfangsmaße.

Abbildung 37 zeigt ein Bland-Altman Diagramm der Längenmaße. Auch hier wird ersichtlich, dass die Schwankungsbreite hoch ist. Die Differenzen der automatisch generierten Daten und den manuell erhobenen Werten liegen zwischen 4,42 cm und 2,52 cm.

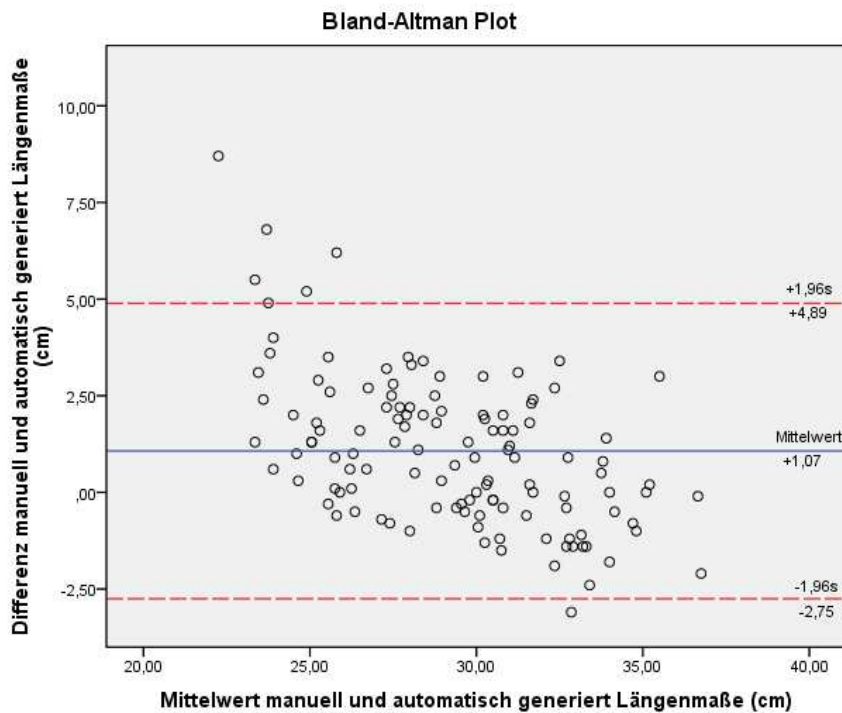


Abb. 37: Bland-Altman Plot: manuell vs. automatisch generiert Längenmaße.

Diese bildliche Darstellung der Differenzen der Höhen- Umfangs- und Längenmaße lässt erkennen, dass Diskrepanzen zwischen den beiden Messmethoden vorhanden sind. Die folgenden Unterkapitel (5.1 bis 5.3) geben nun Aufschluss, welche Variablen sich voneinander unterscheiden.

5.1 T-Test für abhängige Stichproben

Statistische Tests werden verwendet, um Annahmen zu verifizieren oder falsifizieren. Diese Annahmen werden in der Praxis Hypothesen genannt und in Nullhypothese H_0 und Alternativhypothese H_1 unterschieden (vgl. Duller, 2008, S. 231). „Beide Hypothesen beinhalten Behauptungen über die Grundgesamtheit, wobei die beiden Hypothesen einander ausschließen und ergänzen“ (Duller, 2008, S. 231).

Im folgenden Kapitel werden die Daten mittels T-Test für abhängige Stichproben analysiert und dargestellt. Die dazu formulierte Hypothese (siehe Kapitel 1.1) wird auch Unterschiedshypothese genannt, da die Existenz der Unterschiede zwischen manuell erhobenen und automatisch generierten Körperparametern überprüft wird. Der T-Test für gepaarte Stichproben bringt folgende Voraussetzungen mit sich (vgl. Bortz & Schuster, 2010, S. 125f):

- zwei abhängige metrische Variablen
- Normalverteilung der beiden abhängigen Variablen, wenn $n < 30$
- abhängige Messungen

Die vorliegenden Daten erfüllen diese Voraussetzungen und eine Berechnung mittels T-Test für abhängige Stichproben ist zulässig.

Zur Interpretation der signifikanten Ergebnisse werden die Mittelwerte und die Effektstärke g sowie die berechneten Variationskoeffizienten herangezogen. Die Effektgröße gibt an, wie stark der Effekt der Unterschiede von zwei Messmethoden ist und wird für abhängige Stichproben folgendermaßen berechnet (vgl. Bortz, 2005, S. 145; zit. n. Dieckmann, 2011, S. 265ff):

$$g = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{s_1^2 + s_2^2 - 2 * r * s_1 * s_2}}$$

Hierbei stellt $\bar{x}_1$ den Mittelwert der manuellen Vermessung sowie $\bar{x}_2$ den Mittelwert der Vermessung mittels Scanner, s_1 die Standardabweichung des Mittelwerts manuell sowie s_2 die Standardabweichung des Mittelwerts des Scanners und r die Korrelation von manuell und scan dar.

Die Interpretation der berechneten Effektgröße g wird in Anlehnung an die Klassifizierung nach Bortz durchgeführt, welche in Tabelle 12 dargestellt wird (2006, S. 606; zit. n. Dieckmann, 2011, S. 266).

Tab. 12: Klassifizierung Effektgröße g

g-Wert	Effekt
$\geq \pm 0,20$	kleiner Effekt
$\geq \pm 0,50$	mittlerer Effekt
$\geq \pm 0,80$	starker Effekt

Quelle: mod. n. Dieckmann (2011, S. 266)

5.1.1 Auswertung gesamt

Dieses Unterkapitel beschäftigt sich mit der Gesamtauswertung der erhobenen Daten. Die SPSS-Tabellen der statistischen Datenanalyse sind im Fließtext nicht eingebunden, sondern sind im ANHANG II zu finden. Zur besseren Übersicht werden die Mittelwerte $\pm$ Standardabweichung (s), die Differenzen der Mittelwerte ($\bar{x}$) $\pm$ Standardabweichung (s), der p-Wert, der Variationskoeffizient (CV) sowie bei signifikanten Ergebnissen die Effektgröße g in den Tabellen (13 bis 15) dargestellt.

Die Signifikanzüberprüfung der Variablen Körperhöhe ergibt, dass die Mittelwerte signifikante ($p=0,020$) Unterschiede aufweisen. Der Mittelwert der manuellen Vermessung beträgt $172,3 \pm 8,4$ cm und der Mittelwert der automatisch generierten Vermessung $172,0 \pm 8,4$ cm. Diese Unterschiede sind nach Interpretation des g-Wertes (0,32) als klein einzustufen. Betrachtet man den Variationskoeffizienten der beiden Messmethoden, wird ersichtlich, dass die Werte innerhalb einer Methode gleich stark variieren ($CV = 0,05$).

Tab. 13: Statistische Kennzahlen Körperhöhe

Variable	$\bar{x}$ manuell $\pm$ s (cm)	CV manuell	$\bar{x}$ 3D Scan $\pm$ s (cm)	CV scan	Differenz $\pm$ s (cm)	p-Wert	Effekt g
Körperhöhe	$172,3 \pm 8,4$	0,05	$172,0 \pm 8,4$	0,05	$0,2 \pm 0,7$	0,020	0,32

Zwischen manuell erhobenem und gescanntem Taillenumfang existiert ein signifikanter ($p=0,000$) Unterschied. Die manuell erhobenen Taillenumfänge ($\bar{x} = 80,5$ cm) sind signifikant niedriger als die automatisch generierten Taillenumfänge ($\bar{x} = 82,9$ cm). Der Effekt ist mit $g = -1,02$ als stark einzustufen. Des Weiteren variieren die automatisch generierten Messungen der beiden Messmethoden gleich stark ($CV = 0,17$).

Bei Betrachtung der Variablen Hüftumfang wird ersichtlich, dass ein signifikanter Unterschied zwischen Hüftumfang_manuell und Hüftumfang_scan ($p=0,002$) existiert. Die manuell erhobenen Mittelwerte ($\bar{x} = 99,6$ cm) sind signifikant geringer als die mittels Scanner ermittelten Werte ($\bar{x} = 100,1$ cm). Der Effekt dieses Unterschiedes ist mit einem g -Wert von $-0,41$ als klein einzustufen. Die Mittelwerte der beiden Methoden variieren gleich stark ($CV = 0,07$).

Die Variablen Oberarmumfang_manuell und Oberarmumfang_scan unterscheiden sich signifikant voneinander ($p=0,000$). Der Mittelwert der manuell gemessenen Oberarmumfänge ist höher ($\bar{x} = 30,3$ cm) als der der automatisch generierten Oberarmumfänge ($\bar{x} = 29,3$ cm). Die Effektgröße $g = 0,88$ lässt darauf schließen, dass es sich um einen mittleren bis starken Effekt handelt. Der Variationskoeffizient verdeutlicht, dass die manuellen Werte ($CV = 0,13$) stärker variieren als die Werte des Scanners ($CV = 0,11$).

Die Signifikanzprüfung der Variablen Unterarmumfang_manuell vs. Unterarmumfang_scan ergibt einen p -Wert von $0,006$, dies bedeutet, dass sich diese beiden Variablen signifikant voneinander unterscheiden. Die manuell erhobenen Werte sind signifikant kleiner ($\bar{x} = 25,7$ cm) als die automatisch generierten Werte ($\bar{x} = 26,0$ cm), wobei es sich dabei um einen kleinen Effekt ($g = -0,37$) handelt. Der Variationskoeffizient gibt an, dass die Unterarmumfänge der manuellen Methode ($CV = 0,10$) weniger stark variieren als die der automatischen Ermittlung ($CV = 0,11$).

Die Variablen Handgelenkumfang_manuell und Handgelenkumfang_scan unterscheiden sich signifikant ($p=0,007$) voneinander. Der Mittelwert des automatisch generierten Handgelenkumfanges ($\bar{x} = 16,5$ cm) ist signifikant kleiner als der Mittelwert des manuell erhobenen Handgelenkumfanges ($\bar{x} = 16,3$ cm). Die Effektgröße $g = 0,37$ bedeutet, dass es sich hierbei um einen kleinen Effekt handelt. Bei Beachtung der Variationskoeffizienten gelangt man zu dem Schluss, dass die manuell gemessenen Werte stärker variieren ($CV = 0,08$) als die automatisch generierten Werte ($CV = 0,07$).

Es existieren signifikante Unterschiede zwischen Knieumfang_manuell sowie Knieumfang_scan ($p=0,035$). Der Mittelwert des Knieumfang_manuell ($\bar{x} = 37,1$ cm) ist signifikant kleiner als der der Variable Knieumfang_scan ($\bar{x} = 37,6$ cm), wobei die

Effektstärke $g = -0,27$ aussagt, dass der Effekt als gering anzusehen ist. Die Werte streuen bei den manuell erhobenen Daten ($CV = 0,08$) geringer als bei den automatisch generierten Daten ($CV = 0,09$).

Zwischen Unterschenkelumfang_manuell und Unterschenkelumfang_scan existiert ein signifikanter Unterschied ($p=0,006$). Der Mittelwert der manuellen Messung ($\bar{x} = 36,8$ cm) ist signifikant kleiner als der Mittelwert der automatisch generierten Messung ($\bar{x} = 37,0$ cm). Die Effektgröße $g = -0,37$ stellt einen kleinen Effekt dar. Die Werte der beiden Messmethoden variieren gleich stark ($CV = 0,07$).

Tab. 14: Statistische Kennzahlen Umfangsmaße

Variable	$\bar{x}$ manuell $\pm$ s (cm)	CV manuell	$\bar{x}$ 3D Scan $\pm$ s (cm)	CV scan	Differenz $\pm$ s (cm)	p-Wert	Effekt g
Taillenumfang	80,5 $\pm$ 13,9	0,17	82,9 $\pm$ 14,4	0,17	-2,4 $\pm$ 2,4	0,000	-1,02
Hüftumfang	99,6 $\pm$ 6,7	0,07	100,1 $\pm$ 6,9	0,07	-0,6 $\pm$ 1,4	0,002	-0,41
Oberarmumfang	30,3 $\pm$ 3,9	0,13	29,3 $\pm$ 3,3	0,11	1,0 $\pm$ 1,4	0,000	0,88
Unterarmumfang	25,7 $\pm$ 2,5	0,10	26,0 $\pm$ 2,8	0,11	-0,3 $\pm$ 0,9	0,006	-0,37
Handgelenkumfang	16,5 $\pm$ 1,3	0,08	16,3 $\pm$ 1,4	0,09	0,1 $\pm$ 0,4	0,007	0,37
Knieumfang	37,1 $\pm$ 3,14	0,08	37,6 $\pm$ 3,2	0,09	-0,5 $\pm$ 1,8	0,035	-0,27
Unterschenkelumfang	36,8 $\pm$ 2,7	0,07	37,0 $\pm$ 2,7	0,07	-0,1 $\pm$ 0,3	0,006	-0,37

Die Signifikanzprüfung der Variablen Oberarmlänge ergibt, dass zwischen manueller und gescannter Oberarmlänge kein signifikanter Unterschied existiert ($p=0,192$). Die Mittelwerte unterscheiden sich nicht voneinander.

Die Variablen Unterarmlänge_manuell vs. Unterarmlänge_scan weisen hingegen einen signifikanten ($p=0,007$) Unterschied auf. Der Mittelwert der manuell erhobenen Unterarmlänge ist deutlich höher ($\bar{x} = 27,4$) als der Mittelwert der Unterarmlänge_scan ($\bar{x} = 25,5$). Die Effektgröße $g = 0,95$ gibt einen starken Effekt an und die Variationskoeffizienten lassen erkennen, dass die automatisch generierten Werte ($CV = 0,10$) deutlich stärker streuen als die manuell erhobenen Daten ($CV = 0,06$).

Zwischen manuell erhobener und mittels Scanner ermittelter Kniehöhe existieren signifikante Unterschiede ($p=0,000$). Die manuell erhobenen Kniehöhen sind signifikant

höher ($\bar{x} = 47,4$ cm) als die automatisch generierten ($\bar{x} 46,6$ cm). Der Effekt dieses Unterschiedes wird mit einem g-Wert von 0,53 als mittel interpretiert. Die manuell erhobenen Werte variieren etwas stärker als die mittels Scanner ermittelten Daten.

Tab. 15: Statistische Kennzahlen Längenmaße

Variable	$\bar{x}$ manuell $\pm$ s (cm)	CV manuell	$\bar{x}$ 3D Scan $\pm$ s (cm)	CV scan	Differenz $\pm$ s (cm)	p-Wert	Effekt g
Oberarmlänge	32,1 $\pm$ 1,8	0,06	31,8 $\pm$ 2,2	0,07	0,3 $\pm$ 1,5	0,192	
Unterarmlänge	27,4 $\pm$ 1,8	0,06	25,5 $\pm$ 2,6	0,10	1,9 $\pm$ 2,0	0,007	0,95
Kniehöhe	47,4 $\pm$ 3,22	0,07	46,6 $\pm$ 2,9	0,06	0,7 $\pm$ 1,4	0,000	0,53

5.1.2 Zusammenfassung der Auswertung gesamt

Die statistische Datenanalyse gesamt verdeutlicht, dass signifikante Unterschiede bei zehn von elf erhobenen Parametern existieren. Lediglich der Parameter Unterarmlänge weist keine signifikanten Unterschiede auf. Betrachtet man den g-Effekt der signifikanten Variablen, wird ersichtlich, wie stark dieser Unterschied ist. Taillenumfang, Oberarmumfang und Unterarmlänge weisen einen starken Effekt, Kniehöhe einen mittleren und die Parameter Körperhöhe, Hüftumfang, Unterarmumfang, Handgelenkumfang, Knieumfang sowie Unterschenkelumfang einen geringen Effekt auf. Um bessere Aussagen hinsichtlich der Unterschiede treffen zu können, ist es notwendig, die Differenz der beiden Mittelwerte zu beachten. Setzt man diese Differenz in Prozent zu den Ergebnissen der Referenzmethode, den manuell erhobenen Werten, wird ersichtlich, dass diese Unterschiede sehr gering sind. Eine negative Differenz bringt einen größeren Mittelwert und eine positive Differenz einen kleineren Mittelwert der Scanmethode zum Ausdruck. Tabelle 16 gibt einen Überblick der Differenzen zwischen manuellen und gescannten Daten. Die Körperhöhe und die Längenmaße werden in dieser Studie vom Scanner geringer berechnet als manuell vermessen. Die gescannte Körperhöhe ist um 0,12 %, die gescannte Kniehöhe um 1,5 % und die gescannte Unterarmlänge um 6,89 % geringer als die manuell erhobenen dazugehörigen Messwerte. Bei Betrachtung der Umfangswerte wird ersichtlich, dass die Ergebnisse des Scanners meistens höher liegen als die dazugehörigen manuell vermessenen Parameter. Der automatisch generierte Taillenumfang ist um 2,98 %, der automatisch generierte Hüftumfang um 0,58 %, der automatisch generierte Unterarmumfang um 1,25 %, der automatisch generierte

Knieumfang um 1,32 % und der automatisch generierte Unterschenkelumfang um 0,33 % höher als ihre manuell erhobenen Gegenstücke. Lediglich der automatisch generierte Oberarmumfang (3,33 %) und der Handgelenkumfang (0,85 %) sind geringer als die manuellen Variablen.

Die Variablen Taillenumfang, Oberarmumfang und Unterarmlänge weisen die größten Differenzen der Mittelwerte auf. Mögliche Ursachen werden in Kapitel 5.3 näher erläutert.

