

MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Statische versus dynamische Posturographie bei älteren gesunden
Erwachsenen – Referenzdatenerhebung und quantitative Analyse
zweier ausgewählter Parameter

verfasst von | submitted by

Martin Baumunk Bakk.rer.nat.

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree
of

Master of Science (MSc)

Wien | Vienna, 2025

Studienkennzahl lt. Studienblatt |
Degree programme code as it appears
on the student record sheet:

UA 066 826

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree
programme as it appears on the student
record sheet:

Masterstudium Sportwissenschaft

Betreut von | Supervisor:

Ass.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan

Vorwort

Hiermit danke ich allen, die mich während meines Studiums bis hierhin begleitet haben und somit ein Teil von dem sind, was ich heute bin.

Ein ganz besonderer Dank geht an meine Eltern, Elke und Walter, auf die ich mein ganzes Leben schon bauen und vertrauen konnte. Ihr seid immer für mich da.

Außerdem möchte ich meiner Frau Szandra danken, dass sie mich bei meinen Vorhaben stets so toll unterstützt, wo sie nur kann. Vor allem wenn es um unsere drei kleinen Schätze geht.

Und natürlich möchte ich mich hiermit auch bei allen Teilnehmenden der Referenzdatenerhebung bedanken, ohne deren Mitwirken diese erst gar nicht hätte umgesetzt werden können.

Zu guter Letzt bedanke ich mich recht herzlich bei allen Professorinnen und Professoren, insbesondere bei Herrn Professor Mag. Dr. Harald Tschan, für die lehrreichen und spannenden Studienjahre.

Kurzzusammenfassung

Im Alltag das Gleichgewicht zu halten und nicht hinzufallen bzw. zu stürzen, ist vor allem im späten Erwachsenenalter essenziell, um keine Knochenbrüche davon zu tragen. Um herausfinden zu können, wie gut die Haltungskontrolle bei Menschen höheren Alters ist, kann die Methodik der Posturographie eingesetzt werden.

Ziel dieser Masterarbeit ist es mittels Erhebung von Referenzwerten mit dem Posturographiegerät von Sense wave® Aussagen über die posturale Kontrolle von älteren Erwachsenen zu treffen. Hierbei wird besonders darauf geschaut, was das visuelle, somatosensorische und vestibuläre System dabei für eine Rolle spielt, den Körper im Gleichgewicht zu halten. Des Weiteren wird untersucht, wie sich die Haltungskontrolle auf stabilem und instabilem Untergrund verhält bzw. verändert. Um diesbezüglich klare Aussagen treffen zu können, musste jede Probandin und jeder Proband eine standardisierte Testreihe durchführen. Insgesamt wurden dabei acht Testungen mit verschiedenen Bedingungen umgesetzt. Während die ersten vier Testungen auf statischen Untergrund durchgeführt wurden, war der Untergrund bei den letzten vier Testungen instabil. Testung zwei, vier, sechs und acht wurde mit geschlossenen Augen bewältigt und zusätzlich bei Testung drei, vier, sieben und acht noch eine 40mm starke Schaumstoffmatte verwendet. Alles in allem wurden 71 Personen im Alter von 50 bis 79 Jahren für die Datenerhebung getestet und befragt. Davon waren 40 weiblichen und 31 männlichen Geschlechts. Mit dem Statistikprogramm SPSS wurden die gemessenen Werte der Parameter COPT (Centre of Pressure Track) und ROM (Range of Motion) auf Unterschiede und Zusammenhänge untersucht.

Betrachtet man die Ergebnisse bezüglich des Zusammenhangs zwischen den anthropometrischen Parametern Körpergewicht bzw. Körpergröße hinsichtlich der erreichten COPT- und ROM-Werten, ist ein geringer bis mittlerer Zusammenhang zu erkennen. Je instabiler der Untergrund wird, umso höher fallen die Unterschiede zwischen den absoluten und körpergrößenbereinigten Messwerten bei beiden Geschlechtern aus. Vor allem wenn das visuelle Feedbacksystem wegfällt, fallen die Messwerte bei den Männern wesentlich höher aus, als bei den Frauen. Wie zu erwarten war, sind die COPT- und ROM-Mittelwerte der dynamischen Messreihe wesentlich höher, im Vergleich zu den Mittelwerten der statischen Messreihe. Jedoch kann man nicht gesichert davon ausgehen, dass bei einer Probandin oder einem Probanden es Zusammenhänge zwischen der statischen und dynamischen Haltungskontrolle gibt. Ist das visuelle Feedbacksystem ausgeschaltet, scheint dies vor allem auf instabilem Untergrund eine große Rolle zu spielen. Das somatosensorische System wird besonders dann herausgefordert, wenn die 40mm starke Schaumstoffmatte auf fixierter Messplatte verwendet wird. Wie in der

aktuellen Literatur schon mehrfach angegeben wird, zeigt diese Messreihe und die Auswertungen, dass es hohe lineare Zusammenhänge zwischen den Messparametern COPT und ROM gibt.

Schlüsselwörter: Gleichgewicht, Haltungskontrolle, Posturographie, spätes Erwachsenenalter

Abstract

Maintaining balance in everyday life and avoiding falls is essential especially in late adulthood in order to prevent bone fractures. Posturography can be used to determine how well older people control their posture.

The aim of this master's thesis is to collect reference values using the Sense wave® posturography device in order to draw conclusions about postural control in older adults. Particular attention will be paid to the role played by the visual, somatosensory and vestibular systems in maintaining body balance. Furthermore the thesis examines how posture control behaves or changes on stable and unstable surfaces. In order to be able to make clear statements in this regard each test subject had to perform a standardized series of tests. A total of eight test with different conditions were conducted. While the first four tests were performed on a static surface the surface was unstable for the last four tests. Tests two, four, six and eight were performed with eyes closed and a 40mm thick foam mat was also used for tests three, four, seven and eight. In total 71 people aged between 50 and 79 were tested and interviewed for the data collection. Of these 40 were female and 31 were male. The statistical program SPSS was used to examine the measured values of the parameters COPT (Center of Pressure track) and ROM (Range of Motion) for differences and correlations.

Looking at the results regarding the correlation between the anthropometric parameters of body weight and height in relation to the COPT and ROM values a low to moderate correlation can be seen. The more unstable the surface becomes the greater the differences between the absolute and height-adjusted measurements for both genders. Especially when the visual feedback system is removed, the measurements for men are significantly higher than those for women. As expected the COPT and ROM mean values of the dynamic measurement series are significantly higher than the mean values of the static measurement series. It can't be assumed with certainty that there are correlations between static and dynamic posture control in one test subject. When the visual feedback system is switched off this seems to play a major role especially on unstable surfaces. The somatosensory system is particularly challenged when the 40mm thick foam mat is used on a fixed measuring plate. As has already been stated several times in the current literature this series of measurements and the evaluations show that there are high linear correlations between the measurement parameters COPT and ROM.