Tab. 16: Differenzen der Mittelwerte manuell und scan

Variable	$\bar{x}$ manuell (cm)	$\bar{x}$ scan (cm)	Differenz $\bar{x}$ man - $\bar{x}$ scan (cm)	Differenz in % zu manuell
Körperhöhe	172,3	172,0	0,2	0,12
Taillenumfang	80,5	82,9	-2,4	-2,98
Hüftumfang	99,6	100,1	-0,6	-0,58
Oberarmumfang	30,3	29,3	1,0	3,33
Unterarmumfang	25,7	26,0	-0,3	-1,25
Handgelenkumfang	16,5	16,3	0,1	0,85
Knieumfang	37,1	37,6	-0,5	-1,32
Unterschenkelumfang	36,8	37,0	-0,1	-0,33
Unterarmlänge	27,4	25,5	1,9	6,89
Kniehöhe	47,4	46,6	0,7	1,50

5.1.3 Auswertung der geschlechterspezifischen Parameter

Legt man das Augenmerk auf den Körperbau, wird ersichtlich, dass geschlechterspezifische Unterschiede auftreten. Frauen sind durchschnittlich kleiner und leichter als Männer, weisen einen schmälere Schultergürtel und einen breiteren Beckengürtel sowie einen geringeren Muskelanteil und einen höheren Fettanteil auf (vgl. de Marées, 2003, S. 522). Die erhobenen Variablen Hüft- und Taillenumfang sind Parameter mit geschlechtsspezifischer Ausprägung und werden getrennt nach Frauen (n=31) und Männern (n=30) ausgewertet. Die SPSS-Tabellen der statistischen Datenanalyse sind im Fließtext nicht eingebunden, sondern sind im ANHANG II zu finden. Zur besseren Übersicht werden die Mittelwerte $\pm$ Standardabweichung (s), die Differenzen der Mittelwerte $\pm$ Standardabweichung, der p-Wert, der Variationskoeffizient (CV) sowie bei signifikanten Ergebnissen die Effektgröße g in den Tabellen (17 und 18) dargestellt.

Auf Grund der getrennten Auswertung nach dem Geschlecht wird die Bonferroni-Korrektur des Signifikanzniveaus durchgeführt, um einer Alpha-Fehler Kumulierung entgegen zu wirken. Dabei wird hierfür das gewählte Signifikanzniveau $p=0,05$ durch die Anzahl der Tests, in diesem Fall zwei, dividiert (vgl. Field, 2005, S. 339). Das Signifikanzniveau, korrigiert nach Bonferroni, wird deshalb für die folgenden Auswertungen auf $p<0,025$ festgelegt.

5.1.3.1 Frauen

Zwischen manuell erhobenem und gescanntem Taillenumfang existiert ein signifikanter ($p=0,000$) Unterschied. Die manuell erhobenen Taillenumfänge ($\bar{x} = 74,9$) sind signifikant niedriger als die automatisch generierten Taillenumfänge ($\bar{x} = 77,4$). Der Effekt ist mit $g = -0,89$ als stark einzustufen. Des Weiteren variieren die automatisch generierten Messungen etwas stärker ($CV = 0,17$) als die manuellen Messwerte ($CV = 0,16$).

Bei Betrachtung der Variablen Hüftumfang wird ersichtlich, dass kein signifikanter Unterschied zwischen Hüftumfang_manuell und Hüftumfang_scan ($p=0,037$) existiert.

Tab. 17: Statistische Kennzahlen Umfangsmaße Frauen

Variable	$\bar{x}$ manuell $\pm$ s (cm)	CV manuell	$\bar{x}$ 3D Scan $\pm$ s (cm)	CV scan	Differenz $\pm$ s (cm)	p- Wert	Effekt g
Taillenumfang	74,9 $\pm$ 12,0	0,16	77,4 $\pm$ 13,1	0,17	-2,5 $\pm$ 2,9	0,000	-0,89
Hüftumfang	98,6 $\pm$ 7,9	0,08	99,2 $\pm$ 7,9	0,08	-0,6 $\pm$ 1,4	0,037	

5.1.3.2 Männer

Bei Betrachtung der Variablen Taillenumfang wird ersichtlich, dass sich diese signifikant ($p=0,000$) voneinander unterscheiden. Der Mittelwert der Variable Taillenumfang_manuell ($\bar{x} = 86,3$) ist signifikant geringer als der Mittelwert der Variable Taillenumfang_scan ($\bar{x} = 88,6$). Der Effekt wird mit $g = -1,19$ als starker Effekt interpretiert. Der Variationskoeffizient verdeutlicht, dass die manuellen ($CV = 0,16$) etwas stärker variieren als die automatisch generierten Werte ($CV = 0,15$).

Die Signifikanzüberprüfung der Variablen Hüftumfang_manuell vs. Hüftumfang_scan ergibt, dass kein signifikanter ($p=0,032$) Unterschied zwischen diesen beiden Variablen vorhanden ist.

Tab. 18: Statistische Kennzahlen Umfangsmaße Männer

Variable	$\bar{x}$ manuell $\pm$ s (cm)	CV manuell	$\bar{x}$ 3D Scan $\pm$ s (cm)	CV scan	Differenz $\pm$ s (cm)	p-Wert	Effekt g
Taillenumfang	86,3 $\pm$ 13,40	0,16	88,6 $\pm$ 13,7	0,15	-2,3 $\pm$ 2,0	0,000	-1,19
Hüftumfang	100,6 $\pm$ 5,0	0,05	101,2 $\pm$ 5,5	0,05	-0,6 $\pm$ 1,4	0,032	

5.1.4 Zusammenfassung der geschlechterspezifischen Parameter

Die geschlechterspezifische Auswertung ergibt, dass bei Frauen und Männern die Variable Taillenumfang signifikante und die Variable Hüftumfang keine signifikanten Unterschiede aufweist. Eine nähere Betrachtung lässt erkennen, dass die Unterschiede sowohl bei Frauen als auch bei Männern die gleiche Tendenz aufweisen (siehe Tabelle 19). Die Variable Taillenumfang_scan ist bei Frauen und bei Männern höher als manuell erhoben. Die manuell erhobenen Werte sind bei Frauen um 3,33% und bei Männern um 2,67% niedriger als die automatisch generierten Daten. Der berechnete g-Wert zeigt, dass sowohl bei Frauen als auch bei Männern der Effekt stark ist. Der mittels 3D Ganzkörperscanner erhobene Hüftumfang weist keine signifikanten Unterschiede auf. Es gilt anzumerken, dass eine negative Differenz auf höhere automatisch generierte Daten hinweist.

Tab. 19: Differenzen der Mittelwerte manuell und scan nach Geschlecht

Variable	Frauen				Männer			
	$\bar{x}$ manuell (cm)	$\bar{x}$ scan (cm)	Differenz (cm)	Differenz in % zu manuell	$\bar{x}$ manuell (cm)	$\bar{x}$ scan (cm)	Differenz (cm)	Differenz in % zu manuell
Taillenumfang	74,9	77,4	-2,5	-3,3	86,3	88,6	-2,3	-2,67

5.2 Varianzanalyse und Kruskal-Wallis-Test

Zum Vergleich verschiedener Gruppen kommt die Varianzanalyse (ANOVA¹¹) zum Einsatz. In der vorliegenden Arbeit wird überprüft, inwiefern Unterschiede in der Differenz zwischen Messwert manuell und scan hinsichtlich der BMI Gruppen existieren. Die Voraussetzungen für dieses Verfahren lauten (vgl. Raithel, 2008, S. 149):

- metrische, normalverteilte abhängige Variable
- nominal-/ordinalskalierter Faktor (unabhängige Variable)
- Varianzhomogenität der Stichproben (Levene Test)

Werden die Voraussetzungen der einfaktoriellen Varianzanalyse verletzt, kommt der Kruskal-Wallis Test zum Einsatz. Ist dieser signifikant, wird als Post-hoc Test der Mann-Whitney U-Test gerechnet, um interpretieren zu können, welche Gruppen sich voneinander unterscheiden. Es gilt jedoch zu beachten, dass man auf Grund des mehrfachen Testens beim U-Test einer Alpha-Fehler Kumulierung entgegen wirken muss. Dies wird durch die Bonferroni Korrektur erreicht. Dabei wird das gewählte Signifikanzniveau $p=0,05$ durch die Anzahl der Tests, in diesem Fall 3, dividiert (vgl. Field, 2005, S. 339). Für den Post-hoc-Test wird deshalb ein Signifikanzniveau von $p=0,017$ gewählt. Im nachfolgenden Unterkapitel (5.2.1) werden die Daten hinsichtlich der *BMI*-Gruppen Normalgewicht ($n=39$), Übergewicht ($n=15$) sowie Adipositas Grad I ($n=7$), verglichen.

5.2.1 Auswertung nach *BMI*

Bevor die ANOVA berechnet wird, werden die Voraussetzungen für dieses Verfahren überprüft. Die Normalverteilung wird mittels Kolmogorov-Smirnov-Test (K-S-Test) berechnet sowie mittels Histogramm dargestellt (vgl. Raithel, 2008, S. 122). Die Tabellen und Normalverteilungshistogramme sind im ANHANG III dargestellt.

Die Normalverteilungsüberprüfung mittels K-S-Test ergibt bei Betrachtung des p-Wertes, dass die Variablen Körperhöhe ($p=0,016$), Oberarmlänge ($p=0,032$), Oberarmumfang ($p=0,020$), Unterarmumfang ($p=0,018$), Handgelenkumfang ($p=0,023$), Knieumfang ($p=0,000$) sowie Unterschenkelumfang ($p=0,045$) der *BMI* Gruppe Normalgewicht nicht normalverteilt sind. Eine genauere Betrachtung der Histogramme lässt jedoch erkennen, dass keine wesentliche Abweichung von einer Normalverteilung vorherrscht. Bei der Variable Unterschenkelumfang ($p=0,005$) der *BMI*-Gruppe Übergewicht deutet sowohl der

¹¹ ANOVA = analysis of variance = Varianzanalyse

K-S-Test als auch das Histogramm darauf hin, dass diese Variable nicht normalverteilt ist. Ebenso wird dies bei der Variable Handgelenkumfang ($p=0,021$) der *BMI*-Gruppe Adipositas Grad I beobachtet. Die Voraussetzung der Normalverteilung ist somit bei den Variablen Unterschenkelumfang sowie Handgelenkumfang nicht gegeben, was dazu führt, dass das Ersatzverfahren, der Kruskal-Wallis-Test, Anwendung findet.

Die Variablen Körperhöhe ($p=0,808$), Taillenumfang ($p=0,712$), Hüftumfang ($p=0,759$), Oberarmlänge ($p=0,191$) sowie Knieumfang ($p=0,115$) weisen die vorausgesetzte Varianzhomogenität auf ($p>0,05$). Die Varianzanalyse ist nicht signifikant, was bedeutet, dass bei diesen Variablen keine Unterschiede der Differenzen zwischen den *BMI*-Gruppen existieren. Die Variable Kniehöhe verletzt die Voraussetzung der Varianzhomogenität ($p=0,000$). Die Berechnung des Kruskal-Wallis-Test ergibt, dass keine signifikanten Unterschiede der Differenzen der Variable Kniehöhe zwischen den *BMI*-Gruppen vorherrschen ($p=0,920$). Der Kruskal-Wallis-Test wird ebenfalls für die Variable Unterschenkelumfang angewendet, da die Voraussetzung der Normalverteilung nicht gegeben ist. Der Kruskal-Wallis-Test ist nicht signifikant ($p=0,535$), was bedeutet, dass keine Unterschiede existieren. Tabelle 20 gibt einen Überblick der Variablen, welche keine signifikanten Unterschiede aufweisen.

Tab. 20: Nicht signifikante Parameter der Varianzanalyse und des Kruskal-Wallis-Tests

Variable	Levene-Test ($p=0,05$)	Varianzanalyse ($p=0,05$)	Kruskal-Wallis- Test ($p=0,05$)
Körperhöhe	0,808	0,167	
Taillenumfang	0,712	0,482	
Hüftumfang	0,759	0,084	
Oberarmlänge	0,191	0,449	
Knieumfang	0,115	0,410	
Kniehöhe	0,021		0,920
Unterschenkelumfang			0,535

Die Variable Oberarmumfang erfüllt die Voraussetzung der Varianzhomogenität nicht ($p=0,001$), wodurch der Kruskal-Wallis-Test als Ersatzverfahren Anwendung findet. Der Kruskal-Wallis-Test lässt erkennen, dass signifikante ($p=0,000$) Unterschiede zwischen den *BMI*-Gruppen existieren. Beim Mann-Whitney-U-Test, als Post-hoc Test gerechnet, ist ersichtlich, dass signifikante ($p=0,004$) Unterschiede zwischen den Gruppen

Normalgewicht und Übergewicht vorliegen. Die Differenzen sind in der Gruppe Normalgewicht signifikant niedriger (mittlerer Rang = 23,73) als in der Gruppe Übergewicht (mittlerer Rang = 37,33). Ebenfalls signifikante Unterschiede ($p=0,000$) sind zwischen den Normalgewichtigen und den Adipösen ersten Grades vorhanden. Die Differenzen der Gruppe Normalgewicht ist deutlich geringer (mittlerer Rang = 20,13) als die Differenzen der Gruppe Adipositas Grad I (mittlerer Rang = 42,29). Die Gruppen Übergewicht und Adipositas Grad I unterscheiden sich jedoch nicht signifikant voneinander ($p=0,096$).

Die Voraussetzung der Varianzhomogenität wird in der Variable Unterarmlänge verletzt ($p=0,001$), wodurch der Kruskal-Wallis-Test zum Einsatz kommt. Dieser lässt signifikante ($p=0,002$) Unterschiede in den Differenzen der Messmethoden erkennen. Die Berechnung des Mann-Whitney-U-Test zeigt auf, dass sich die Differenz der Unterarmlänge der Gruppen Normalgewicht und Übergewicht signifikant ($p=0,011$) voneinander unterscheiden. Die Differenzen sind in der Gruppe Normalgewicht geringer (mittlerer Rang = 24,13) als die der Gruppe Übergewicht (mittlerer Rang = 36,27). Die Gruppen Normalgewicht und Adipositas Grad I unterscheiden sich ebenfalls signifikant ($p=0,004$) voneinander. Die Differenzen der Gruppe Normalgewicht sind geringer (mittlerer Rang = 21,06) als die Differenzen der Gruppe Adipositas Grad I (mittlerer Rang = 37,07). Die Gruppen Übergewicht und Adipositas Grad I unterscheiden sich nicht signifikant voneinander ($p=0,217$).

Die einfaktorielle Varianzanalyse der Variable Differenz_Unterarmumfang erfüllt die Voraussetzung Varianzhomogenität ($p=0,108$). Die Variable Differenz_Unterarmumfang in den *BMI*-Gruppen unterscheidet sich signifikant, begründet durch die Varianzanalyse mit einem p -Wert von 0,043. Das partielle η^2 von 0,103 lässt erkennen, dass es sich um einen mittleren Effekt handelt. Der Post-Hoc-Test nach Tukey lässt eine genauere Beurteilung der Unterschiede zu. Die Gruppe Normalgewicht unterscheidet sich signifikant von der Gruppe Übergewicht ($p=0,034$). Der Mittelwert der Gruppe Normalgewicht ($\bar{x} = -0,146$) ist signifikant kleiner als der Mittelwert ($\bar{x} = -0,807$) der Gruppe Übergewicht. Die Gruppe Normalgewicht unterscheidet sich nicht von der Gruppe Adipositas I und die Gruppe Übergewicht unterscheidet sich nicht von der Gruppe Adipositas I.

Der Kruskal-Wallis-Test der Variable Differenz Handgelenkumfang zeigt auf, dass signifikante Unterschiede ($p=0,000$) zwischen den *BMI*-Gruppen existieren. Um auftretende Unterschiede genauer interpretieren zu können, bedarf es der Anwendung eines Post-Hoc-Tests, dem Mann-Whitney U-Test. Dieser zeigt, dass zwischen Normalgewichtigen und Übergewichtigen kein signifikanter Unterschied ($p=0,053$) der Differenz zwischen manuell erhobenem und automatisch generiertem Handgelenkumfang

existiert. Die Gruppen Normalgewicht und Adipositas Grad I unterscheiden sich jedoch signifikant ($p=0,000$) voneinander. Der mittlere Rang der Gruppe Normalgewicht beträgt 26,56 und verdeutlicht, dass die Differenzen deutlich höher sind als die Differenzwerte der Gruppe Adipositas Grad I (mittlerer Rang = 6,43). Die Gruppe Übergewicht und Adipositas Grad I weisen keinen signifikanten Unterschied ($p=0,018$) auf. Die p-Werte des Levene-Tests, der Varianzanalyse bzw. des Kruskal-Wallis-Tests sowie des Post-hoc Tests, Mann-Whitney-U-Test, sind in Tabelle 21 dargestellt.

Tab. 21: Signifikante Parameter der Varianzanalyse und des Kruskal-Wallis-Tests

Variable	Levene-Test ($p=0,05$)	Varianz-analyse ($p=0,05$)	Post hoc-Test Tukey ($p=0,05$)	Kruskal-Wallis-Test ($p=0,05$)	Post hoc-Test Mann Whitney U-Test ($p=0,017$)
Oberarmumfang	0,001			0,000	ÜG + NG = 0,004 NG + AD I = 0,000 ÜG + AD I = 0,096
Unterarmlänge	0,001			0,002	ÜG + NG = 0,011 NG + AD I = 0,004 ÜG + AD I = 0,217
Unterarmumfang	0,108	0,043	ÜG + NG = 0,034 NG + AD I = 0,931 ÜG + AD I = 0,356		
Handgelenkumfang	0,000			0,000	ÜG + NG = 0,053 NG + AD I = 0,000 ÜG + AD I = 0,018

5.2.2 Zusammenfassung der Auswertung nach BMI

Die Auswertung der Daten nach BMI lässt erkennen, dass die Parameter Oberarmumfang, Unterarmlänge, Unterarmumfang sowie Handgelenkumfang signifikante Unterschiede zwischen den BMI-Gruppen aufweisen. Die restlichen sieben erhobenen Parameter weisen keine signifikanten Unterschiede in den BMI-Gruppen auf.

Die Variablen Oberarmumfang und Unterarmlänge zeigen die gleiche Tendenz auf. Die Differenzen sind in der Gruppe Normalgewicht signifikant geringer als in den Gruppen Übergewicht und Adipositas Grad I. Die beiden Gruppen Adipositas Grad I und Übergewicht unterscheiden sich nicht signifikant voneinander. Daraus folgt der Schluss, dass die Genauigkeit der Messergebnisse der Variablen Oberarmumfang und Unterarmlänge vom BMI abhängig ist und bei adipösen sowie übergewichtigen Personen die Differenzen signifikant höher sind.

Die Variable Unterarmumfang weist lediglich zwischen Übergewichtigen und Normalgewichtigen signifikante Unterschiede auf. Zwischen Normalgewicht und Adipositas Grad I bzw. Übergewicht und Adipositas Grad I existieren keine signifikanten Unterschiede. Es kann somit nicht verallgemeinert werden, dass die Differenzen der Messwerte in den BMI-Gruppen Unterschiede aufweisen.

Ebenso gibt der *BMI* keinen Aufschluss über etwaige Messdifferenzen beim Parameter Handgelenkumfang. Zwar existieren zwischen den normalgewichtigen und adipösen Probandinnen und Probanden signifikante Unterschiede, jedoch konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen Übergewicht und Normalgewicht sowie Übergewicht und Adipositas Grad I dargelegt werden. Eine Aussage, dass mit zunehmendem *BMI* die Messdifferenzen höher werden, ist somit nur bei vereinzelt Parametern zulässig.

5.3 Auswertung der 3D Bildaufnahmen

Die statistische Auswertung lässt erkennen, dass Unterschiede zwischen manuell erhobenen und automatisch generierten Werten vorhanden sind. Die Differenzen zwischen manuellen und gescannten Daten variieren zwischen den erhobenen Körperparametern und weisen kein durchgängiges Muster auf. Um genaueren Aufschluss auftretender Unterschiede zu erhalten, werden die Daten visuell analysiert. Diese Analyse erfolgt mittels des Programms *ScanWorX* der Firma *Human Solutions*.

Die Körperhöhe mit einer Differenz von 0,12 % zeigt die geringste Abweichung zwischen den manuellen und gescannten Daten. In Abbildung 38 ist ersichtlich, dass diese Abweichungen durch nicht vorhandene Datenpunkte im Bereich des Vertex entstehen können.

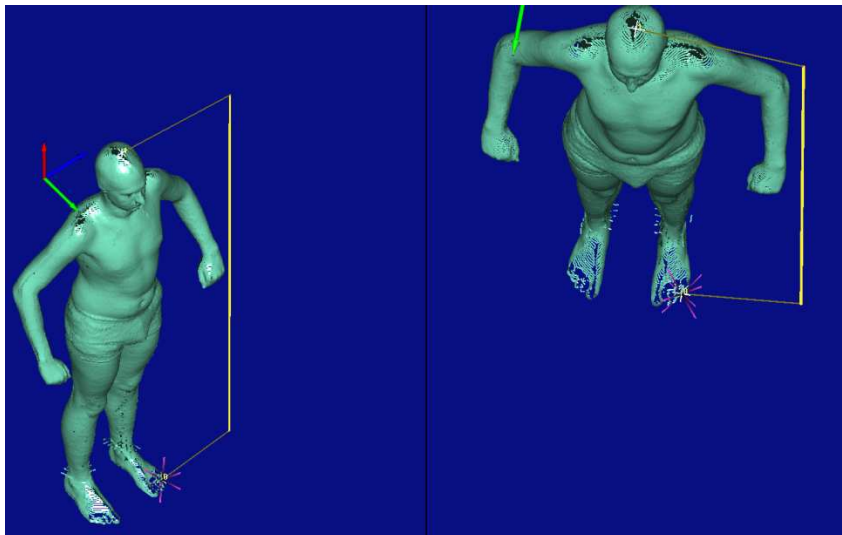


Abb. 38: Körperhöhe Proband Nr. 1 Normalgewicht (BMI 21,4).

Eine hohe, 3,33 prozentige Abweichung konnte bei dem Parameter Oberarmumfang beobachtet werden. Die Visualisierung des Oberarmumfanges zeigt auf, dass im Achselbereich Datenpunkte fehlen und dadurch der Oberarmumfang nicht korrekt berechnet werden kann. Abbildung 39 zeigt eine Probandin der Gruppe Adipositas I mit einem *BMI* von 32,8 und Abbildung 40 zeigt eine Probandin der Gruppe Normalgewicht mit einem *BMI* von 19,4.

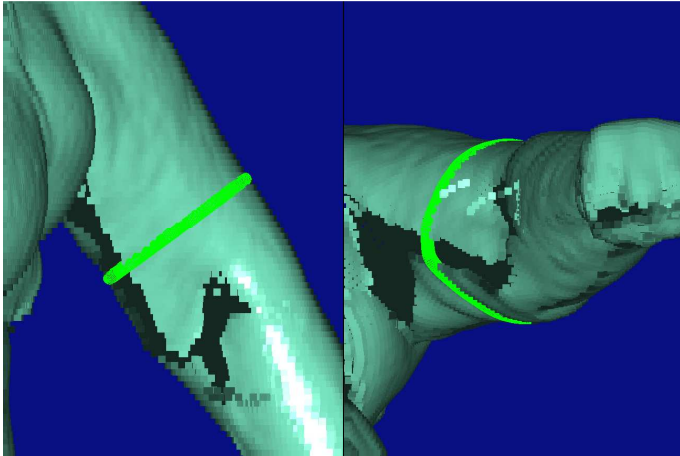


Abb. 39: Oberarmumfang Probandin Nr. 50 Adipositas Grad I.

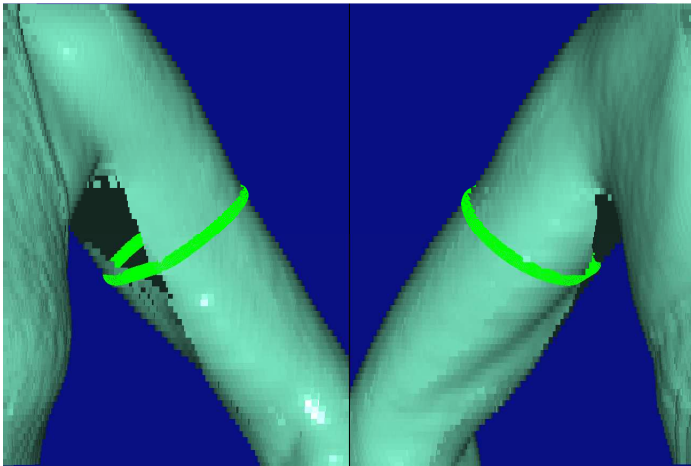


Abb. 40: Oberarmumfang Probandin Nr. 14 Normalgewicht.

Der Parameter Taillenumfang gehört ebenfalls zu den Variablen mit einer höheren prozentuellen Abweichung (-2,98 %) zwischen manuell erhobenen und automatisch generierten Daten. Die Verbildlichung der Messung stellt dar, dass das 3D Ganzkörperscansystem den Taillenumfang teilweise nicht an der richtigen Stelle misst. In Abbildung 41 ist ein Proband der Gruppe Adipositas Grad I (*BMI* 33,4) und in Abbildung 42 ein Proband der Gruppe Normalgewicht (*BMI* 22,4) dargestellt.

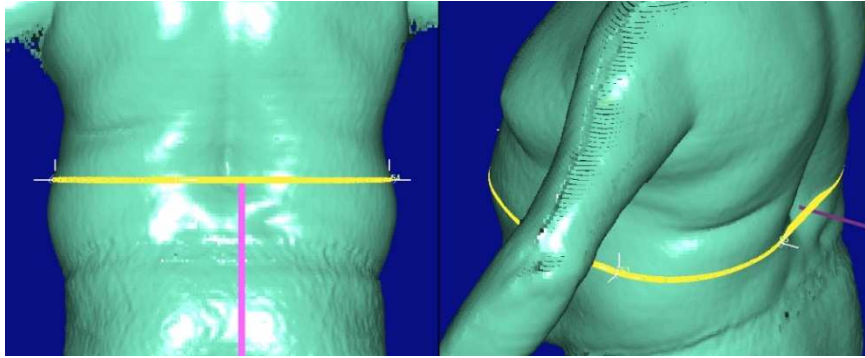


Abb. 41: Taillenumfang Proband Nr. 36 Adipositas Grad I.

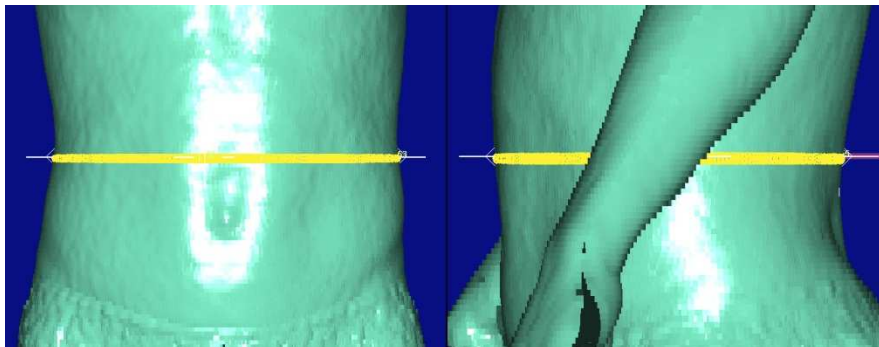


Abb. 42: Taillenumfang Proband Nr. 45 Normalgewicht.

Die Differenz zwischen manuellem und gescanntem Hüftumfang beträgt 0,58 %. Obwohl signifikante Unterschiede festgestellt wurden, ist diese Differenz sehr gering. Durch die Analyse des 3D Bildes kann ausgeschlossen werden, dass die Differenz auf fehlende Datenpunkte zurück zu führen ist. Die gelbe Linie visualisiert in Abbildung 43 und 44 die Messung des Hüftumfanges bei einer adipösen Probandin und einem normalgewichtigen Probanden.

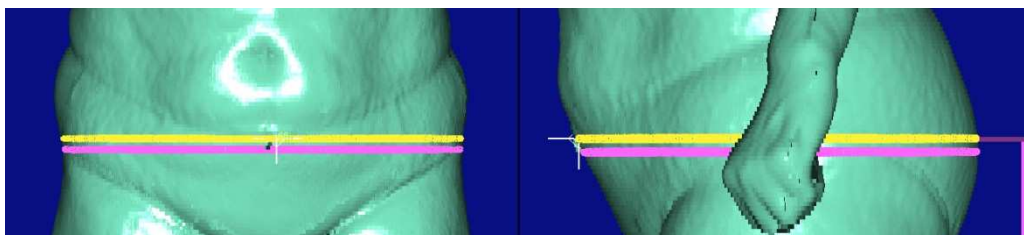


Abb. 43: Hüftumfang Probandin Nr. 50 Adipositas Grad I.

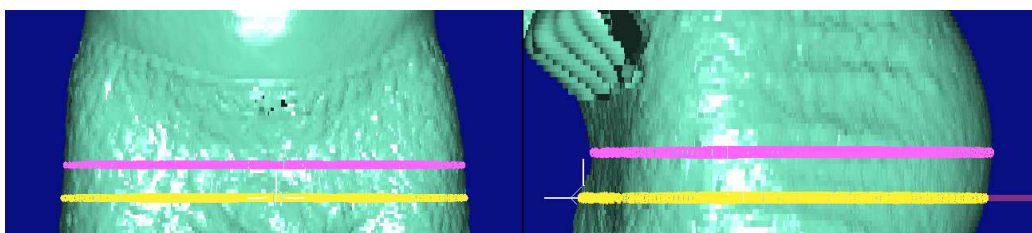


Abb. 44: Hüftumfang Proband Nr. 45 Normalgewicht.

Die Parameter Unterarmumfang manuell und scan unterscheiden sich um -1,25 % voneinander. Wie bei den meisten Umfangsmaßen sind die automatisch generierten Messungen größer als die manuell erhobenen Werte. Die Differenzen können nicht auf fehlende Datenpunkte oder inkorrekte Lokalisation des Messweges zurückgeführt werden. Abbildung 45 und Abbildung 46 zeigen die 3D Unterarmumfangsmessungen einer adipösen Probandin und eines normalgewichtigen Probanden.

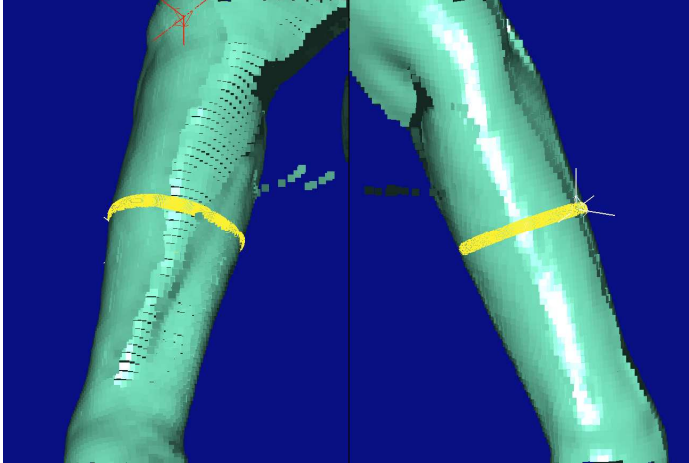


Abb. 45: Unterarmumfang Probandin Nr. 50 Adipositas Grad I.

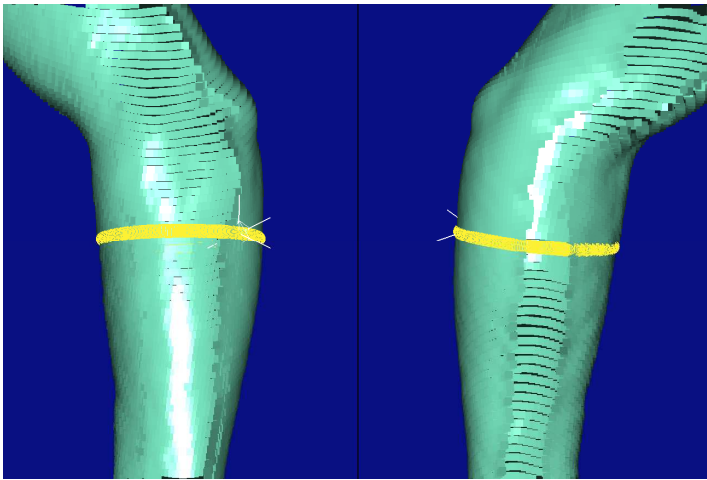


Abb. 46: Unterarmumfang Proband Nr. 45 Normalgewicht.

Die Differenz zwischen Handgelenkumfang manuell und scan beträgt 0,85 %, was auf einen höheren manuell gemessenen Umfang schließen lässt. Diese Tatsache ist auf einige fehlende Datenpunkte im Bereich des Processus styloideus radii zurückzuführen. Es gilt jedoch anzumerken, dass signifikante Unterschiede vorhanden sind, diese jedoch sehr gering ausfallen. Eine mögliche Ursache kann ein zu geringer Abstand zwischen Handgelenk und Hüfte sein. Dadurch kann eine korrekte Aufnahme der Daten verhindert

werden. Abbildung 47 zeigt eine Probandin mit einem *BMI* von 19,4 und Abbildung 48 eine Probandin mit einem *BMI* von 32,8.

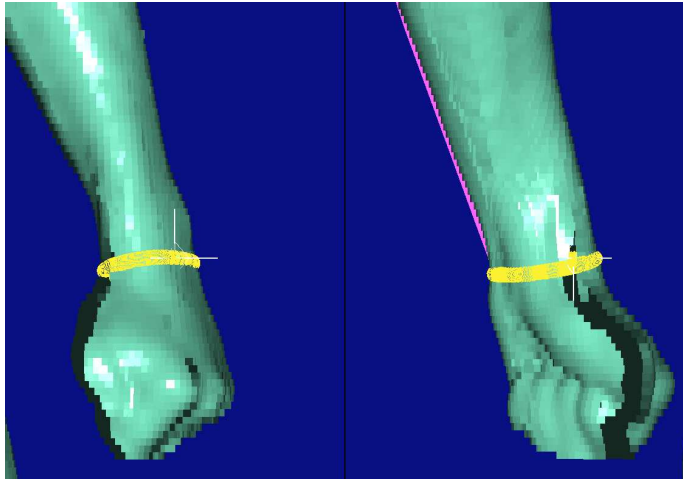


Abb. 47: Handgelenkumfang Probandin Nr. 14 Normalgewicht.

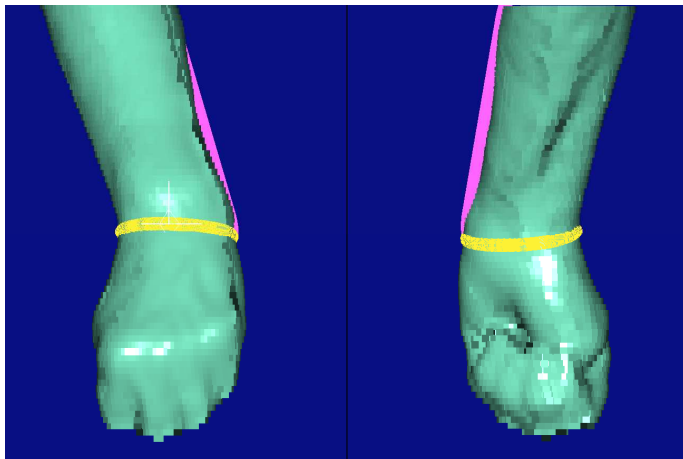


Abb. 48: Handgelenkumfang Probandin Nr. 50 Adipositas Grad I.