Keywords: balance, postural control, posturography, older age

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	10
2 theoretische Grundlagen	13
2.1 Haltungskontrolle	13
2.1.1 koordinative Fähigkeiten	13
2.1.2 sensomotorische Fähigkeiten	20
2.2 Posturographie	22
2.2.1 statische und dynamische Messmethoden	23
2.2.2 aktuelle Messgeräte	23
2.3 aktueller Forschungsstand	28
2.3.1 Studien zum Einfluss des somatosensorischen Systems auf die Haltungskontrolle	29
2.3.2 Studien zum Einfluss des visuellen Systems auf die Haltungskontrolle	30
2.3.3 Studien über Zusammenhänge zwischen statischer und dynamischer Haltungskontrolle	30
2.3.4 Studien zum Einfluss der Anthropometrie auf die Haltungskontrolle	31
3 Forschungsfragen	32
3.1 Fragen zum Einfluss des somatosensorischen Systems	32
3.2 Fragen zum Einfluss des visuellen Systems	32
3.3 Fragen zu Zusammenhängen bzw. Unterschieden zwischen statischer und dynamischer Haltungskontrolle	32
3.4 Fragen zum Einfluss der Anthropometrie	33
4 Methodik	34
4.1 Probandinnen und Probanden	34
4.1.1 Ein- und Ausschlusskriterien	35
4.2 Das Testgerät sense wave medical	36
4.3 Testbedingungen und –durchführung	37
4.4 Messparameter	41
4.4.1 COPT - center of pressure track	43

4.4.2 ROM - range of motion	45
4.5 statistische Datenauswertung SPSS	46
5 Ergebnisse	49
5.1 deskriptive Statistik	49
5.1.1 anthropometrische Daten	49
5.1.2 absolute Referenzwerte des COPT	49
5.1.3 absolute Referenzwerte des ROM	56
5.2 Einfluss der Anthropometrie	61
5.2.1 Zusammenhang zwischen Körpergröße und COPT	62
5.2.2 Zusammenhang zwischen Körpergröße und ROM	66
5.2.3 Zusammenhang zwischen Körpergewicht und COPT	71
5.2.4 Zusammenhang zwischen Körpergewicht und ROM	75
5.3 Geschlechterspezifische Unterschiede	79
5.3.1 Vergleich der absoluten Referenzwerte	79
5.3.2 Vergleich der körpergrößenbereinigten Referenzwerte	81
5.4 Unterschiede / Zusammenhänge statisch und dynamisch	83
5.5 Einfluss des visuellen Systems	85
5.6 Einfluss des somatosensorischen Systems	86
5.7 Zusammenhänge zwischen COPT und ROM	87
6 Diskussion	92
7 Zusammenfassung	96
Literaturverzeichnis	99
Abbildungsverzeichnis	106
Tabellenverzeichnis	110
Anhang	111

Abkürzungsverzeichnis

BMI	Body Mass Index
COG	Center of Gravity
COP	Center of Pressure
COPT	Center of Pressure track, Bewegungsdistanz als Weg
F-high	hohe Frequenzen der Bewegung
F-low	niedrige Frequenzen der Bewegung
KSP	Körperschwerpunkt
ROM	Range of Motion, Bewegungsumfang als Fläche
RQ	Frequenzharmonie, Harmonie der Frequenzanteile der Bewegungs-Regelungs-Steuerungen
SMS	sensomotorische System
so -	somatosensorischer Feedbackpfad
STEI	Stabilitäts-Energie-Index, Ökonomie der Bewegung
ve -	vestibulärer Feedbackpfad
vi -	visueller Feedbackpfad
WD	weight distribution, Gewichtsverteilung, bevorzugte Standposition, Ausrichtung
WDI	weight distribution index, Position des center of gravity bei Kraftmessplatten und Fz
ZNS	Zentrales Nervensystem

1 Einleitung

Wenn man im Alltag mit den öffentlichen Verkehrsmitteln unterwegs ist, ist es in unserer Gesellschaft eigentlich selbstverständlich, dass wir Personen den eigenen Sitzplatz anbieten, wenn man erkennt, dass diese ihn mehr benötigen als man selbst. Dafür können mehrere Gründe vorliegen.



Abbildung 1: Piktogramm zum überlassen eines Sitzplatzes (Wiener Linien)

Die Personen sind zum Beispiel körperlich Beeinträchtigt, hoch Schwanger, mit einem oder mehreren Kleinkindern unterwegs oder gehören zu der Personengruppe ab dem späten Erwachsenenalter. Die Intention, die hinter dieser Höflichkeitsform steckt, besteht darin, dass diese Personengruppen während der Fahrt nicht umfallen und stürzen sollen und somit sich nicht verletzen. Denn das, was diese Personen vermutlich alle gemeinsam haben, ist folgendes: sie können ihren Körper noch nicht oder nicht mehr so gut im Gleichgewicht halten und ausbalancieren und laufen Gefahr, besonders beim Anfahren und beim Bremsen des Fahrobjektes, die Haltung zu verlieren, umzufallen und sich somit Verletzungen zuzuziehen. Dieses Beispiel verdeutlicht sehr gut, wie sehr im alltäglichen Leben die Haltungskontrolle des Körpers und somit das Gleichgewicht eine Rolle spielt.

Um die Haltungskontrolle heutzutage zu testen und bewerten zu können, wird vor allem im klinischen Setting die sogenannte Posturographie angewandt. Bei dieser maschinellen Testmethode werden mit Hilfe von Kraftmessplatten und anderer Technologie die Körperschwerpunktverlagerung, insbesondere deren zurückgelegte Strecke und Bewegungsfläche, und die Druckverteilung über die Füße im beidbeinigen oder einbeinigen Stand ermittelt und berechnet. Aus den Resultaten können daraufhin Rückschlüsse auf mögliche Störungen oder Erkrankungen geschlossen werden.

In dieser Masterarbeit geht es um die posturographische Messung von älteren, gesunden Erwachsenen im Alter von 50 bis 79 Jahren. Von hauptsächlichem Interesse ist hierbei, ob es Zusammenhänge bzw. Unterschiede zwischen Frauen und Männern bezüglich der Haltungskontrolle auf stabilem bzw. instabilem Untergrund und mit geöffneten bzw. geschlossenen Augen gibt. Des Weiteren ist beabsichtigt die Messdaten hinsichtlich möglicher Zusammenhänge zwischen der Haltungskontrolle und anthropometrischen

Parametern auszuwerten und herauszufinden, ob es hierbei mögliche Unterschiede aufgrund des Geschlechts gibt. Um genaue Aussagen über mögliche Beziehungen bestimmter Parameter zu einander treffen zu können, werden die gemessenen Daten mit dem Statistikprogramm SPSS ausgewertet.