Die Tendenz eines höheren automatisch generierten Umfanges lässt auch der Parameter Knieumfang erkennen. Der manuell erhobene ist um 1,32 % kleiner als der gescannte Knieumfang. Eine mögliche Erklärung für diese Abweichung stellt die inkorrekte Lokalisation der Mitte der Patella dar. Abbildung 49 zeigt einen Probanden mit Normalgewicht (*BMI* 22,4) und Abbildung 50 eine Probandin der Gruppe Adipositas Grad I (*BMI* 32,8).

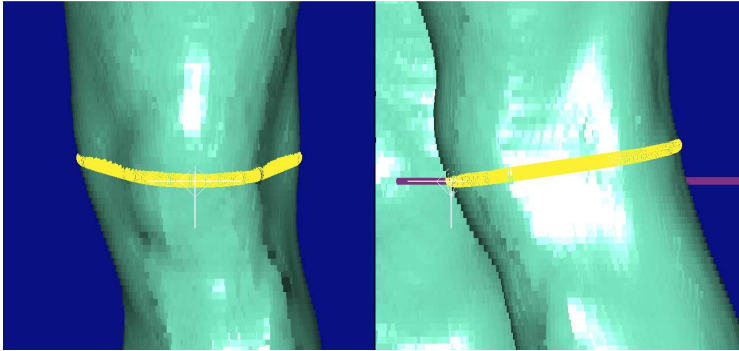


Abb. 49: Knieumfang Proband Nr. 45 Normalgewicht.

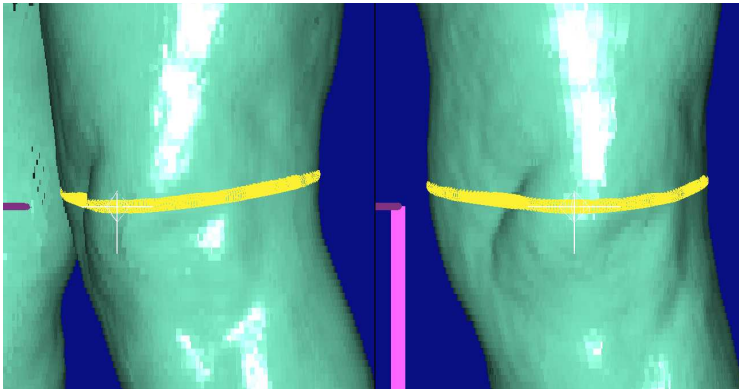


Abb. 50: Knieumfang Probandin Nr. 50 Adipositas Grad I.

Eine sehr geringe Differenz lassen die Variablen Unterschenkelumfang_manuell und Unterschenkelumfang_scan erkennen. Die gescannten Umfänge sind um 0,33 % größer als die manuell gemessenen Umfänge. In Abbildung 51 wird die 3D Messung des Unterschenkelumfanges eines normalgewichtigen Probanden abgebildet.

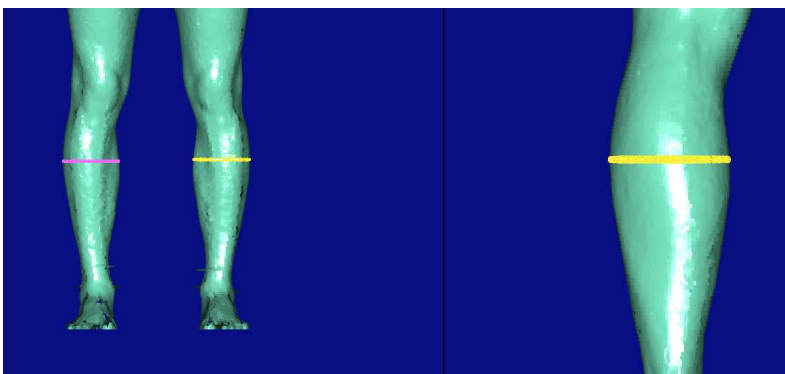


Abb. 51: Unterschenkelumfang Proband Nr. 45 Normalgewicht.

Die größte prozentuelle Abweichung (6,89 %) der automatisch generierten Werte von den manuell erhobenen Daten, lässt sich beim Parameter Unterarmlänge feststellen. Nach Betrachtung der 3D Aufnahme wurde ersichtlich, dass oftmals die anatomischen

Schlüsselpunkte vom Scanner nicht richtig lokalisiert (siehe Abbildung 52 und 53) werden konnten. In Abbildung 52 wird die Messung der Unterarmlänge eines Probanden mit einem *BMI* von 32,2 und in Abbildung 53 die Unterarmlänge einer Probandin mit einem *BMI* von 32,8 dargestellt. Abbildung 54 zeigt die Unterarmlänge eines Probanden mit einem *BMI* von 23,2.

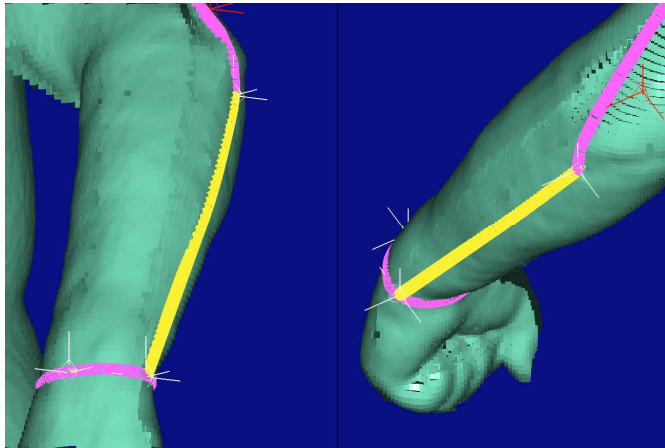


Abb. 52: Unterarmlänge Proband Nr. 27 Adipositas Grad I.

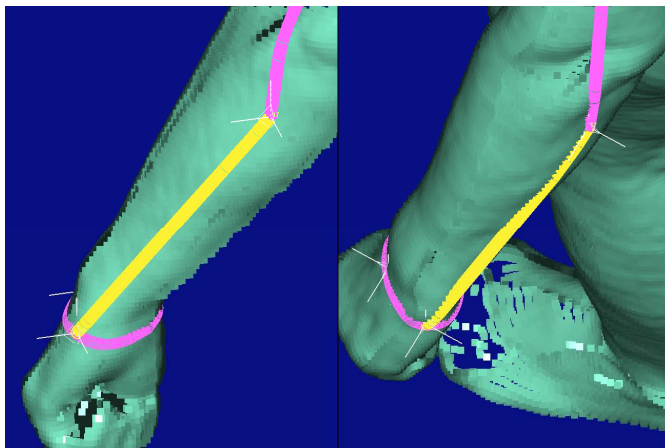


Abb. 53: Unterarmlänge Probandin Nr. 50 Adipositas Grad I.

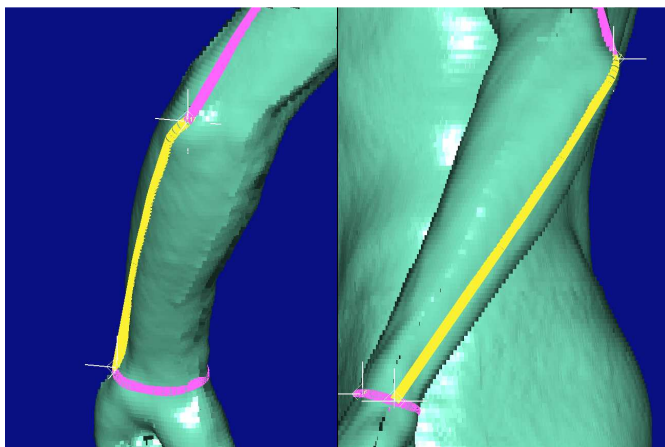


Abb. 54: Unterarmlänge Proband Nr. 42 Normalgewicht.

Die 1,5 % Abweichung der Kniehöhe_scan und Kniehöhe_manuell kann dadurch entstehen, dass die manuelle Kniehöhe am linken Bein gemessen wurde und der Scanner die Kniehöhe zwischen den Beinen misst. Dabei wird der Mittelpunkt der rechten und linken Patella lokalisiert, verbunden und im Anschluss daran bemessen. Etwaige Beinlängendifferenzen im Unterschenkel, können dadurch vom Scanner nicht eruiert werden, da keine isolierte Bemessung der einzelnen Kniehöhen stattfindet. Abbildung 55 zeigt die Kniehöhe eines gering übergewichtigen Probanden (BMI 25,6) und Abbildung 56 eines Probanden der Gruppe Adipositas Grad I (BMI 32,2).

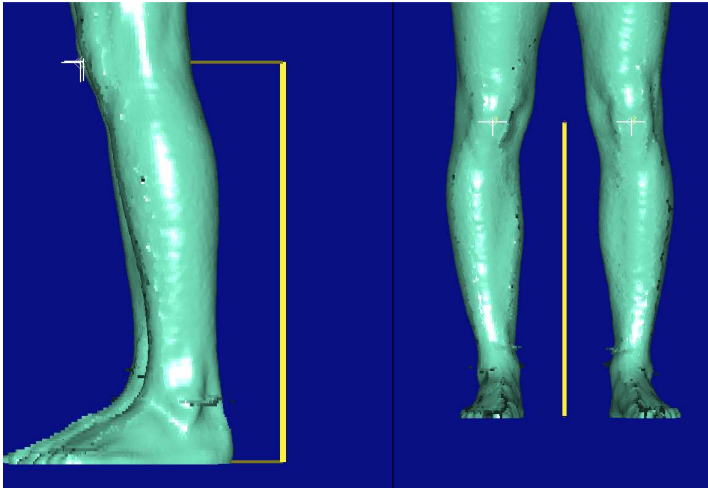


Abb. 55: Kniehöhe Proband Nr. 10 gering übergewichtig.

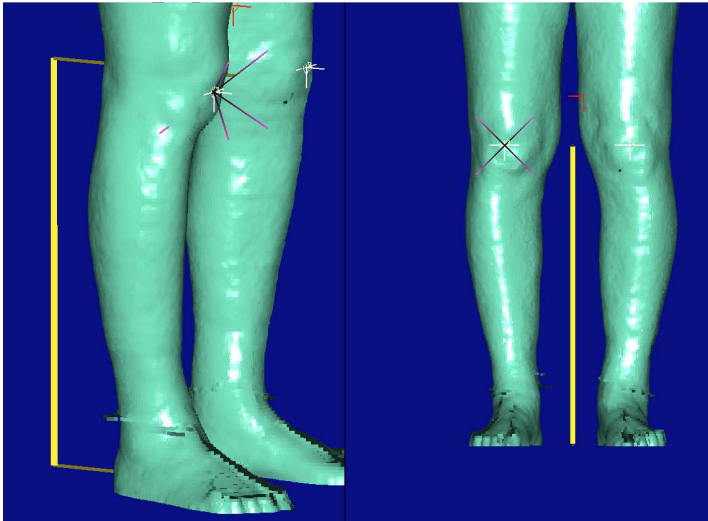


Abb. 56: Kniehöhe Proband Nr. 27 Adipositas Grad I.

5.3.1 Erklärungsversuche von Abweichungen in der 3D

Bilddatenanalyse

Die Auswertung der 3D Bildaufnahmen hat dazu beigetragen, auftretende Unterschiede zwischen den klassisch vermessenen und automatisch generierten Daten zu erklären. Besonders interessant ist die visuelle Betrachtung der Parameter mit einer höheren prozentuellen Differenz zwischen den manuellen und gescannten Werten, da diese auf fehlende Datenpunkte bzw. auf Probleme bei der Lokalisierung der anatomischen Schlüsselstellen sowie auf falsche Definition der Parameter im Scanner zurückzuführen sein könnte. Tabelle 22 gibt einen Überblick der Ergebnisse der Bilddatenanalyse.

Tab. 22: Zusammenfassung 3D Bilddatenanalyse

Variable	Differenz manuell-scan in % zu manuell	Ergebnis Bilddatenanalyse
Körperhöhe	0,12	Fehlende Datenpunkte im Vertex-Bereich
Taillenumfang	-2,98	Teilweise divergente Messung des Parameters. 2 Taillenumfänge im <i>ScanworX</i> vorhanden. Definition der beiden Parameter unklar.
Hüftumfang	-0,58	Visuelle Analyse lässt keine Erklärung der Unterschiede zu.
Oberarmumfang	3,33	Fehlende Datenpunkte auf Grund von Erfassungsschwierigkeiten der Kameras
Unterarmumfang	-1,25	Visuelle Analyse lässt keine Erklärung der Unterschiede zu.
Handgelenkumfang	0,85	Teilweise fehlende Datenpunkte der medialen ¹² Seite des Handgelenks
Knieumfang	-1,32	Teilweise inkorrekte Lokalisation der Patella
Unterschenkelumfang	-0,33	Visuelle Analyse lässt keine Erklärung der Unterschiede zu.
Unterarmlänge	6,89	Korrekte automatische Lokalisation der anatomischen Schlüsselstellen teilweise nicht gegeben.
Kniehöhe	1,50	Keine isolierte Messung der rechten bzw. linken Kniehöhe

¹² medial: in der Mitte liegend (vgl. Bauer, 2007, S. 490).

5.4 Interpretation der Ergebnisse

Die Gesamtauswertung ergibt, dass zehn von elf Parametern signifikante Unterschiede erkennen lassen, diese jedoch teilweise sehr gering sind. Durch Berechnung der Effektstärke konnte der Unterschied in drei Bereiche eingeteilt werden. Die Analyse zeigt bei sechs Variablen einen geringen, bei einer Variable einen mittleren und bei drei Variablen einen starken Effekt. Die Werte des Scanners tendieren, im Gegensatz zu manuellen Messwerten, bei Längenmaßen und der Körperhöhe zu Unterschätzung und bei Umfangsmaßen zu Überschätzung. In der vorliegenden Studie zeigen zwei Umfangsmaße, Oberarmumfang und Handgelenkumfang, die Tendenz der Überschätzung nicht auf. Durch die Bilddatenanalyse konnte aufgeklärt werden, dass fehlende Datenpunkte die Ursache sind. Das Scansystem hat Probleme, die Datenpunkte im Achselbereich aufzunehmen und bildlich darzustellen. Dieses Fehlen der Datenpunkte führt dazu, dass ein Teil des Oberarmumfanges regelrecht abgeschnitten und somit kleiner berechnet wird, als er tatsächlich ist. Bei Betrachtung der Auswertung nach *BMI* wird erkenntlich, dass je höher der *BMI*, desto höher die Differenzen zwischen manuell und scan sind und umso mehr Datenpunkte im Computersystem fehlen. Der Parameter Handgelenkumfang weist in einigen Fällen im Bereich des Processus styloideus radii fehlende Datenpunkte auf. Dies ist auf einen zu geringen Abstand zwischen Hüfte und Handgelenk zurückzuführen ist. Beim Handgelenkumfang gilt es jedoch anzumerken, dass es sich hierbei um einen geringen Effekt handelt und dies nur in wenigen Fällen beobachtet werden konnte. Die Auswertung nach *BMI* lässt erkennen, dass der Parameter Handgelenkumfang lediglich zwischen den Gruppen Normalgewicht und Adipositas Grad I signifikante Unterschiede aufweist. Die Parameter Taillenumfang, Hüftumfang, Unterarmumfang, Knieumfang und Unterschenkelumfang wurden vom Scanner überschätzt. Besonders der Taillenumfang zeigt hohe Differenzen auf. Die Bilddatenanalyse konnte hier Aufklärung bringen. Im Scansystem werden zwei Taillenumfänge generiert. Zum einen der *High waist girth* und zum anderen der *Waist girth*. Der *Waist girth* wird im *iSize* Dokument der Firma *Human solutions* (2010) als der horizontale natürliche Taillenumfang zwischen dem höchsten Teil der Hüftknochen und der letzten Rippe beschrieben. Die Analyse hat jedoch verdeutlicht, dass das Scansystem diese Messung in einigen Fällen als *high waist girth* anzeigt und der *waist girth* kurz oberhalb der Hüfte vermessen wird. Die Differenz ist somit darauf zurückzuführen, dass der Scanner in manchen Fällen die anatomischen Schlüsselpunkte inkorrekt lokalisiert und dadurch Abweichungen entstehen. Der Vergleich der *BMI* Gruppen der Differenzen des Taillenumfanges weist keine signifikanten Unterschiede auf. Die geringen Differenzen von Hüftumfang, Unterarmumfang, Knieumfang und Unterschenkelumfang können auf die

Tension des Maßbandes sowie die Schwierigkeit der horizontalen Vermessung zurückgeführt werden. Die Bilddatenanalyse hat keine fehlenden Datenpunkte dargelegt und die Differenzen von Hüftumfang, Unterschenkelumfang sowie Unterarmumfang können durch diese Analyse nicht erklärt werden. Die Differenzen des Knieumfanges können teilweise auf eine inkorrekte Lokalisation der Patella zurückgeführt werden. Die Auswertung nach *BMI* ergibt keine signifikanten Unterschiede der Variablen Hüftumfang, Knieumfang und Unterschenkelumfang. Die Variable Unterarmumfang zeigt lediglich zwischen normalgewichtigen und übergewichtigen Probandinnen und Probanden signifikante Unterschiede auf. Die anderen Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant voneinander. Die Körperhöhe wird in dieser Studie vom Scanner unterschätzt. Dieser Effekt fällt sehr gering aus, was auch in der Differenz von lediglich 0,12 % ersichtlich wird. Die Visualisierung der 3D Werte lässt erkennen, dass dies auf fehlende Datenpunkte im Bereich des Vertex zurückzuführen ist. Der Auslöser kann ein geringer Lichteinfall von oben sein. Der Scanner befindet sich in dem abgedunkelten Teil des Therapieraumes, jedoch scheint eine geringe Menge Licht durch eine Deckenluke in den Raum. Dieser Lichteinfall kann zukünftig, durch Abdeckung des Scanners von oben, minimiert werden. Die Kniehöhe wird ebenfalls vom 3D Ganzkörperscanner kleiner berechnet als manuell vermessen. Dabei handelt es sich um einen mittleren Effekt. Die Betrachtung der Bilddaten hat ergeben, dass die Kniehöhe vom Scanner zwischen den beiden Kniescheiben gemessen wird und nicht isoliert für linkes und rechtes Knie. Liegen nun Beinlängendifferenzen im Bereich des Unterschenkels vor, kann dies vom Scanner nicht dargestellt werden bzw. wird dadurch das Ergebnis der Kniehöhe beeinflusst und somit die Differenzen erklärt. Die Differenzen der beiden Parameter Körperhöhe und Kniehöhe weisen keine signifikanten Unterschiede in den *BMI*-Gruppen auf. Die größte Differenz und ein starker Effekt liegen beim Parameter Unterarmlänge vor. Dies kann dadurch begründet werden, dass der 3D Scanner Probleme bei der Lokalisierung der anatomischen Schlüsselpunkte, wie dem Olecranon, hat. Besonders bei Probandinnen und Probanden mit höherem *BMI*, konnte diese Tendenz beobachtet werden. Die Analyse nach *BMI* hat ergeben, dass sich Normalgewichtige signifikant von Übergewichtigen sowie Adipösen Grad I unterscheiden und die Differenzen bei Normalgewichtigen geringer sind, als in den beiden anderen Gruppen. Dies kann auf einen höheren Körperfettanteil und die einhergehende schlechtere Möglichkeit der Lokalisation von Knochenpunkten zurückgeführt werden. Da Taillenumfang und Hüftumfang geschlechterspezifische Merkmale aufweisen, wurden diese getrennt nach Geschlecht ausgewertet. Diese Auswertung lässt erkennen, dass sowohl bei Männern als auch Frauen signifikante Unterschiede zwischen Taillenumfang manuell sowie scan existieren und die Differenzen annähernd gleich groß sind. Die Variable Hüftumfang hat bei Frauen und Männern keine

signifikanten Unterschiede aufgezeigt. Die Tatsache, dass die Auswertung sowohl bei Frauen als auch bei Männern ähnlich ausfällt, lässt darauf schließen, dass das Scansystem unabhängig vom Geschlecht ähnliche Ergebnisse erzielt.

6 DISKUSSION UND AUSBLICK

Die vorliegende Arbeit legt dar, dass signifikante Unterschiede zwischen manuell erhobenen und automatisch generierten Messdaten existieren. Die H_0 Hypothese kann somit falsifiziert werden. Wie auch in anderen Studien (vgl. Wang, et al., 2006, S. 815) gilt anzumerken, dass diese Unterschiede größtenteils sehr gering ausfallen. Die Unterschiede der Parameter, welche größere prozentuelle Abweichungen ergeben, unterliegen Messfehlern, wie fehlenden Datenpunkten im Scansystem, fehlerhafte Lokalisation anatomischer Marker-Punkte sowie inkorrekte Beschreibung der Parameter durch das *iSize* Dokument der Firma *Human solutions*. Es darf auch nicht vernachlässigt werden, dass die Referenzmethode keine Goldstandard Methode darstellt, sich diese jedoch als einzige Möglichkeit zur Überprüfung der Messergebnisse eines 3D-Scanners erweist (McKinnon & Istook, 2002, S. 109). Deswegen können kleine Differenzen zwischen manuellen und gescannten Daten auch auf die Tension des Maßbandes, Fehler bei der horizontalen Vermessung, den Kompetenzen der Anthropometristin bzw. des Anthropometristen u. dgl. zurückgeführt werden (vgl. Wang et al., 2006, S. 815; Han, Nam & Choi, 2010, S. 534). Die Tatsache, dass die klassische Anthropometrie keine Goldstandard Methode darstellt und um die Qualität der manuell erhobenen Messwerte zu erhöhen, wurden Reliabilitätsmessungen durchgeführt. Die Testerin, welche die Messungen für die vorliegende Studie durchgeführt hat, hat reliable Ergebnisse im vorgegeben Bereich $\pm 2\%$ erreicht.

Vier der elf erhobenen Parameter weisen Unterschiede hinsichtlich der *BMI*-Gruppen auf. Han, Nam und Choi (2010, S. 538) haben ebenfalls beobachtet, dass mit zunehmendem *BMI* die Differenzen zwischen den Messmethoden steigen und führen dies auf den höheren Körperfettanteil und der einhergehenden schlechteren Möglichkeit der Lokalisation von Knochenpunkten zurück. Da in der vorliegenden Arbeit lediglich vier Variablen signifikante Unterschiede aufzeigen, kann nicht generalisiert werden, dass mit zunehmendem Körpergewicht das Scansystem ungenauere Ergebnisse liefert.

Der Vergleich der manuellen und automatisch generierten Daten und die damit einhergehenden Auswertungen legen Möglichkeiten dar, wie Scanergebnisse für zukünftige Studien verbessert werden können. In Tabelle 23 werden Möglichkeiten abgeleitet, welche die Qualität der automatisch generierten Daten erhöhen können.

Tab. 23: Verbesserungsmöglichkeiten der 3D Scandaten

Variable	Verbesserungsmöglichkeiten
Körperhöhe	Durch Abdunkeln der Decke den Lichteinfall von oben minimieren
Kniehöhe	Adaptierung der <i>Software</i> durch getrennte Berechnung der linken und rechten Kniehöhe
Taillenumfang	Korrekte Definition des Parameters
Hüftumfang	Keine Verbesserungsvorschläge
Oberarmumfang	Anpassung der Scanposition, durch erhöhte Abduktion der Arme
Unterarmumfang	Keine Verbesserungsvorschläge
Handgelenkumfang	Scanposition adaptieren, Abstand zwischen Hüfte und Handgelenk soll nicht zu gering sein
Knieumfang	Korrekte Lokalisation der Patella durch Adaptation der <i>Software</i>
Unterschenkelumfang	Keine Verbesserungsvorschläge
Oberarmlänge	Keine Verbesserungsvorschläge
Unterarmlänge	Verbesserte Lokalisation der anatomischen Schlüsselpunkte durch Adaptation der <i>Software</i>

Diese Aufstellung stellt Möglichkeiten der Adaptierung des Scansystems dar. Es gilt jedoch anzumerken, dass publizierte Studien aufzeigen konnten, dass Scansysteme im Gegensatz zur klassischen anthropometrischen Vermessung präzisere Ergebnisse erzielen konnten (vgl. Lu & Wang, 2010, S. 2048).

Im Großen und Ganzen bringt die 3D Ganzkörperscantechnologie großes Potential mit sich. Der in dieser Studie benutzte Scanner berechnet insgesamt 152 Parameter in lediglich zehn bis zwölf Sekunden. Eine manuelle Vermessung von 152 Körperparametern würde hingegen eine enorme Zeit in Anspruch nehmen. Doch nicht nur der Zeitaspekt, auch die Kompetenzen der Testerin oder des Testers spielen eine wesentliche Rolle. Im Gegensatz zur Erhebung anthropometrischer Daten mittels 3D Ganzkörperscanner, ist für die klassische anthropometrische Vermessung eine umfangreiche Einschulung unabdingbar. Das Institut für Sportwissenschaft der Universität Wien verfügt über eine 3D Ganzkörperscan-Technologie und hat bspw. die Möglichkeit diese additiv zur Somatotyp-Bestimmung im Zuge der Talentdiagnostik, zur Evaluierung des Entwicklungsverlaufes von Sportlerinnen und Sportlern, in der Adipositas-Forschung zur Evaluierung von Gewichtsverläufen sowie zur Vorhersage von Körperfettwerten aus den Scandaten, einzusetzen. Für zukünftige Studien sollen die Verbesserungsmöglichkeiten beachtet werden, um präzise und genaue Ergebnisse zu erhalten.

LITERATUR

- Bauer, M. (2007). *Duden. Wörterbuch medizinischer Fachbegriffe*. Mannheim: Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG.
- Bland, J. M. & Altman, D. G. (2010). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *International Journal of Nursing Studies*, 47, 931-936.
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (7., neu bearb. Aufl.). Heidelberg: Springer.
- Callaway, C. W. et al. (1988). Circumferences. In T. G. Lohmann, A. F. Roche & R. Martorell (Ed.), *Anthropometric Standardization Reference Manual*, (pp. 39-54). Champaign: Human Kinetics.
- Carlyon, R. et al. (1996). Calibrating Harpenden Skinfold Calipers. In K. Norton & T. Olds (Ed.), *Anthropometria. A textbook of body measurement for sports and health courses* (pp. 395-411). Sydney: NSW Southwood Press.
- Dalton et al. (2003). Waist circumference, waist-hip ratio and body mass index and their correlation with cardiovascular disease risk factors in Australian Adults. *Journal of Internal Medicine*, 254, 555-563.
- Daniell, N. (2008). A comparison of the accuracy of the Vitus Smart® and Hamamatsu Body Line® 3D whole-body scanners. In T. Olds & M. Marfell-Jones (Ed.), *Kinanthropometry X. Proceedings of the 10th International Society for the Advancement of Kinanthropometry Conference, held in conjunction with the 13th Commonwealth International Sport Conference* (pp. 39-54). Abingdon: Routledge.
- de Marées, H. (2003). *Sportphysiologie*. Köln: Sportverlag Strauss.
- DGSP (2007). *Leitlinie Vorsorgeuntersuchung im Sport*. Zugriff am 2. April 2012 unter http://www.dgsp.de/downloads/allgemein/S1_Leitlinie.pdf.
- Dieckmann, B. (2011). Kapitel 11 Hypothesentests. In L. Akremi, N. Baur & S. Fromm (Hrsg.), *Datenanalyse mit SPSS für Fortgeschrittene 1. Datenaufbereitung und uni- und bivariate Statistik* (S. 246-275). Wiesbaden: VS Verlag.
- Duller, C. (2007). *Einführung in die Statistik mit EXCEL und SPSS. Ein anwendungsorientiertes Lehr- und Arbeitsbuch* (2. Auflage). Heidelberg: Physica-Verlag.
- Field, A. (2005). *Discovering Statistics Using SPSS* (2nd Edition). London: Sage.
- Gordon, C. C., Cameron-Chumlea, W. & Roche, A. F. (1988). Stature, Recumbent Length and Weight. In T. G. Lohmann, A. F. Roche & R. Martorell (Ed.), *Anthropometric Standardization Reference Manual*, (pp. 3-8). Champaign: Human Kinetics.
- Gore, C. et al. (1996). Accreditation in Anthropometry: an Australian Model. In K. Norton & T. Olds (Ed.), *Anthropometria. A textbook of body measurement for sports and health courses* (pp. 395-411). Sydney: NSW Southwood Press.

- 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, 430-540.
- Holnsteiner, M. (2011). *Modellentwicklung zur Vorhersage von Körperfettwerten aus dem 3D Ganzkörperscanner*. Diplomarbeit, Universität Wien, Wien.
- Human Solutions (2004). *Bekleidung nach Maß - Projektbeschreibung*. Zugriff am 20. März 2012 unter http://www.bekleidung-nach-mass.de/projekt_beschreibung.shtml.
- Human Solutions (2010). *iSize. Body Measuerements – Overview*. Kaiserslautern.
- Jensen, K. & Abel, U. (1999). Methodik diagnostischer Validierungsstudien. Fehler in der Studienplanung und Auswertung. *Medizinische Klinik* 94 (9), 522-529.
- Johnston, F. E. & Martorell, R. (1988). Population Surveys. In T. G. Lohmann, A. F. Roche & R. Martorell (Ed.), *Anthropometric Standardization Reference Manual* (pp. 87-91).Champaign: Human Kinetics.
- Komlos, J. (1993). Über die Bedeutung der Anthropometrischen Geschichte. *Historical Social Research*, 18 (3), 4-21.
- Lohmann, T. G. (1988). Anthropometry and Body Composition. In T. G. Lohmann, A. F. Roche & R. Martorell (Ed.), *Anthropometric Standardization Reference Manual* (pp. 125-129).Champaign: Human Kinetics.
- Lohmann, T. G., Roche, A. F. & Martorell, R. (1988). *Anthropometric Standardization Reference Manual*. Champaign: 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.
- Malousaris, G. G. et al. (2008). Somatotype, size and body composition of competitive female volleyball players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11, 337-343.
- Marfell-Jones, M. (1996). Essential Anatomy for Anthropometrists. In K. Norton & T. Olds (Ed.), *Anthropometrica. A textbook of body measurement for sports and health courses* (pp. 3-24). Sydney: NSW Southwood Press.
- Martin, A. D. et al. (1988). Segment Lengths. In T. G. Lohmann, A. F. Roche & R. Martorell (Ed.), *Anthropometric Standardization Reference Manual* (pp. 9-26).Champaign: Human Kinetics.
- Martorell, R. et al. (1988). Which Side to Measure: Right or Left? In T. G. Lohmann, A. F. Roche & R. Martorell (Ed.), *Anthropometric Standardization Reference Manual* (pp. 87-91). Champaign: Human Kinetics.
- Mckinnon, L. & Istook, C. (2001). Comparative analysis of the Image Twin System and the 3T6 Body Scanner. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 1 (2), 1-7.
- Mckinnon, L. & Istook, C. L. (2002). The effects of subject respiration and foot positioning on the data integrity of scanned measurements. *Journal of Fashion Marketing and Management*, 6 (2), 103-121.

- Norton et al. (1996). Techniques in Anthropometry. In K. Norton & T. Olds (Ed.), *Anthropometrica. A textbook of body measurement for sports and health courses* (pp. 25-70). Sydney: NSW Southwood Press.
- Olds, T. et al. (2008). Virtual anthropometry. In T. Olds & M. Marfell-Jones (Ed.), *Kinanthropometry X. Proceedings of the 10th International Society for the Advancement of Kinanthropometry Conference, held in conjunction with the 13th Commonwealth International Sport Conference* (pp. 25-38). Abingdon: Routledge.
- Olds, T. & Honey, F. (2006). The use of 3D whole-body scanners in anthropometry. In M. Marfell-Jones, A. Stewart & T. Olds (Ed.), *Kinanthropometry IX. Proceedings of the 9th International Conference of the International Society for the Advancement of Kinanthropometry* (pp. 1-13). Abingdon: Routledge.
- Onyango, A. W. et al. (2006). Reliability of anthropometric measurements in WHO Multicentre Growth Reference Study. *International Journal of Paediatrics*, 96 (450), 38-46.
- Perini, T. A. et al. (2005). Technical error of measurement in anthropometry. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 11 (1), 81-85.
- Raithel, J. (2008). *Quantitative Forschung. Ein Praxisbuch*. Wiesbaden: VS Verlag/GWV Fachverlage GmbH.
- Raschka, C. (2006). *Sportanthropologie*. Köln: Sportverlag Strauss.
- Robinette, K. M. & Daanen, H. A. M. (2006). Precision of the CAESAR scan-extracted measurements. *Applied Ergonomics*, 37, 259-265.
- Robinette, K. M., Daanen, H. A. M. & Paquet, E. (1999). The Caesar Project: A 3-D Surface Anthropometry Survey. In Ed. unknown (1999). *Proceedings of the Second International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling* (pp 380-386).
- Schranz, N., Tomkinson, G., Olds, T. & Danielle, N. (2010). Three-dimensional anthropometric analysis: Differences between elite Australian Rowers and the general population. *Journal of Sports Sciences*, 28 (5), 459-469.
- Simmons, K. P. & Istook, C. L. (2003). Body measurement techniques. Comparing 3D body-scanning and anthropometric methods for apparel applications. *Journal of Fashion Marketing and Management*, 7 (3), 306-332.
- Stewart, A. D (2010). Kinanthropometry and body composition: A natural home for three-dimensional photonic scanning. *Journal of Sports Sciences*, 28 (5), 455-457.
- Tanner, J. (2010). *A History of the Study of Human Growth*. (2nd ed.). Cambridge: University Press.
- Tittel, K. & Wutscherk, H. (1972). *Sportanthropometrie. Aufgaben, Bedeutung, Methodik und Ergebnisse biotypologischer Erhebungen*. Leipzig: Johann Ambrosius Barth.
- Treleaven, P. & Wells, J. (2007). 3D Body Scanning and Healthcare Applications. *IEEE Computer*, 40 (7), 28-34.
- Vitronic (2008). *VITUS. Height-Calibration Manual*. Wiesbaden.