Die Hauptaufgabe dieser Masterarbeit besteht darin mit Hilfe eines neu entwickelten Posturographiegeräts Referenzdaten für eine statische und dynamische Messreihe zu erheben. Die dabei gemessenen Parameter „Bewegungsstrecke als Weg“ (center of pressure track, COPT) und „Bewegungsumfang als Fläche“ (range of motion, ROM) werden jeweils bei insgesamt acht Einzelmessungen pro Probandin und Probanden erhoben und sind von besonderer Relevanz für diese vorliegende Arbeit. Die zusätzlich gesammelten Daten, finden in den nachfolgenden Kapiteln hingegen keine weitere Verwendung.

Nach der Erhebung der Messdaten und deren Analyse, sollen folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

- Welche Unterschiede gibt es zwischen der statischen und dynamischen Haltungskontrolle bezüglich des COPT und ROM?
- Welche Folgen hat der Wegfall des visuellen Systems auf die statische und dynamische Haltungskontrolle?
- Wie beeinträchtigt das Stehen auf instabilem Untergrund die statische und dynamische Haltungskontrolle?
- Hängen die statische und dynamische Haltungskontrolle mit anthropometrischen Parametern zusammen?

Diese Masterarbeit ist in folgende Abschnitte gegliedert:

Kapitel 2 befasst sich mit der Darstellung der theoretischen Grundlagen und relevanten Begriffserklärungen, sowie der aktuellen Forschungslage. Hierbei wird nicht nur auf die Haltungskontrolle und insbesondere auf die Gleichgewichtsfähigkeit eingegangen, sondern es wird auch die Posturographie, deren Technik und Anwendungsgebiete bzw. Forschungsbereiche genauer beschrieben. In weiterer Folge werden die Forschungsfragen in Kapitel 3 konkretisiert und näher veranschaulicht. Daraufhin geht es in Kapitel 4 um die genaue Beschreibung der angewendeten Methodik. Insbesondere geht es um die Ein- und Auswahlkriterien der Probandinnen und Probanden, um die genaue Technik des Test- und Messgerätes der Firma Senseproduct GmbH und um die Beschreibung einer detaillierten Durchführung einer Messung und deren ermittelten Parameter. Die Erläuterung der statistischen Auswertung mittels SPSS erfolgt auch in diesem Abschnitt. Anschließend werden in Kapitel 5 die erhobenen und ausgewerteten

Ergebnisse anschaulich präsentiert und dargestellt. Kapitel 6 befasst sich mit der Diskussion und Interpretation der herausgearbeiteten Ergebnisse. Zum Abschluss werden in Kapitel 7 die wichtigsten Resultate zusammengefasst und es wird ein Ausblick auf weitere mögliche Forschungsfragen geworfen.

2 theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel geht es hauptsächlich um die Erläuterung und Konkretisierung der für die weiterführenden Abschnitte wichtigen Begrifflichkeiten. Es wird ausführlich auf die Haltungskontrolle, die Posturographie und den aktuellen wissenschaftlichen Forschungsstand diesbezüglich eingegangen. Hinsichtlich der Haltungskontrolle geht es vor allem um die koordinativen Fähigkeiten, insbesondere der Gleichgewichtsfähigkeit, und den sensomotorischen Fähigkeiten. In den Passagen über die Posturographie werden die früheren sowie aktuellen Messmethoden näher beleuchtet. Zu guter Letzt wird in Kapitel 2.3 der derzeitige wissenschaftliche Forschungsstand dargelegt.

2.1 Haltungskontrolle

Um den Körper in einer bestimmten Position zu halten ist ein genaues Zusammenspiel von Muskulatur, Bändern, Sehnen, Knochen und dem kompletten Nervensystem wichtig. Die Kontrolle über die Position des Körpers im Raum findet vorrangig unbewusst statt. Hierbei spielen neben den koordinativen Fähigkeiten vor allem auch die sensomotorischen Fähigkeiten eine entscheidende Rolle. In den nachfolgenden Abschnitten wird versucht die Haltungskontrolle darzustellen und einen ausführlichen Überblick über die dazugehörigen wichtigen koordinativen bzw. sensomotorischen Fähigkeiten zu geben, wobei der Gleichgewichtsfähigkeit besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird.

2.1.1 koordinative Fähigkeiten

Der Begriff koordinative Fähigkeiten entstand in den siebziger Jahren und löste die Bezeichnung „Gewandtheit“ ab. Hirtz (1985, S.6) verstand unter den koordinativen Fähigkeiten „die Vielgestaltung der Bewegungshandlungen im Sport und in anderen Bereichen des gesellschaftlichen Lebens“. 1994 definierte Hirtz (S.138) die koordinativen Fähigkeiten als „eine Klasse motorischer Fähigkeiten, die vorrangig durch die Prozesse der Bewegungsregulation bedingt sind und relativ verfestigte und generalisierte Verlaufsqualitäten dieser Prozesse darstellen. Sie sind Leistungsvoraussetzung zur Bewältigung dominant koordinativer Anforderungen.“ Aus heutiger Sicht werden die koordinativen Fähigkeiten als die „Abstimmung aller Teilprozesse des motorischen Akts im Hinblick auf das Ziel“ beschrieben (Meinel & Schnabel, 2007, S.32). In der nachfolgenden Abbildung 2 hat Roth (2003) versucht die vielfältigen koordinativen Fähigkeiten anzuführen:

Adaptationsfähigkeit	Motorische Lernfähigkeit
Anpassungsvermögen	Motorische Speicherungsfähigkeit
Antizipationsfähigkeit	Motorische Vorstellungsfähigkeit
Auge-Hand-Koordination	Muskelentspannungsfähigkeit
Balancefähigkeit	Orientierungsvermögen
Beweglichkeit	Präzision
Bewegungsphantasie	Raumgefühl
Dynamische Flexibilität	Reaktionsvermögen
Elastizität	Regelungsfähigkeit
Geschicklichkeit	Regulationsfähigkeit
Gewandtheit	Rhythmisierungsfähigkeit
Gleichgewichtsvermögen	Steuerungsvermögen
Kinästhetische Differenzierungsfähigkeit	Umstellungsfähigkeit
Kombinationsvermögen	Wendigkeit
Kopplungsfähigkeit	Zeitgefühl

Abbildung 2: Begriffsvielfalt bei koordinativen Fähigkeiten (Roth, 2003, in N. Dreiling (Hrsg.), Methoden im Sportunterricht: ein Lehrbuch in 14 Lektionen)

Dies stellt jedoch nur einen Auszug von Begrifflichkeiten dar, die aufgrund von logischen Überlegungen und empirischen Methoden „wissenschaftlich“ abgeleitet und systematisiert wurden und mit Sicherheit um das Doppelte vergrößert werden könnte. Eine allgemein akzeptierte Einteilung der koordinativen Fähigkeiten kann laut der aktuellen Literatur nicht genau getroffen werden (Schnabel, Harre & Krug, 2011, S.137; Schaller & Wernz, 2015, S.20).