- Vitronic (2009). *User Manual: Vitusmart 3D Body Scanning System*. Wiesbaden.
- Vitronic (2011). *Vitus 3D-Bodyscanner*. Wiesbaden.
- Wang, J. et al. (2000). Anthropometry in Body Composition. An Overview. Annals of the New York Academy of Sciences. *In vivo Body Composition Studies*, 904 (1), 317-326.
- Wang, J. et al. (2006). Validation of a 3-dimensional photonic scanner for the measurement of body volumes, dimensions, and percentage of body fat. *American Journal of Clinical Nutrition*, 83, 809-816.
- Weineck, J. (2007). *Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings*. Balingen: Spitta Verlag GmbH.
- 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.
- WHO, (2008). *Waist Circumference and Waist-Hip Ratio. Report of a WHO Expert Consultation. Geneva 8.-11. Dezember 2008*. Geneva: World Health Organisation.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Aufbau der Arbeit.....	10
Abb. 2: Lufkin Anthropometrie Maßband.....	12
Abb. 3: Siber-Hegner GPM Anthropometer.....	13
Abb. 4: Große Schublehre	13
Abb. 5: Kleine Schublehre	13
Abb. 6: Tasterzirkel.....	14
Abb. 7: Harpender Kaliper	14
Abb. 8: Laserlinie	20
Abb. 9: Prinzip der Light-Strip Methode (1)	20
Abb. 10: Light-Strip Methode (2)	20
Abb. 11: Vertikale Triangulation zwischen Projektor, Kamera und Testperson.....	21
Abb. 12: Methode der Triangulation.....	22
Abb. 13: XYZ Koordinaten.	22
Abb. 14: Vitus smart Laserscanner	23
Abb. 15: Position 1 der Kalibrierung.....	24
Abb. 16: Gütekriterien von Messungen	25
Abb. 17: Scanposition.....	35
Abb. 18: Körperhöhe mit Frankfurter Horizontale	36
Abb. 19: Taillenumfang	37
Abb. 20: Hüftumfang.....	37
Abb. 21: Oberarmumfang	37
Abb. 22: Unterarmumfang.....	38
Abb. 23: Handgelenkumfang.....	38
Abb. 24: Knieumfang	38
Abb. 25: Unterschenkelumfang.....	39
Abb. 26: Armlänge	39
Abb. 27: Messung der Unterarmlänge	39
Abb. 28: Messung der Kniehöhe	40
Abb. 29: Anthropometer Siebner-Heger GPM.....	40
Abb. 30: Umfangmaßband Seca 201.....	40
Abb. 31: Körperwaage von Tanita.....	40
Abb. 32: Häufigkeiten nach BMI gesamt.	47
Abb. 33: Häufigkeiten nach BMI und Geschlecht	48
Abb. 34: Bland-Altman Plot: manuell vs. automatisch generiert.	49
Abb. 35: Bland-Altman Plot: manuell vs. automatisch generiert Körperhöhe.....	51
Abb. 36: Bland-Altman Plot: manuell vs. automatisch generiert Umfangsmaße.	51

Abb. 37: Bland-Altman Plot: manuell vs. automatisch generiert Längenmaße.	52
Abb. 38: Körperhöhe Proband Nr. 1 Normalgewicht (BMI 21,4).....	66
Abb. 39: Oberarmumfang Probandin Nr. 50 Adipositas Grad I.	67
Abb. 40: Oberarmumfang Probandin Nr. 14 Normalgewicht.	67
Abb. 41: Taillenumfang Proband Nr. 36 Adipositas Grad I.....	68
Abb. 42: Taillenumfang Proband Nr. 45 Normalgewicht.	68
Abb. 43: Hüftumfang Probandin Nr. 50 Adipositas Grad I.....	68
Abb. 44: Hüftumfang Proband Nr. 45 Normalgewicht.	68
Abb. 45: Unterarmumfang Probandin Nr. 50 Adipositas Grad I.....	69
Abb. 46: Unterarmumfang Proband Nr. 45 Normalgewicht.	69
Abb. 47: Handgelenkumfang Probandin Nr. 14 Normalgewicht.	70
Abb. 48: Handgelenkumfang Probandin Nr. 50 Adipositas Grad I.	70
Abb. 49: Knieumfang Proband Nr. 45 Normalgewicht.....	71
Abb. 50: Knieumfang Probandin Nr. 50 Adipositas Grad I.	71
Abb. 51: Unterschenkelumfang Proband Nr. 45 Normalgewicht.	71
Abb. 52: Unterarmlänge Proband Nr. 27 Adipositas Grad I.	72
Abb. 53: Unterarmlänge Probandin Nr. 50 Adipositas Grad I.....	72
Abb. 54: Unterarmlänge Proband Nr. 42 Normalgewicht.	72
Abb. 55: Kniehöhe Proband Nr. 10 gering übergewichtig.	73
Abb. 56: Kniehöhe Proband Nr. 27 Adipositas Grad I.....	73

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: BMI Klassifikation	17
Tab. 2: WHR Klassifikation	18
Tab. 3: Bauchumfang.....	18
Tab. 4: Genauigkeit Vergleich Mensch und Schaufensterpuppe	26
Tab. 5: Präzision des Scanner Vergleiches Mensch und Schaufensterpuppe	28
Tab. 6: Zusammenfassung Validierungsrichtlinien	30
Tab. 7: Vergleich klassische Anthropometrie vs. 3D-Ganzkörperscanttechnologie	32
Tab. 8: TEM erlaubte Abweichungen Intra- und Inter-Tester Reliabilität	41
Tab. 9: Intra-Tester Reliabilität der Testerin 1	43
Tab. 10: Inter-Tester Reliabilität Testerin 1 und Testerin 2.....	44
Tab. 11: Inter-Tester Reliabilität Testerin 1 und Tester 3	45
Tab. 12: Klassifizierung Effektgröße g	54
Tab. 13: Statistische Kennzahlen Körperhöhe	54
Tab. 14: Statistische Kennzahlen Umfangsmaße.....	56
Tab. 15: Statistische Kennzahlen Längenmaße	57
Tab. 16: Differenzen der Mittelwerte manuell und scan.....	58
Tab. 17: Statistische Kennzahlen Umfangsmaße Frauen	59
Tab. 18: Statistische Kennzahlen Umfangsmaße Männer.....	60
Tab. 19: Differenzen der Mittelwerte manuell und scan nach Geschlecht	60
Tab. 20: Nicht signifikante Parameter der Varianzanalyse und des Kruskal-Wallis-Tests	62
Tab. 21: Signifikante Parameter der Varianzanalyse und des Kruskal-Wallis-Tests.....	64
Tab. 22: Zusammenfassung 3D Bilddatenanalyse	74
Tab. 23: Verbesserungsmöglichkeiten der 3D Scandaten.....	80

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ANOVA	analysis of variance
ALR	Automatic Landmark Recognition
BMI	Body Mass Index
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CV	Coefficient of variation
dgl.	dergleichen
DLR	Digital Landmark Recognition
kg	Kilogramm
K-S-Test	Kolmogorov-Smirnov-Test
MAD	Mean absolute difference
ÖISM	Österreichisches Institut für Sportmedizin
u. dgl.	und dergleichen
PLR	Physical Landmark Recognition
TEM	Technical Error of Measurements
VAV	variable average value
v. Chr.	vor Christus
vs.	versus
WHO	World Health Organisation
WHR	waist-hip-ratio
z. B.	zum Beispiel

ANHANG I

Intra-Tester-Reliabilität

Ergebnisse Messung Testerin 1 Zeitpunkt 1											
	Körperhöhe	Taillen-umfang	Hüft-umfang	Oberarm-länge	Oberarm-umfang	Unterarm-länge	Unterarm-umfang	Handgelenk-umfang	Kniehöhe	Knieumfang	Unterschenkel-umfang
Proband/in 1	171,8	74,3	89,8	35,7	28	26,2	24	16,5	42,5	38,1	37,2
Proband/in 2	179,4	79,5	95,5	38,2	31	29,2	27	17,4	48,1	37,7	37,8
Proband/in 3	163,4	61,2	86,5	30,9	23	24,2	19,8	14,5	40,6	33,8	31

Ergebnisse Messung Testerin 1 Zeitpunkt 2											
	Körperhöhe	Taillen-umfang	Hüft-umfang	Oberarm-länge	Oberarm-umfang	Unterarm-länge	Unterarm-umfang	Handgelenk-umfang	Kniehöhe	Knieumfang	Unterschenkel-umfang
Proband/in 1	171,2	74,9	91,7	35,5	28	26,1	24,6	16,4	42,4	37,8	37,3
Proband/in 2	179,9	79,1	95	37,7	31	28,7	26,7	17,2	47,7	38,5	37,8
Proband/in 3	163,5	59,5	86,5	31,2	23,2	24	20	14,7	40,5	33,9	31

Abweichungen Testerin 1 Zeitpunkt 1 und Zeitpunkt 2											
	Körperhöhe	Taillen-umfang	Hüft-umfang	Oberarm-länge	Oberarm-umfang	Unterarm-länge	Unterarm-umfang	Handgelenk-umfang	Kniehöhe	Knieumfang	Unterschenkel-umfang
Proband/in 1	0,6	-0,6	-1,9	0,2	0	0,1	-0,6	0,1	0,1	0,3	-0,1
Proband/in 2	-0,5	0,4	0,5	0,5	0	0,5	0,3	0,2	0,4	-0,8	0
Proband/in 3	-0,1	1,7	0	-0,3	-0,2	0,2	-0,2	-0,2	0,1	-0,1	0

Abweichungen ² Testerin 1 Zeitpunkt 1 und Zeitpunkt 2											
	Körperhöhe	Taillen-umfang	Hüft-umfang	Oberarm-länge	Oberarm-umfang	Unterarm-länge	Unterarm-umfang	Handgelenk-umfang	Kniehöhe	Knieumfang	Unterschenkel-umfang
Proband/in 1	0,36	0,36	3,61	0,04	0	0,01	0,36	0,01	0,01	0,09	0,01
Proband/in 2	0,25	0,16	0,25	0,25	0	0,25	0,09	0,04	0,16	0,64	0
Proband/in 3	0,01	2,89	0	0,09	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01	0
Σ Abweichung ²	0,62	3,41	3,86	0,38	0,04	0,3	0,49	0,09	0,18	0,74	0,01

Intra-Tester-Reliabilität Testerin 1 Zeitpunkt 1 und Zeitpunkt 2											
	Körperhöhe	Taillen-umfang	Hüft-umfang	Oberarm-länge	Oberarm-umfang	Unterarm-länge	Unterarm-umfang	Handgelenk-umfang	Kniehöhe	Knieumfang	Unterschenkel-umfang
Σ Abweichung ²	0,62	3,41	3,86	0,38	0,04	0,3	0,49	0,09	0,18	0,74	0,01
absoluter TEM	0,32	0,75	0,80	0,25	0,08	0,22	0,29	0,12	0,17	0,35	0,04
VAV	171,53	71,42	90,83	34,87	27,37	26,40	23,68	16,12	43,63	36,63	35,35
relativer TEM %	0,19	1,06	0,88	0,72	0,30	0,85	1,21	0,76	0,40	0,96	0,12

Inter-Tester-Reliabilität

Ergebnisse Messung Testerin 1											
	Körperhöhe	Taillen-umfang	Hüft-umfang	Oberarm-länge	Oberarm-umfang	Unterarm-länge	Unterarm-umfang	Handgelenk-umfang	Kniehöhe	Knieumfang	Unterschenkel-umfang
Proband/in 1	171,8	74,3	89,8	35,7	28	26,2	24	16,5	42,5	38,1	37,2
Proband/in 2	179,4	79,5	95,5	38,2	31	29,2	27	17,4	48,1	37,7	37,8
Proband/in 3	163,4	61,2	86,5	30,9	23	24,2	19,8	14,5	40,6	33,8	31

Ergebnisse Messung Tester/in 2											
	Körperhöhe	Taillen-umfang	Hüft-umfang	Oberarm-länge	Oberarm-umfang	Unterarm-länge	Unterarm-umfang	Handgelenk-umfang	Kniehöhe	Knieumfang	Unterschenkel-umfang
Proband/in 1	171,2	74,1	89,2	37,7	28,1	27,5	24,5	16,8	44,6	38	37,7
Proband/in 2	179,4	79,8	95,5	37,5	31,2	29,9	27	17,4	49,9	37,6	38,3
Proband/in 3	163,4	59,5	87	34,5	23	24,6	18,8	14,8	43,6	33,7	30,9

Ergebnisse Messung Tester/in 3											
	Körperhöhe	Taillen-umfang	Hüft-umfang	Oberarm-länge	Oberarm-umfang	Unterarm-länge	Unterarm-umfang	Handgelenk-umfang	Kniehöhe	Knieumfang	Unterschenkel-umfang
Proband/in 1	171,3	74	89,5	37	28	25,1	24,2	17	42,7	32,5	37
Proband/in 2	179,7	80	94,5	38,8	31	29,3	26,6	17,8	50,3	37,6	37,8
Proband/in 3	163,1	59	85,7	30,5	22,5	24,5	19,2	14,7	43,7	33,5	31

Abweichungen Testerin 1 und Tester/in 2											
	Körperhöhe	Tailen-umfang	Hüft-umfang	Oberarm-länge	Oberarm-umfang	Unterarm-länge	Unterarm-umfang	Handgelenk-umfang	Kniehöhe	Knieumfang	Unterschenkel-umfang
Proband/in 1	0,6	0,2	0,6	-2	-0,1	-1,3	-0,5	-0,3	-2,1	0,1	-0,5
Proband/in 2	0	-0,3	0	0,7	-0,2	-0,7	0	0	-1,8	0,1	-0,5
Proband/in 3	0	1,7	-0,5	-3,6	0	-0,4	1	-0,3	-3	0,1	0,1

Abweichungen ² Testerin 1 und Tester/in 2											
	Körperhöhe	Tailen-umfang	Hüft-umfang	Oberarm-länge	Oberarm-umfang	Unterarm-länge	Unterarm-umfang	Handgelenk-umfang	Kniehöhe	Knieumfang	Unterschenkel-umfang
Proband/in 1	0,36	0,04	0,36	4	0,01	1,69	0,25	0,09	4,41	0,01	0,25
Proband/in 2	0	0,09	0	0,49	0,04	0,49	0	0	3,24	0,01	0,25
Proband/in 3	0	2,89	0,25	12,96	0	0,16	1	0,09	9	0,01	0,01
Σ Abweichung ²	0,36	3,02	0,61	17,45	0,05	2,34	1,25	0,18	16,65	0,03	0,51

Inter-Tester-Reliabilität Testerin 1 und Tester/in 2											
	Körperhöhe	Tailen-umfang	Hüft-umfang	Oberarm-länge	Oberarm-umfang	Unterarm-länge	Unterarm-umfang	Handgelenk-umfang	Kniehöhe	Knieumfang	Unterschenkel-umfang
Σ Abweichung²	0,36	3,02	0,61	17,45	0,05	2,34	1,25	0,18	16,65	0,03	0,51
absoluter TEM	0,24	0,71	0,32	1,71	0,09	0,62	0,46	0,17	1,67	0,07	0,29
VAV	171,43	71,40	90,58	35,75	27,38	26,93	23,52	16,23	44,88	36,48	35,48
relativer TEM %	0,14	0,99	0,35	4,77	0,33	2,32	1,94	1,07	3,71	0,19	0,82

Abweichungen Testerin 1 und Tester/in 3											
	Körperhöhe	Taillen- umfang	Hüft- umfang	Oberarm- länge	Oberarm- umfang	Unterarm- länge	Unterarm- umfang	Handgelenk- umfang	Kniehöhe	Knieumfang	Unterschenkel- umfang
Proband/in 1	0,5	0,3	0,3	-1,3	0	1,1	-0,2	-0,5	-0,2	5,6	0,2
Proband/in 2	-0,3	-0,5	1	-0,6	0	-0,1	0,4	-0,4	-2,2	0,1	0
Proband/in 3	0,3	2,2	0,8	0,4	0,5	-0,3	0,6	-0,2	-3,1	0,3	0

Abweichungen ² Testerin 1 und Tester/in 3											
	Körperhöhe	Taillen-umfang	Hüft-umfang	Oberarm-länge	Oberarm-umfang	Unterarm-länge	Unterarm-umfang	Handgelenk-umfang	Kniehöhe	Knieumfang	Unterschenkel-umfang
Proband/in 1	0,25	0,09	0,09	1,69	0	1,21	0,04	0,25	0,04	31,36	0,04
Proband/in 2	0,09	0,25	1	0,36	0	0,01	0,16	0,16	4,84	0,01	0
Proband/in 3	0,09	4,84	0,64	0,16	0,25	0,09	0,36	0,04	9,61	0,09	0
Σ Abweichung ²	0,43	5,18	1,73	2,21	0,25	1,31	0,56	0,45	14,49	31,46	0,04

Inter-Tester-Reliabilität Testerin 1 und Tester/in 3											
	Körperhöhe	Taillen-umfang	Hüft-umfang	Oberarm-länge	Oberarm-umfang	Unterarm-länge	Unterarm-umfang	Handgelenk-umfang	Kniehöhe	Knieumfang	Unterschenkel-umfang
Σ Abweichung ²	0,43	5,18	1,73	2,21	0,25	1,31	0,56	0,45	14,49	31,46	0,04
absoluter TEM	0,27	0,93	0,54	0,61	0,20	0,47	0,31	0,27	1,55	2,29	0,08
VAV	171,45	71,33	90,25	35,18	27,25	26,42	23,47	16,32	44,65	35,53	35,30
relativer TEM %	0,16	1,30	0,59	1,72	0,75	1,77	1,30	1,68	3,48	6,44	0,23

ANHANG II

T-Test abhängige Stichproben gesamt

Statistik bei gepaarten Stichproben

		Mittelwert	N	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Paaren 1	Körperhöhe_manuell	172,252	61	8,4384	1,0804
	Körperhöhe_scan	172,038	61	8,4403	1,0807
Paaren 2	Taillenumfang_manuell	80,480	61	13,8533	1,7737
	Taillenumfang_scan	82,875	61	14,4276	1,8473
Paaren 3	Hüftumfang_manuell	99,561	61	6,6552	,8521
	Hüftumfang_scan	100,138	61	6,8554	,8777
Paaren 4	Oberarmlänge_manuell	32,100	61	1,8433	,2360
	Oberarmlänge_scan	31,841	61	2,2418	,2870
Paaren 5	Oberarmumfang_manuell	30,326	61	3,8838	,4973
	Oberarmumfang_scan	29,316	61	3,2639	,4179
Paaren 6	Unterarmlänge_manuell	27,416	61	1,7733	,2271
	Unterarmlänge_scan	25,531	61	2,5998	,3329
Paaren 7	Unterarmumfang_manuell	25,679	61	2,4984	,3199
	Unterarmumfang_scan	26,002	61	2,7678	,3544
Paaren 8	Handgelenkumfang_manuell	16,459	61	1,2454	,1595
	Handgelenkumfang_scan	16,323	61	1,4274	,1828
Paaren 9	Kniehöhe_manuell	47,346	61	3,2165	,4118
	Kniehöhe_scan	46,631	61	2,8927	,3704
Paaren 10	Knieumfang_manuell	37,067	61	3,1388	,4019
	Knieumfang_scan	37,552	61	3,1986	,4095
Paaren 11	Unterschenkelumfang_manuell	36,833	61	2,6483	,3391
	Unterschenkelumfang_scan	36,957	61	2,7315	,3497

T-Test abhängige Stichproben gesamt**Korrelationen bei gepaarten Stichproben**

		N	Korrelation	Signifikanz
Paaren 1	Körperhöhe_manuell & Körperhöhe_scan	61	,997	,000
Paaren 2	Taillenumfang_manuell & Taillenumfang_scan	61	,987	,000
Paaren 3	Hüftumfang_manuell & Hüftumfang_scan	61	,978	,000
Paaren 4	Oberarmlänge_manuell & Oberarmlänge_scan	61	,735	,000
Paaren 5	Oberarmumfang_manuell & Oberarmumfang_scan	61	,936	,000
Paaren 6	Unterarmlänge_manuell & Unterarmlänge_scan	61	,647	,000
Paaren 7	Unterarmumfang_manuell & Unterarmumfang_scan	61	,950	,000
Paaren 8	Handgelenkumfang_manuell & Handgelenkumfang_scan	61	,969	,000
Paaren 9	Kniehöhe_manuell & Kniehöhe_scan	61	,908	,000
Paaren 10	Knieumfang_manuell & Knieumfang_scan	61	,846	,000
Paaren 11	Unterschenkelumfang_manuell & Unterschenkelumfang_scan	61	,992	,000

T-Test abhängige Stichproben gesamt

Test bei gepaarten Stichproben									
	Gepaarte Differenzen					T	df	Sig. (2-seitig)	
	95% Konfidenzintervall der Differenz								
	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	Untere	Obere				
Paaren 1	Körperhöhe_manuell - Körperhöhe_scan	,2148	,7012	,0898	,0352	,3943	2,392	60	,020
Paaren 2	Tailenumfang_manuell - Tailenumfang_scan	-2,3951	2,3927	,3063	-3,0079	-1,7823	-7,818	60	,000
Paaren 3	Hüftumfang_manuell - Hüftumfang_scan	-,5774	1,4239	,1823	-,9421	-,2127	-3,167	60	,002
Paaren 4	Oberarmlänge_manuell - Oberarmlänge_scan	,2590	1,5334	,1963	-,1337	,6518	1,319	60	,192
Paaren 5	Oberarmumfang_manuell - Oberarmumfang_scan	1,0098	1,4152	,1812	,6474	1,3723	5,573	60	,000
Paaren 6	Unterarmlänge_manuell - Unterarmlänge_scan	1,8852	1,9833	,2539	1,3773	2,3932	7,424	60	,000
Paaren 7	Unterarmumfang_manuell - Unterarmumfang_scan	-,3230	,8776	,1124	-,5477	-,0982	-2,874	60	,006
Paaren 8	Handgelenkumfang_manuell - Handgelenkumfang_scan	,1361	,3777	,0484	,0393	,2328	2,813	60	,007
Paaren 9	Kniehöhe_manuell - Kniehöhe_scan	,7148	1,3513	,1730	,3687	1,0608	4,131	60	,000
Paaren 10	Knieumfang_manuell - Knieumfang_scan	-,4852	1,7615	,2255	-,9364	-,0341	-2,151	60	,035
Paaren 11	Unterschenkelumfang_manuell - Unterschenkelumfang_scan	-,1246	,3404	,0436	-,2118	-,0374	-2,858	60	,006

T-Test abhängige Stichproben Hüft- und Taillenumfang Frauen**Statistik bei gepaarten Stichproben^a**

		Mittelwert	N	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Paaren 1	Taillenumfang_manuell	74,868	31	11,9999	2,1552
	Taillenumfang_scan	77,358	31	13,1028	2,3533
Paaren 2	Hüftumfang_manuell	98,584	31	7,8912	1,4173
	Hüftumfang_scan	99,148	31	7,9265	1,4236

a. Geschlecht = weiblich

Korrelationen bei gepaarten Stichproben^a

		N	Korrelation	Signifikanz
Paaren 1	Taillenumfang_manuell & Taillenumfang_scan	31	,979	,000
Paaren 2	Hüftumfang_manuell & Hüftumfang_scan	31	,983	,000

a. Geschlecht = weiblich

Test bei gepaarten Stichproben^a

		Gepaarte Differenzen					T	df	Sig. (2-seitig)
					95% Konfidenzintervall der Differenz				
		Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	Untere	Obere			
Paaren 1	Taillenumfang_manuell - Taillenumfang_scan	-2,4903	2,7755	,4985	-3,5084	-1,4722	-4,996	30	,000
Paaren 2	Hüftumfang_manuell - Hüftumfang_scan	-,5645	1,4393	,2585	-1,0925	-,0366	-2,184	30	,037

a. Geschlecht = weiblich

T-Test abhängige Stichproben Hüft- und Taillenumfang Männer**Korrelationen bei gepaarten Stichproben^a**

		N	Korrelation	Signifikanz
Paaren 1	Taillenumfang_manuell & Taillenumfang_scan	30	,990	,000
Paaren 2	Hüftumfang_manuell & Hüftumfang_scan	30	,967	,000

a. Geschlecht = männlich

Statistik bei gepaarten Stichproben^a

		Mittelwert	N	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Paaren 1	Taillenumfang_manuell	86,280	30	13,4027	2,4470
	Taillenumfang_scan	88,577	30	13,6710	2,4960
Paaren 2	Hüftumfang_manuell	100,570	30	5,0146	,9155
	Hüftumfang_scan	101,161	30	5,4871	1,0018

a. Geschlecht = männlich

Test bei gepaarten Stichproben^a

		Gepaarte Differenzen				T	df	Sig. (2-seitig)	
					95% Konfidenzintervall der Differenz				
		Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes					
Paaren 1	Taillenumfang_manuell - Taillenumfang_scan	-2,2967	1,9635	,3585	Untere -3,0299	Obere -1,5635	-6,406	29	,000
Paaren 2	Hüftumfang_manuell - Hüftumfang_scan	-,5907	1,4323	,2615	Untere -1,1255	Obere -,0558	-2,259	29	,032

a. Geschlecht = männlich

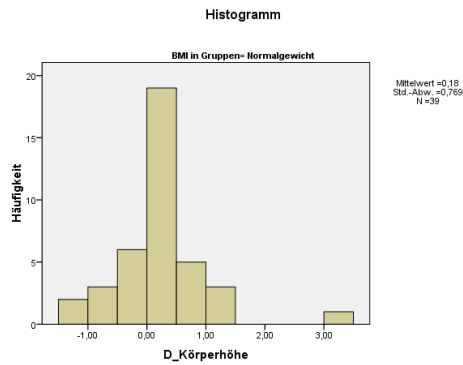
ANHANG III

Normalverteilung nach BMI-Gruppen

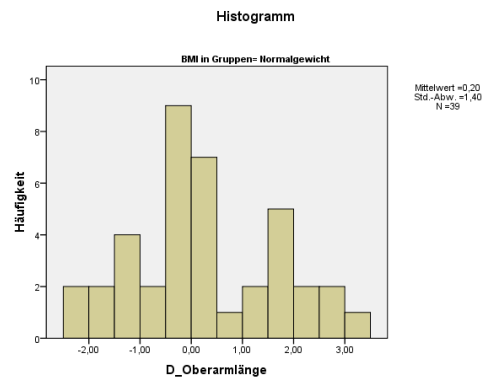
Tests auf Normalverteilung							
BMI in Gruppen		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Normalgewicht	D_Körperhöhe	,158	39	,016	,904	39	,003
	D_Taillenumfang	,093	39	,200*	,952	39	,096
	D_Hüftumfang	,125	39	,127	,951	39	,091
	D_Oberarmlänge	,147	39	,032	,964	39	,233
	D_Oberarmumfang	,155	39	,020	,937	39	,030
	D_Unterarmlänge	,061	39	,200*	,966	39	,285
	D_Unterarmumfang	,156	39	,018	,925	39	,012
	D_Handgelenkumfang	,152	39	,023	,910	39	,004
	D_Kniehöhe	,096	39	,200*	,940	39	,038
	D_Knieumfang	,214	39	,000	,895	39	,002
	D_Unterschenkelumfang	,142	39	,045	,961	39	,188
Übergewicht	D_Körperhöhe	,140	15	,200*	,965	15	,781
	D_Taillenumfang	,114	15	,200*	,976	15	,937
	D_Hüftumfang	,118	15	,200*	,957	15	,637
	D_Oberarmlänge	,176	15	,200*	,932	15	,296
	D_Oberarmumfang	,205	15	,090	,895	15	,079
	D_Unterarmlänge	,165	15	,200*	,954	15	,581
	D_Unterarmumfang	,169	15	,200*	,951	15	,534
	D_Handgelenkumfang	,163	15	,200*	,953	15	,567
	D_Kniehöhe	,151	15	,200*	,933	15	,302
	D_Knieumfang	,205	15	,092	,921	15	,203
	D_Unterschenkelumfang	,266	15	,005	,867	15	,031
Adipositas Grad I	D_Körperhöhe	,264	7	,151	,831	7	,082
	D_Taillenumfang	,269	7	,136	,849	7	,121
	D_Hüftumfang	,254	7	,191	,834	7	,087
	D_Oberarmlänge	,120	7	,200*	,987	7	,986
	D_Oberarmumfang	,296	7	,064	,831	7	,082
	D_Unterarmlänge	,223	7	,200*	,911	7	,399
	D_Unterarmumfang	,228	7	,200*	,896	7	,306
	D_Handgelenkumfang	,329	7	,021	,810	7	,051
	D_Kniehöhe	,169	7	,200*	,916	7	,442
	D_Knieumfang	,197	7	,200*	,940	7	,639
	D_Unterschenkelumfang	,232	7	,200*	,897	7	,316

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

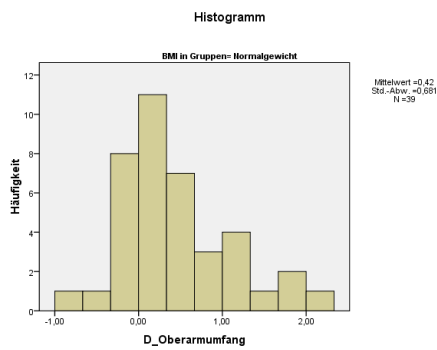
*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

BMI-Gruppe Normalgewicht

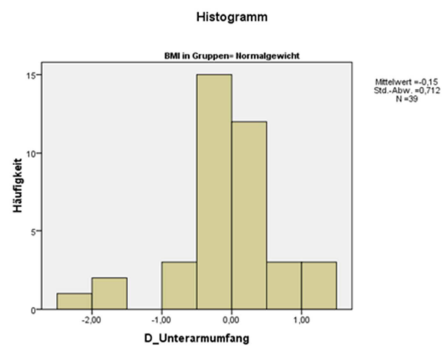
p=0,016, lt. Histogramm NV gegeben



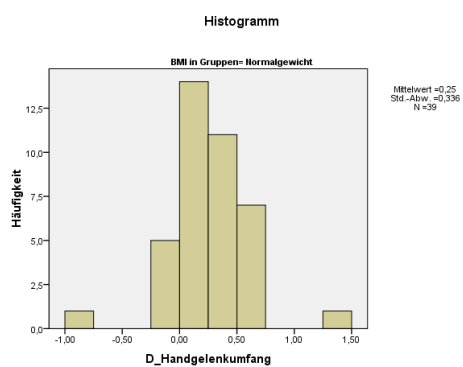
p=0,032, lt. Histogramm NV gegeben



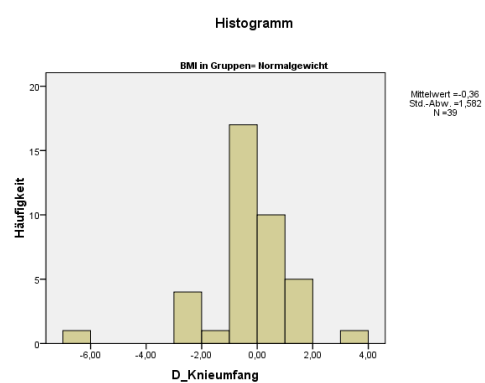
p=0,020, lt. Histogramm NV gegeben



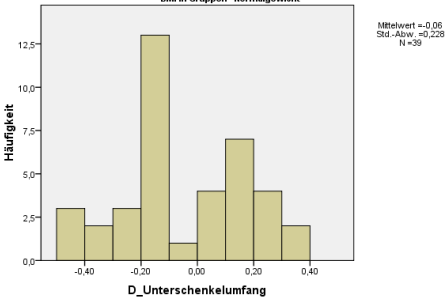
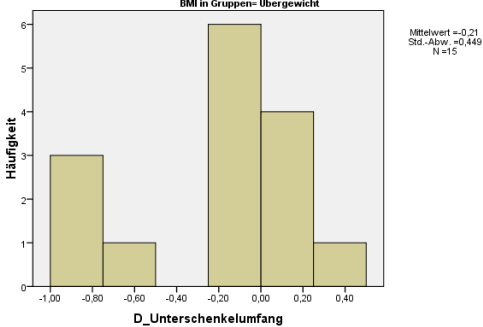
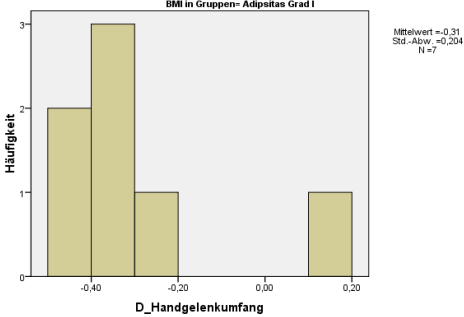
p=0,018, lt. Histogramm NV gegeben



p=0,023, lt. Histogramm NV gegeben



p=0,000, lt. Histogramm NV gegeben

Histogramm BMI in Gruppen- Normalgewicht  Mittelwert = -0,06 Std.-Abw. = 0,228 N = 39 Häufigkeit D_Unterschenkelumfang p=0,045, lt. Histogramm NV gegeben	
BMI-Gruppe Übergewicht	
Histogramm BMI in Gruppen- Übergewicht  Mittelwert = -0,21 Std.-Abw. = 0,449 N = 15 Häufigkeit D_Unterschenkelumfang p=0,005, lt. Histogramm NV nicht gegeben	
BMI-Gruppe Adipositas Grad I	
Histogramm BMI in Gruppen- Adipositas Grad I  Mittelwert = -0,31 Std.-Abw. = 0,204 N = 7 Häufigkeit D_Handgelenkumfang p=0,021, lt. Histogramm NV nicht gegeben	

Einfaktorielle Varianzanalyse Körperhöhe nach BMI Gruppen**Levene Test**

H0: Es gibt keine Unterschiede in beobachteter und erwarteter Varianzhomogenität (p=0,05)

p=0,808

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen^a

Abhängige Variable:D Körperhöhe

F	df1	df2	Sig.
,214	2	58	,808

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + BMI_Groupen

Tests der Zwischensubjekteffekte

H0: Es existieren Unterschiede zwischen den BMI Gruppen (p=0,05)

p=0,167

Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable:D Körperhöhe

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	1,766 ^a	2	,883	1,846	,167	,060
Konstanter Term	1,191	1	1,191	2,492	,120	,041
BMI_Groupen	1,766	2	,883	1,846	,167	,060
Fehler	27,731	58	,478			
Gesamt	32,310	61				
Korrigierte Gesamtvariation	29,497	60				

a. R-Quadrat = ,060 (korrigiertes R-Quadrat = ,027)

Post Hoc-Test Tukey

Interpretation der Post Hoc-Tests, wenn Varianzanalyse signifikant

Einfaktorielle Varianzanalyse Taillenumfang nach BMI Gruppen**Levene Test**

H0: Es gibt keine Unterschiede in beobachteter und erwarteter Varianzhomogenität (p=0,05)

p=0,712

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen^a

Abhängige Variable:D Taillenumfang

F	df1	df2	Sig.
,341	2	58	,712

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + BMI_Groupen

Tests der Zwischensubjekteffekte

H0: Es existieren Unterschiede zwischen den BMI Gruppen (p=0,05)

p=0,482

Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable:D Taillenumfang

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	8,529 ^a	2	4,265	,738	,482	,025
Konstanter Term	274,142	1	274,142	47,469	,000	,450
BMI_Groupen	8,529	2	4,265	,738	,482	,025
Fehler	334,959	58	5,775			
Gesamt	693,410	61				
Korrigierte Gesamtvariation	343,489	60				

a. R-Quadrat = ,025 (korrigiertes R-Quadrat = -,009)