Die in der aktuellen Literatur am häufigsten genannten Fähigkeiten sind die *Gleichgewichts-, Orientierungs-, Reaktions-, Differenzierungs-, Kopplungs-, Rhythmus- und Umstellungsfähigkeit* (Meinel & Schnabel, 2007; Simonek, 2013; Schaller & Wernz, 2015).

Die *Gleichgewichtsfähigkeit* dient dem menschlichen Körper das Gleichgewicht zu halten oder es nach Positionsveränderungen möglichst rasch wieder zu gewinnen. Van Peppen et al. (2006) beschreiben das Gleichgewicht als einen Prozess des Erreichens, Erhaltens und Wiederherstellens der Balance während aller Arten von Haltungen und Aktivitäten. Die Gleichgewichtsfähigkeit ermöglicht zweckmäßige Lösungen motorischer Aufgaben bei sich ändernden Gleichgewichtsbedingungen (Bishops & Gerards, 2001, S. 19). Beispiele aus dem Sport und dem Alltag nach Bishops und Gerards (2001, S. 14):

- Die Fortbewegung mit einem Fahrrad fordert unser Gleichgewichtsgefühl heraus.

- Das Befördern einer Tasse, die auf einem Unterteller steht und mit Kaffee gefüllt ist, erfordert ein Gefühl für Balance, wenn nichts verschüttet werden soll.

Die *Orientierungsfähigkeit* ist die Fähigkeit, sich in der Vielfalt von räumlichen Positionen zu orientieren und zu bewegen. Des Weiteren ermöglicht die Orientierungsfähigkeit die räumlich-zeitliche Regulierung der Bewegung (Bischops & Gerards, 2001, S. 19).

Beispiele aus dem Sport und dem Alltag nach Bischops und Gerards (2001, S. 15):

- Bei einem Spiel ist es unabdingbar, dass sich der Spieler im Raum orientieren kann, will er erfolgreich spielen.
- Im Alltag ist es bedeutsam, sich sowohl in bekannter Umgebung erneut orientieren zu können, wie auch sich in unbekannter Gegend zurechtzufinden.

Die *Reaktionsfähigkeit* ermöglicht es, Informationen bzw. Signale aufzunehmen und darauf schnell und mit einer gezielten Bewegung zweckmäßig zu reagieren. Außerdem ermöglicht die Reaktionsfähigkeit die umgehende Ausführung einer Bewegungshandlung nach einem klaren Signal (Bischops & Gerards, 2001, S. 18). Beispiele aus dem Sport und dem Alltag nach Bischops und Gerards (2001, S. 16):

- Jeder Sprinter zeigt höchste Aufmerksamkeit und Anspannung, wenn er den Startschuss zum 100-m-Lauf erwartet, um nicht schon am Start wertvolle Zeit zu verlieren.
- Beim Verschütten einer Flüssigkeit kann der denkbare Schaden manchmal durch eine schnelle Reaktion erfolgreich begrenzt werden.

Die *Differenzierungsfähigkeit* ist die Fähigkeit, Bewegungen angemessen und dosiert auf die jeweilige Situation bezogen auszuführen. Dabei werden veränderte Spannungszustände von Muskeln und Sehnen im Bewegungsgefühl wahrgenommen und situativ angepasst. Darüber hinaus erlaubt die Differenzierungsfähigkeit die Kontrolle und Steuerung des menschlichen Organismus in Bezug auf die Umwelt (Bischops & Gerards, 2001, S. 19). Beispiele aus dem Sport und dem Alltag nach Bischops und Gerards (2001, S. 15):

- Setzt der Basketballspieler beim Korbwurf zu viel Kraft ein, springt der Ball vom Brett zurück und fällt nicht in den Korb.
- Wollen wir selbst die Fahrbahn überqueren, müssen wir Entfernungen und Geschwindigkeit der nahenden Fahrzeuge situationsgerecht einschätzen können, soll unsere Querung nicht zu einem gefährlichen Erlebnis werden.

Die *Kopplungsfähigkeit* ist die Fähigkeit, verschiedene (Teil-) Bewegungen erfolgreich miteinander zu verbinden und einen flüssigen Bewegungsablauf zu erzeugen. Weiterhin ermöglicht die Kopplungsfähigkeit die zweckvolle Abstimmung von Einzelbewegungen in Bezug auf die Gesamtkörperbewegung (Bischops & Gerards, 2001, S. 19). Beispiele aus dem Sport und dem Alltag nach Bischops und Gerards (2001, S. 15):

- Beim normalen Dauerlauf stimmen wir Arm- und Beinbewegungen aufeinander ab, soll der Lauf optimal ablaufen und flüssig aussehen.
- Während des Treppenaufstiegs zur Wohnung wird gleichzeitig in den Manteltaschen der Türschlüssel gesucht. Das aber gelingt nur dann, wenn wir es verstehen, verschiedene Bewegungen miteinander zu koppeln.

Die *Rhythmisierungsfähigkeit* ermöglicht Bewegungsabläufe rhythmisch zu gestalten, zu akzentuieren oder einen gegebenen Rhythmus zu erfassen. Rhythmusfähigkeit ermöglicht die sinnvolle Klassifizierung von Bewegungsabläufen und ihre Organisation in rhythmischen Ganzheiten (Bischops & Gerards, 2001, S. 18). Beispiele aus dem Sport und dem Alltag nach Bischops und Gerards (2001, S. 16):

- Nur wenn ein Hürdenläufer beim Überlaufen der Hürden seinen Rhythmus findet und nicht an einer Hürde stolpert, kann sich für ihn eine gute Zeit ergeben.
- Wer gelegentlich ein Tänzchen wagt, erfährt am eigenen Leib die Bedeutung der Rhythmusfähigkeit an sich und dem Tanzpartner oder der Tanzpartnerin.

Die *Umstellungs-/Anpassungsfähigkeit* ist die Fähigkeit, während des Handlungsvollzuges das Handlungsprogramm zu verändern, den Umgebungsbedingungen anzupassen oder evtl. ein völlig neues und adäquates Handlungsprogramm zu starten.

Umstellungsfähigkeit ermöglicht die Harmonisierung des Handlungsprogramms an neue Gegebenheiten und veränderte Situationen (Bischops & Gerards, 2001, S. 18). Beispiele aus dem Sport und dem Alltag nach Bischops und Gerards (2001, S. 16):

- Geht der Ball beim Angriff der eigenen Mannschaft verloren, muss der Spieler sich möglichst schnell auf ein Defensivverhalten umstellen, um der neuen Situation gerecht zu werden.
- Benutzt jemand anstelle des bisherigen Schnurtelefons ein Handy, muss sich der Benutzer mit einer neuen Bedienungsanleitung und den vorhandenen Nutzungsmöglichkeiten vertraut machen und darauf einstellen.