Post Hoc-Test Tukey

Interpretation der Post Hoc-Tests, wenn Varianzanalyse signifikant

Einfaktorielle Varianzanalyse Hüftumfang nach BMI Gruppen**Levene Test**

H0: Es gibt keine Unterschiede in beobachteter und erwarteter Varianzhomogenität (p=0,05)

p=0,759

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen^a

Abhängige Variable:D Hüftumfang

F	df1	df2	Sig.
,276	2	58	,759

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + BMI_Groupen

Tests der Zwischensubjekteffekte

H0: Es existieren Unterschiede zwischen den BMI Gruppen (p=0,05)

p=0,084

Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable:D Hüftumfang

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	9,976 ^a	2	4,988	2,591	,084	,082
Konstanter Term	28,256	1	28,256	14,675	,000	,202
BMI_Groupen	9,976	2	4,988	2,591	,084	,082
Fehler	111,677	58	1,925			
Gesamt	141,988	61				
Korrigierte Gesamtvariation	121,653	60				

a. R-Quadrat = ,082 (korrigiertes R-Quadrat = ,050)

Post Hoc-Test Tukey

Interpretation der Post Hoc-Tests, wenn Varianzanalyse signifikant

Einfaktorielle Varianzanalyse Oberarmlänge nach BMI Gruppen**Levene Test**

H0: Es gibt keine Unterschiede in beobachteter und erwarteter Varianzhomogenität (p=0,05)

p=0,191

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen^a

Abhängige Variable:D Oberarmlänge

F	df1	df2	Sig.
1,706	2	58	,191

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + BMI_Groupen

Tests der Zwischensubjekteffekte

H0: Es existieren Unterschiede zwischen den BMI Gruppen (p=0,05)

p=0,449

Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable:D Oberarmlänge

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	3,843 ^a	2	1,922	,812	,449	,027
Konstanter Term	6,455	1	6,455	2,728	,104	,045
BMI_Groupen	3,843	2	1,922	,812	,449	,027
Fehler	137,244	58	2,366			
Gesamt	145,180	61				
Korrigierte Gesamtvariation	141,088	60				

a. R-Quadrat = ,027 (korrigiertes R-Quadrat = -,006)

Post Hoc-Test Tukey

Interpretation der Post Hoc-Tests, wenn Varianzanalyse signifikant

Einfaktorielle Varianzanalyse Oberarmumfang nach BMI Gruppen**Levene Test**

H0: Es gibt keine Unterschiede in beobachteter und erwarteter Varianzhomogenität (p=0,05)

p=0,001

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen^a

Abhängige Variable: D_Oberarmumfang

F	df1	df2	Sig.
7,788	2	58	,001

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + BMI_Groupen

Varianzhomogenität verletzt – Ersatzverfahren Kruskal Wallis Test

Kruskal-Wallis-Test Oberarmumfang nach BMI Gruppen

H0: Es existieren Unterschiede zwischen den BMI Gruppen (p=0,05)

p=0,000

Statistik für Test^{a,b}

	D_Oberarmumfang
Chi-Quadrat	20,525
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

a. Kruskal-Wallis-Test

b. Gruppenvariable: BMI in Gruppen

Mittlere Ränge**Ränge**

	BMI in Gruppen	N	Mittlerer Rang
D_Oberarmumfang	Normalgewicht	39	23,85
	Übergewicht	15	39,27
	Adipsitas Grad I	7	53,14
	Gesamt	61	

Mann-Whitney-U-Test Oberarmumfang nach BMI Gruppen

H0: Es existieren Unterschiede zwischen der Gruppe Normalgewicht und der Gruppe Übergewicht (p=0,017)

p=0,004

Statistik für Test^a

	D_Oberarmumfang
Mann-Whitney-U	145,000
Wilcoxon-W	925,000
Z	-2,853
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,004

a. Gruppenvariable: BMI in Gruppen

Ränge

	BMI in Gruppen	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
D_Oberarmumfang	Normalgewicht	39	23,72	925,00
	Übergewicht	15	37,33	560,00
	Gesamt	54		

Mann-Whitney-U-Test Oberarmumfang nach BMI Gruppen

H₀: Es existieren Unterschiede zwischen der Gruppe Normalgewicht und der Gruppe Adipositas Grad I (p=0,017)

p=0,000

Statistik für Test^b

	D_ Oberarmumfang
Mann-Whitney-U	5,000
Wilcoxon-W	785,000
Z	-4,027
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a

a. Nicht für Bindungen korrigiert.

b. Gruppenvariable: BMI in Gruppen

Ränge

BMI in Gruppen	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
D_Oberarmumfang Normalgewicht	39	20,13	785,00
Adipositas Grad I	7	42,29	296,00
Gesamt	46		

H₀: Es existieren Unterschiede zwischen der Gruppe Übergewicht und der Gruppe Adipositas Grad I (p=0,017)

p=0,106

Statistik für Test^b

	D_ Oberarmumfang
Mann-Whitney-U	29,000
Wilcoxon-W	149,000
Z	-1,662
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,096
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,106 ^a

a. Nicht für Bindungen korrigiert.

b. Gruppenvariable: BMI in Gruppen

Einfaktorielle Varianzanalyse Unterarmlänge nach BMI Gruppen**Levene Test**

H₀: Es gibt keine Unterschiede in beobachteter und erwarteter Varianzhomogenität (p=0,05)

p=0,001

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen^a

Abhängige Variable: D_Unterarmlänge

F	df1	df2	Sig.
7,326	2	58	,001

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + BMI_Groupen

Varianzhomogenität verletzt – Ersatzverfahren Kruskal Wallis Test

Kruskal-Wallis-Test Unterarmlänge nach BMI Gruppen

H₀: Es existieren Unterschiede zwischen den BMI Gruppen (p=0,05)

p=0,002

Statistik für Test^{a,b}

	D_Unterarmlänge
Chi-Quadrat	12,669
df	2
Asymptotische Signifikanz	,002

a. Kruskal-Wallis-Test

b. Gruppenvariable: BMI in Gruppen

Mittlere Ränge**Ränge**

	BMI in Gruppen	N	Mittlerer Rang
D_Unterarmlänge	Normalgewicht	39	25,19
	Übergewicht	15	38,60
	Adipsitas Grad I	7	47,07
	Gesamt	61	

Mann-Whitney-U-Test Unterarmlänge nach BMI Gruppen

H₀: Es existieren Unterschiede zwischen der Gruppe Normalgewicht und der Gruppe Übergewicht (p=0,017)

p=0,011

Statistik für Test^a

	D_Unterarmlänge
Mann-Whitney-U	161,000
Wilcoxon-W	941,000
Z	-2,541
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,011

a. Gruppenvariable: BMI in Gruppen

Ränge

	BMI in Gruppen	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
D_Unterarmlänge	Normalgewicht	39	24,13	941,00
	Übergewicht	15	36,27	544,00
	Gesamt	54		

Mann-Whitney-U-Test Unterarmlänge nach BMI Gruppen

H₀: Es existieren Unterschiede zwischen der Gruppe Normalgewicht und der Gruppe Adipositas Grad I (p=0,017)

p=0,004

Statistik für Test^b

	D_ Unterarmlänge
Mann-Whitney-U	41,500
Wilcoxon-W	821,500
Z	-2,906
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,004
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,002 ^a

a. Nicht für Bindungen korrigiert.

b. Gruppenvariable: BMI in Gruppen

Ränge

	BMI in Gruppen	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
D_Unterarmlänge	Normalgewicht	39	21,06	821,50
	Adipsitas Grad I	7	37,07	259,50
	Gesamt	46		

H₀: Es existieren Unterschiede zwischen der Gruppe Übergewicht und der Gruppe Adiposits Grad I (p=0,017)

p=0,217

Statistik für Test^b

	D_ Unterarmlänge
Mann-Whitney-U	35,000
Wilcoxon-W	155,000
Z	-1,235
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,217
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,237 ^a

a. Nicht für Bindungen korrigiert.

b. Gruppenvariable: BMI in Gruppen

Einfaktorielle Varianzanalyse Unterarmumfang nach BMI Gruppen**Levene Test**

H0: Es gibt keine Unterschiede in beobachteter und erwarteter Varianzhomogenität (p=0,05)

p=0,108

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen^a

Abhängige Variable: D Unterarmumfang

F	df1	df2	Sig.
2,314	2	58	,108

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + BMI_Groupen

Tests der**Zwischensubjekteffekte**

H0: Es existieren Unterschiede zwischen den BMI Gruppen (p=0,05)

p=0,043

Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: D Unterarmumfang

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	4,747 ^a	2	2,374	3,321	,043	,103
Konstanter Term	6,373	1	6,373	8,916	,004	,133
BMI_Groupen	4,747	2	2,374	3,321	,043	,103
Fehler	41,461	58	,715			
Gesamt	52,570	61				
Korrigierte Gesamtvariation	46,208	60				

a. R-Quadrat = ,103 (korrigiertes R-Quadrat = ,072)

Post Hoc-Test Tukey

Interpretation der Post Hoc-Tests, wenn Varianzanalyse signifikant

Multiple ComparisonsD Unterarmumfang
Tukey-HSD

(I) BMI in Gruppen	(J) BMI in Gruppen	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Normalgewicht	Übergewicht	,6605 [*]	,25688	,034	,0426	1,2784
	Adipsitas Grad I	,1253	,34706	,931	-,7095	,9601
Übergewicht	Normalgewicht	-,6605 [*]	,25688	,034	-1,2784	-,0426
	Adipsitas Grad I	-,5352	,38701	,356	-1,4661	,3956
Adipsitas Grad I	Normalgewicht	-,1253	,34706	,931	-,9601	,7095
	Übergewicht	,5352	,38701	,356	-,3956	1,4661

Grundlage: beobachtete Mittelwerte.

Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate(Fehler) = ,715

*. Die mittlere Differenz ist auf dem ,05-Niveau signifikant.

Geschätzte Randmittel**BMI in Gruppen**

Abhängige Variable: D Unterarmumfang

BMI in Gruppen	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Normalgewicht	-,146	,135	-,417	,125
Übergewicht	-,807	,218	-1,244	-,370
Adipsitas Grad I	-,271	,320	-,911	,368

Kruskal-Wallis-Test Handgelenkumfang nach BMI Gruppen

H₀: Es existieren Unterschiede zwischen den BMI Gruppen (p=0,05)

p=0,000

Statistik für Test^{a,b}

	D_ Handgelenkumfang
Chi-Quadrat	15,585
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

a. Kruskal-Wallis-Test

b. Gruppenvariable: BMI in Gruppen

Mittlere Ränge

Ränge

	BMI in Gruppen	N	Mittlerer Rang
D_ Handgelenkumfang	Normalgewicht	39	36,62
	Übergewicht	15	26,60
	Adipsitas Grad I	7	9,14
	Gesamt	61	

Mann-Whitney-U-Test Handgelenkumfang nach BMI Gruppen

H₀: Es existieren Unterschiede zwischen der Gruppe Normalgewicht und der Gruppe Übergewicht (p=0,017)

p=0,053

Statistik für Test^a

	D_ Handgelenkumfang
Mann-Whitney-U	193,000
Wilcoxon-W	313,000
Z	-1,933
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,053

a. Gruppenvariable: BMI in Gruppen

H₀: Es existieren Unterschiede zwischen der Gruppe Normalgewicht und der Gruppe Adipsitas Grad I (p=0,017)

p=0,000

Statistik für Test^b

	D_ Handgelenkumfang
Mann-Whitney-U	17,000
Wilcoxon-W	45,000
Z	-3,681
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a

a. Nicht für Bindungen korrigiert.

b. Gruppenvariable: BMI in Gruppen

Ränge

	BMI in Gruppen	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
D_ Handgelenkumfang	Normalgewicht	39	26,56	1036,00
	Adipsitas Grad I	7	6,43	45,00
	Gesamt	46		

H₀: Es existieren Unterschiede zwischen der Gruppe Übergewicht und der Gruppe Adipsitiats Grad I (p=0,017)

p=0,018

Statistik für Test^b

	D_ Handgelenkumfang
Mann-Whitney-U	19,000
Wilcoxon-W	47,000
Z	-2,372
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,018
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,017 ^a

a. Nicht für Bindungen korrigiert.

b. Gruppenvariable: BMI in Gruppen

Einfaktorielle Varianzanalyse Kniehöhe nach BMI Gruppen**Levene Test**

H0: Es gibt keine Unterschiede in beobachteter und erwarteter Varianzhomogenität (p=0,05)

p=0,021

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen^a

Abhängige Variable: D Kniehöhe

F	df1	df2	Sig.
4,122	2	58	,021

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + BMI_Groupen

Varianzhomogenität verletzt – Ersatzverfahren Kruskal Wallis Test

Kruskal-Wallis-Test Kniehöhe nach BMI Gruppen

H0: Es existieren Unterschiede zwischen den BMI Gruppen (p=0,05)

p=0,920

Statistik für Test^{a,b}

	D Kniehöhe
Chi-Quadrat	,166
df	2
Asymptotische Signifikanz	,920

a. Kruskal-Wallis-Test

b. Gruppenvariable: BMI in Gruppen

Mittlere Ränge**Mediane****Einfaktorielle Varianzanalyse Knieumfang nach BMI Gruppen****Levene Test**

H0: Es gibt keine Unterschiede in beobachteter und erwarteter Varianzhomogenität (p=0,05)

p=0,115

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen^a

Abhängige Variable: D Knieumfang

F	df1	df2	Sig.
2,242	2	58	,115

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + BMI_Groupen

Tests der**Zwischensubjekteffekte**

H0: Es existieren Unterschiede zwischen den BMI Gruppen (p=0,05)

p=0,410

Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: D Knieumfang

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	5,643 ^a	2	2,822	,907	,410	,030
Konstanter Term	18,741	1	18,741	6,021	,017	,094
BMI_Groupen	5,643	2	2,822	,907	,410	,030
Fehler	180,533	58	3,113			
Gesamt	200,540	61				
Korrigierte Gesamtvariation	186,177	60				

a. R-Quadrat = ,030 (korrigiertes R-Quadrat = -,003)

Post Hoc-Test Tukey

Interpretation der Post Hoc-Tests, wenn Varianzanalyse signifikant

Geschätzte Randmittel

Kruskal-Wallis-Test Unterschenkelumfang nach BMI Gruppen

H₀: Es existieren Unterschiede zwischen den BMI Gruppen (p=0,05)

p=0,535

Statistik für Test^{a, b}

	D _U Unterschenkelumfang
Chi-Quadrat	1,252
df	2
Asymptotische Signifikanz	,535

a. Kruskal-Wallis-Test

b. Gruppenvariable: BMI in Gruppen

Mittlere Ränge

Mediane

LEBENS LAUF

Persönliche Daten:

Geburtsdatum: 09. Dezember 1983
Geburtsort: Linz
Staatsbürgerschaft: Österreich
Religion: römisch-katholisch

Studium:

seit 10/2010 Studium Sportwissenschaft Magister Universität Wien
09/2010 Abschluss Bakkalaureat Sportwissenschaft Universität Wien
10/2007 – 09/2010 Studium Sportwissenschaft Bakkalaureat Universität Wien
10/2006 – 09/2007 Studium Wirtschaftspädagogik Kepler Universität Linz

Ausbildung:

09/2003 – 07/2006 Berufsreifeprüfung BFI Linz
06/2002 Lehrabschlussprüfung Bürokauffrau
09/1999 – 06/2002 Ausbildung zur Bürokauffrau Quelle AG

Berufstätigkeit:

seit 01/2011 Fitnesstestgerätebetreuung Initiative „Tut Gut“ BgA
Gesundes Niederösterreich
05/2010 – 08/2012 Mitarbeiterin Einkauf/Verkauf, bergfit GmbH
seit 09/2009 Leitung Eltern-Kind Turnen, Kinderturnen, Kinderkletterkurse
und Body-Workout- Kurse, Familienbundzentrum Ansfelden
03/2009 – 06/2009 Mitarbeit bei Kinderschwimmkursen und Leitung einer
Aquafitnessstunde, Schwimmschule Nautilus
04/2008 – 08/2008 Verkäuferin Bergsportabteilung, Intersport Eybl Linz
seit 06/2007 ehrenamtliche Mitarbeit im Bereich Klettern und
Tourenführung, OeAV Neugablonz-Enns
01/2007 – 10/2010 Promotion-Tätigkeiten bei Cross over Marketing GmbH,
voestalpine Stahl AG
10/2006 – 07/2007 Merchandising für OÖ, NÖ und Salzburg Firma Ednet
06/2002 – 08/2006 Disponentin für Damenbekleidung, Firma Quelle AG Linz

Zusatzausbildung:

09/2012	Fußreflexzonenmassage USI Wien
09/2012	Pilates Basic Coach Sportunion
10/2009 – 06/2010	Massageausbildung Klassische Massage USI Wien
10/2008 – 05/2009	Instruktor Kinderturnen Bundessportakademie Linz
10/2008 – 02/2009	Ausbildung zur Aquafitnesslehrerin USI Wien
06/2007	Übungsleiterin Sicher klettern OEAV

Fortbildung:

04/2012	Workshop Sensomotorisches Schlingentraining
01/2011	Workshop BIA Bioelektronische Impedanz Analyse
01/2011	Workshop Medi Mouse Spine Score
01/2011	Workshop MFT S3 Check
01/2011	TDS Talentdiagnosesystem Modul 1
06/2008	Seminar Klettern und Ergotherapie
02/2008	Rettungsschwimmkurs Helfer

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Magisterarbeit mit dem Titel „Vergleich zwischen der manuellen Vermessung geometrischer Körperparameter und der automatisierten Bestimmung durch ein 3D Infrarotlaser-Scansystem“ selbstständig verfasst habe und nur die ausgewiesenen Hilfsmittel verwendet habe. Diese Arbeit wurde weder an einer anderen Stelle noch von anderen Personen vorgelegt.

Wien, im November 2012

Magdalena Wagner, Bakk. rer. nat