Des Weiteren gibt es die Einteilung in allgemeine und spezielle koordinative Fähigkeiten, wobei die allgemeinen koordinativen Fähigkeiten im Alltag zum Tragen kommen und als Grundlage für zum Beispiel viele verschiedene Sportarten gelten (Hirtz, 2002, S.39). Die

speziellen koordinativen Fähigkeiten hingegen treffen insbesondere auf sportartspezifische Fähigkeiten zu, die meistens nur durch sportartspezifisches Training angeeignet werden können (Meinel & Schnabel, 2007; Weineck, 2010).

Die koordinativen Fähigkeiten entwickeln sich im Sinne der motorischen Ontogenese in verschiedenen Entwicklungsphasen des Menschen. Nach Meinel und Schnabel (2007) findet diese motorische Entwicklung in den, aus der nachfolgenden Tabelle 1 herauszulesenden Altersspannen statt:

Tabelle 1: Entwicklungsphasen in der motorischen Ontogenese

Bezeichnung	Alterspanne (Lebensjahr)	Phase der...
Neugeborenenalter	0,1 – 0,3	Ungerichteten Massenbewegungen
Säuglingsalter	0,4 – 1,0	Aneignung erster koordinierter Bewegungen
Kleinkindalter	1,1 – 3,0	Aneignung vielfältiger Bewegungsformen
Frühes Kindesalter	3,1 – 6./7.	Vervollkommnung vielfältiger Bewegungsformen und der Aneignung erster Bewegungskombinationen
Mittleres Kindesalter	7,1 – 9./10.	Schnellen Fortschritte in der motorischen Lernfähigkeit
Spätes Kindesalter	weibl. 10./11. – 11./12. männl. 10./11. – 12./13.	Besten motorischen Lernfähigkeit in der Kindheit
Frühes Jugendalter (Pubeszenz)	weibl. 11./12. – 13./14. männl. 12./13. – 14,5	Umstrukturierung von motorischen Fähigkeiten und Fertigkeiten
Spätes Jugendalter (Adoleszenz)	weibl. 13./14. – 17./18. männl. 14,6 – 18./19.	Sich ausprägenden geschlechtsspezifischen Differenzierung fortschreitenden Individualisierung und zunehmenden Stabilisierung

Frühes Erwachsenenalter	18./20. – 30.	Relativen Erhaltung der motorischen Lern- und Leistungsfähigkeit
Mittleres Erwachsenenalter	30. – 45./50.	Allmählichen motorischen Leistungsminderung
Spätes Erwachsenenalter	45./50. – 60./70.	Verstärkten motorischen Leistungsminderung
Späteres Erwachsenenalter	ab 60./70.	Ausgeprägten motorischen Leistungsminderung

Quelle: mod. n. Meinel & Schnabel, 2007, S.19

Meinel und Schnabel (2007) sind der Meinung, dass ein Koordinationstraining im Idealfall schon in der frühen Kindheit ihren Platz finden sollte, da in dieser Entwicklungsphase die Lernfähigkeit am größten und am progressivsten ist. Damit zum Beispiel Sportlerinnen und Sportler im späteren Lebensalter ihr komplettes sportliches Potenzial abrufen und Erfolge verbuchen können, ist es für sie daher unumgänglich schon im frühen Kindesalter grundlegende koordinative Fähigkeiten zu trainieren. Die koordinativen Fähigkeiten getrennt voneinander zu trainieren ist jedoch nicht möglich, da jede körperliche Aktivität und Bewegungshandlung immer mehrere Fähigkeiten umfasst und einschließt (Bertram & Laube, 2008, S.75). Koordinationstraining sollte neben dem Ausdauer- und Krafttraining bis ins hohe Alter auch von Nichtsportlerinnen und Nichtsportlern betrieben werden, um die erworbenen Fähigkeiten zu erhalten und um bis ins hohe Alter mobil, selbstständig und belastbar zu bleiben.

2.1.1.1 Gleichgewichtsfähigkeit

In allen Versuchen die koordinativen Fähigkeiten einzuordnen, taucht die Gleichgewichtsfähigkeit, der Gleichgewichtssinn, das Gleichgewichtsgefühl, das Gleichgewichtsvermögen oder die Balance auf. In der Physiotherapie und in der Medizin werden vorwiegend die Begriffe Balance und Gleichgewichtssinn verwendet, während die Bezeichnung Gleichgewichtsfähigkeit eher in der Sportmotorik gebraucht wird (Laube, 2009). Die Gleichgewichtsfähigkeit wird dabei als ein bestimmtes Resultat des sensomotorischen Systems verstanden. Im Rahmen der koordinativen Fähigkeiten nimmt die Gleichgewichtsfähigkeit also eine zentrale Position im Bereich der Motorik ein (Schaller & Wernz, 2015, S.55).

Den Körper „gegen die Schwerkraft über seiner Unterstützungsfläche im Gleichgewicht zu halten (postural control) oder diesen Zustand wiederherzustellen“, darunter verstehen

Diemer und Sutor (2007, S.89) die Gleichgewichtsfähigkeit. Wie in der folgenden Abbildung 3 zu erkennen ist, verfügt der menschliche Körper über eine Menge verschiedener Strategien und Vorgehensweisen, um die Gleichgewichtskontrolle zu bewahren:

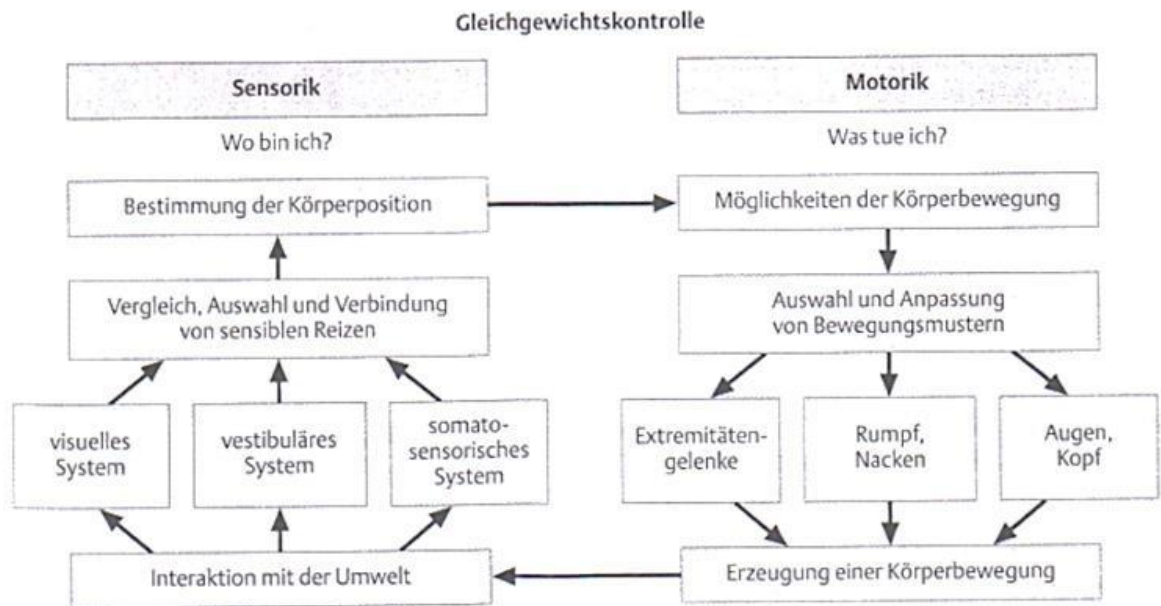


Abbildung 3: Systeme der Gleichgewichtskontrolle (Diemer & Sutor, 2007, S.89)

All diese Vorgänge der koordinativen Fähigkeiten basieren auf ein grundlegendes Zusammenspiel zwischen Nervensystem und Muskulatur (Hollmann & Strüder, 2009).

In der Literatur ist häufig von statischem und dynamischem Gleichgewicht die Rede. Für Schaller (2008; zit. n. Jansenberger, 2011, S. 75) ist die Gleichgewichtsfähigkeit die Fähigkeit das Gleichgewicht in relativer Ruhestellung (statisches Gleichgewicht) und während umfangreichen und auch schnellen Lageveränderungen des Körpers (dynamisches Gleichgewicht), bei unterschiedlichen und wechselnden Umweltbedingungen oder während der Lösung einer zweckmäßigen Aufgabe, zu erhalten oder wieder zu erlangen. Hohmann und Uhlig (2005, S.14) beschreiben das statische Gleichgewicht als Standsicherheit, bei der die Unterstützungslinie des Körperschwerpunktes (KSP) und die Wirkungslinie der Schwerkraft deckungsgleich sind. Das dynamische Gleichgewicht hingegen stellen sie als Bewegungssicherheit dar, bei der die Schwerpunktlage während der Bewegung durch wechselnden Kraftausgleich mit Körpergewicht und Unterstützungskräften reguliert wird (Hohmann & Uhlig, 2005, S.14). Es ist jedoch schwer immer eine eindeutige Zuordnung zu einem dynamischen oder statischen Gleichgewicht durchzuführen. Ziganek-Soehlke (2008, S. 43) und Zalpour (2010, S. 504) beschreiben zum Beispiel das statische Stehen auf einem stabilen

Untergrund schon als einen dynamischen Vorgang, welcher nur durch das autonome Zusammenspiel des visuellen, vestibulären und somatosensorischen Systems zustande kommt.

2.1.2 sensomotorische Fähigkeiten

Da das Verständnis über die physiologischen Grundlagen der Haltungskontrolle vor allem für die nachfolgenden Testverfahren wichtig ist, wird im Folgenden näher auf diese eingegangen.

Das sensorische System, mit seinen vestibulären, somatosensorischen bzw. propriozeptiven und visuellen Komponenten, gehört zusammen mit dem motorischen System zu den physiologischen Grundlagen der Haltungskontrolle. Die Funktionen des sensorischen Systems sind die „Aufnahme von körperäußeren und körperinneren Prozessen sowie Relationen des Körpers zur Umwelt“ und die „Verarbeitung in unterschiedlichen Instanzen“ (Heller, 2011, S.148). Heller (2011, S.149) zählt dazu drei Komponenten auf: Rezeptoren (Sensoren), afferente Nervenfasern und das zentrale Nervensystem (ZNS). Besonders für die Sportmotorik sind nach Heller (2011, S.150) nachfolgende sensorische Systeme wichtig:

- Visuelles System (Sehen)
- Auditorisches System (Hören)
- Vestibuläres System (Gleichgewicht, Lage im Raum)
- Somatosensorisches System
 - Kinästhetisches System (Stellung und Bewegung von Körperteilen)
 - Taktils System (Fühlen)
 - Nozizeptives System (Schmerz)

Wie in Abbildung 3 außerdem zu erkennen ist, beeinflussen sich die Sensorik und die Motorik gegenseitig. Dieses sensomotorische System (SMS) durchläuft immer einen bestimmten Regelkreis und ist miteinander verbunden. Wie erwähnt basiert dies durch ein grundlegendes Zusammenspiel zwischen Nervensystem und Muskulatur (Hollmann & Strüder, 2009). Für Laube (2009, S.43f) ist dieses Wirkungsgefüge für die gesteuerte oder geregelte Realisierung von Bewegungsabläufen verantwortlich. Wie in Abbildung 4 zu sehen, ist dies auch nach Laube (2009, S.44) immer als ein zusammenhängendes System aktiv.

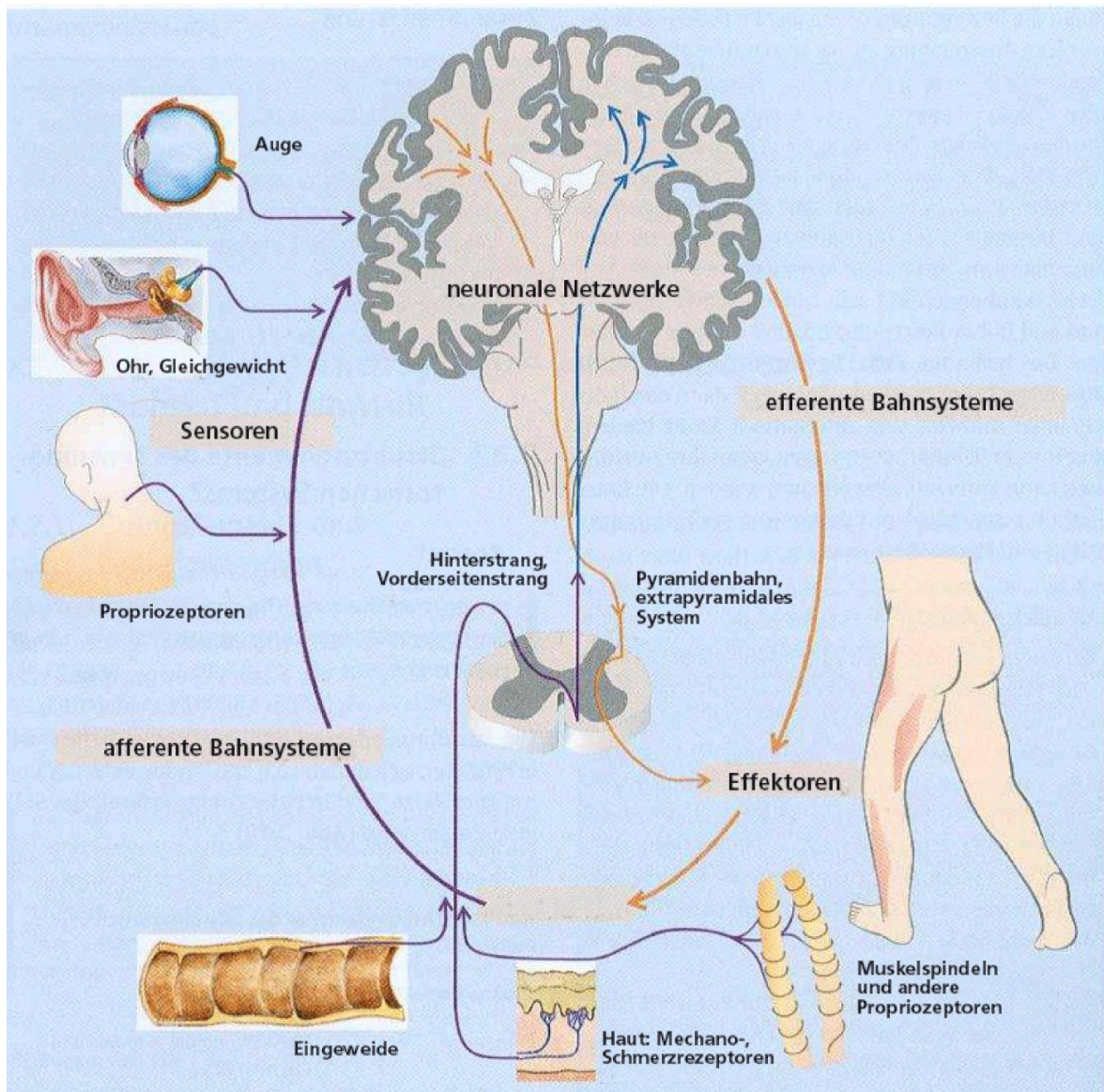


Abbildung 4: Sensomotorisches System (Laube, 2009, S.44)

Für Laube (2009, S.43) gliedert sich das SMS in folgende Bestandteile auf:

- **Rezeptoren**
Die Rezeptoren sind dafür zuständig Reize aus der Umwelt oder dem Inneren eines Organismus aufzunehmen und umzuwandeln.
- **Afferente Bahnsysteme**
Über die afferenten Bahnsysteme werden die aufgenommenen und umgewandelten Reize in Richtung neuronalem Netzwerk geleitet.
- **Sensoren**
Die Sensoren nehmen, genauso wie die Rezeptoren, externe und interne Informationen auf und leiten die umgewandelten Reize über die afferenten Bahnen zum neuronalen Netzwerk weiter.

- **Neuronale Netzwerke**
Hier werden die ankommenden Informationen aufgenommen, beurteilt und verarbeitet und eine gerichtete Antwort gebildet und weitergeleitet.
- **Efferente Bahnsysteme**
Über die efferenten Bahnsysteme wird die gebildete gerichtete Antwort zur Ausführung an die Effektoren gesendet.
- **Effektoren**
Die Effektoren führen den über die efferenten Bahnen ankommenden Antwortimpuls aus, indem sie mit einer spezifischen Muskelfunktion reagieren.

Wenn durch Verletzungen oder degenerativen Erkrankungen eines der Bestandteile des SMS gestört ist, können funktionelle Veränderungen des sensomotorischen Systems die Folge sein. Dies ist vor allem bei Erkrankungen des Stoffwechsels (Diabetes mellitus Typ 2, Fettstoffwechselstörung), des Herzkreislaufsystems (Arteriosklerose, Hypertonie) und degenerativen Gelenkerkrankungen des Stütz- und Bewegungsapparats der Fall (Laube, 2004).

Wenn die Haltungskontrolle gestört ist, wird dies oft mit neurologischen Erkrankungen in Verbindung gebracht, bei denen die Personen Gefahr laufen zu stürzen und sich zu verletzen. An den aktuellen Posturographiegeräten können daher heutzutage nicht nur Messungen der Haltungskontrolle durchgeführt werden, sondern es kann auch ein auf die Patientin oder den Patienten abgestimmtes Training stattfinden. Sowohl bei den Messungen wie auch bei den Trainingseinheiten, werden dabei die Körperschwerpunktverlagerung, die Haltungsstabilität, die Gewichtsverteilung auf beide Beine und/oder die Fähigkeit zur rhythmischen Gewichtsverlagerung gemessen oder eben trainiert.

2.2 Posturographie

Die Haltungskontrolle kann über verschiedene Tests beurteilt werden. Im Allgemeinen bezeichnet man apparative Messungen der Standstabilität und der Haltungskontrolle als Posturographie (Wilke, 2000). Hierbei können statische und dynamische Messmethoden zum Einsatz kommen (Duarte & Freitas, 2010; Timmann-Braun, 2012). Da das Verständnis über die Messtechnik und Messparameter für die weitere Interpretation der Messergebnisse von besonderer Bedeutung ist, wird daher in weiterer Folge näher auf die statische und dynamische Posturographie und deren Messtechniken bzw. –parameter eingegangen.

Zurückblickend entstand der erste Test zur Beurteilung der Haltungskontrolle im Jahre 1853 von Romberg (Bös, 2001, S.262). Bei diesem Test mussten die Probandinnen und

Probanden ihre Beine zusammenschließen, die Arme nach vorne austrecken, die Augen schließen und so ruhig wie möglich stehen bleiben. Wenn die Probandinnen und Probanden anfangen stark mit dem Körper hin und her zu schwanken oder Gefahr laufen zu stürzen, so wurde eine Beeinträchtigung der Haltungskontrolle diagnostiziert. Der Romberg-Test, sowie viele weitere in der Literatur beschriebene nicht apparative Tests, basieren bis Ende des neunzehnten Jahrhunderts alle auf eine subjektive Beurteilung des Testers bzw. der Testerin. Erst ab dem zwanzigsten Jahrhundert versuchten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler objektive und standardisierbare Messverfahren zur Beurteilung der Haltungskontrolle zu entwickeln. Im Laufe der Zeit entstanden dabei unterschiedliche Messgeräte, die mittlerweile verschiedenste Messungen durchführen können.

2.2.1 statische und dynamische Messmethoden

Wie vorausgehend schon erwähnt, ist das statische Stehen auf einem stabilen Untergrund schon als ein dynamischer Vorgang einzuordnen, welcher nur durch das autonome Zusammenspiel des visuellen, vestibulären und somatosensorischen Systems zustande kommt. Die Einteilung in eine statische Messmethode bedeutet hierbei also eine Messung auf einem nicht beweglichen und stabilen Untergrund ohne Störgrößen von außen, während bei einer dynamischen Messmethode der Untergrund beweglich und instabil ist. Sei es durch eine weiche Matte oder einen beweglichen Untergrund.

Bei den aktuellen posturographischen Messmethoden ist es üblich verschiedene Schwierigkeitsstufen vorzugeben. Zum Beispiel durch eine Testung mit offenen oder geschlossenen Augen. Somit kann der Einfluss des visuellen Systems überprüft werden. Beim Versuch Aussagen über das somatosensorische System treffen zu können, wird die Untergrundbeschaffenheit mit Hilfe von weichen Matten bzw. einem beweglichen Untergrund verändert. Wenn nun gleichzeitig auch noch das auditorische System, zum Beispiel durch Tragen eines Kopfhörers, ausgeschaltet ist, kann man dadurch Rückschlüsse auf das vestibuläre System ziehen.

2.2.2 aktuelle Messgeräte

Heutzutage werden verschiedene Systeme bzw. Geräte von unterschiedlichen Herstellern zur Messung und Einschätzung der Haltungskontrolle verwendet.

Das in den aktuellen Studien am häufigsten verwendete System, ist das Tetrax-FB-System (Cho & An, 2014; Kong, Jeong & Kim, 2015; Fukunaga et al., 2014; Yu et al., 2013). Die Technik, die dieses System verwendet, besteht aus piezoelektrischen Bauteilen, die in einer Messplattform verbaut sind. Zur Beurteilung der erzeugten

Druckschwankungen einer Probandin oder eines Probanden ist die Messplattform beim Tetrax-FB-System in vier Bereiche eingeteilt, von denen zwei den linken und rechten Vorfuß bzw. die Zehen und die anderen zwei Abschnitte die linke und rechte Ferse messen. Darüber kann man zum Beispiel über die Messung der Bodenreaktionskräfte die Verschiebung des Körperschwerpunktes (KSP) messen bzw. seine vertikale Projektion auf den Boden (Center of Gravity, COG) bestimmen. Des Weiteren kann man den Druckmittelpunkt auf der Unterstützerfläche ermitteln (Center of pressure, COP), die zurückgelegte Strecke des Druckmittelpunkts auf der Unterstützerfläche abmessen und graphisch darstellen (Center of Pressure track, COPT), den Bewegungsumfang aufzeichnen (Range of Motion, ROM) usw. Die ermittelten Daten werden digitalisiert verarbeitet und daraus weitere verschiedene Parameter berechnet. (Tetrax FB, 2016)

Ga Eun Lee et al. (2012, S. 532) führten ihre Studie mit folgenden Testbedingungen am Posturographiegerät Tetrax® durch. Die Probandinnen und Probanden hatten die Aufgabe so ruhig wie möglich im beidbeinigen Stand auf den angezeichneten Standflächen zu stehen. Insgesamt gab es acht verschiedenen Testbedingungen um die Haltungskontrolle bewerten und einordnen zu können.

- Stehen mit offenen Augen
- Stehen mit geschlossenen Augen
- Stehen auf einem Schaumgummi-Kissen mit offenen Augen
- Stehen auf einem Schaumgummi-Kissen mit geschlossenen Augen
- Stehen mit geschlossenen Augen und den Kopf nach rechts geneigt
- Stehen mit geschlossenen Augen und den Kopf nach links geneigt
- Stehen mit geschlossenen Augen und den Kopf nach vorne geneigt
- Stehen mit geschlossenen Augen und den Kopf nach hinten geneigt

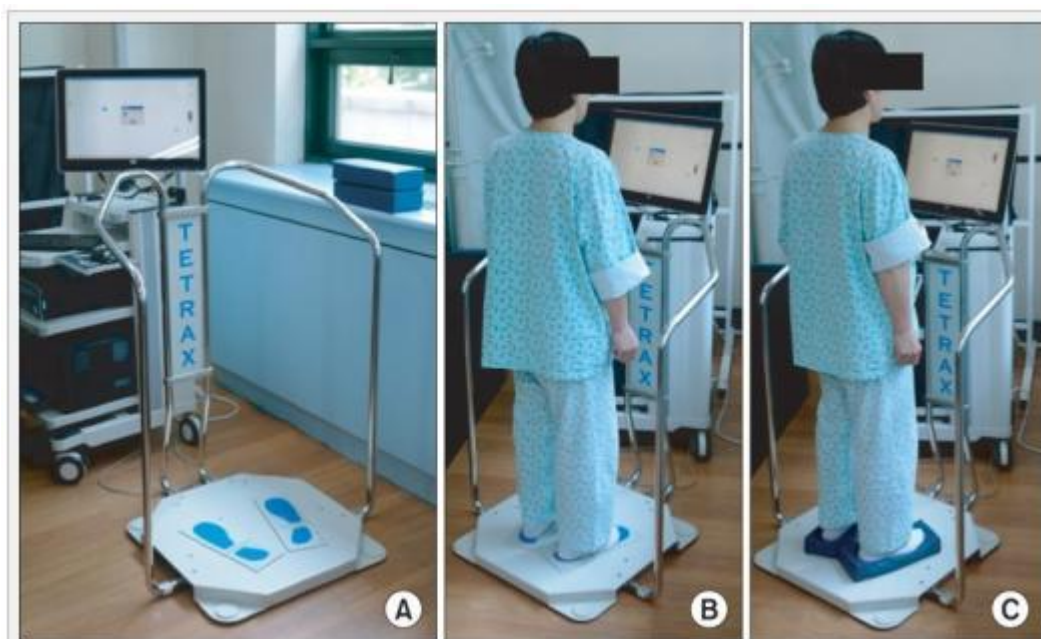


Abbildung 5: Tetrax® (Ga Eun Lee et al., 2012, S.532)

Ein weiteres Test- und Trainingsgerät ist der SMART-Balance-Master der Firma NeuroCom®. Dieses Posturographiegerät nutzt eine dynamische rotationsfähige Kraftmessplatte. Durch die aufgebrachten vertikalen Kräfte, die über die Füße der Probandinnen und Probanden auf die Platte wirken, wird die Schwerpunktposition und daraus die Haltungskontrolle abgeleitet bzw. quantifiziert. Um den Einfluss des visuellen Systems auf die Haltungskontrolle zu messen, gibt es eine künstliche Landschaft in Form von einer beweglichen Umgebung. Die in den aktuellen Studien am häufigsten durchgeführte Untersuchung auf diesem Gerät ist der Sensory Organization Test (SOT). Bei dieser Untersuchung soll das visuelle, somatosensorische und vestibuläre System getestet werden, um daraufhin Folgerungen auf die Haltungskontrolle schließen zu können.



Abbildung 6: SMART-Balance-Master (Natus Medical Incorporated, 2015, S. 7)

Beim Sensory Organization Test gibt es insgesamt sechs verschiedene Testbedingungen, die jeweils drei Mal für 20 Sekunden durchgeführt werden. Wie in Abbildung 6 zu sehen ist, ist bei den ersten drei Testbedingungen die Untergrundplattform fixiert und bei den weiteren drei Testungen nicht fixiert. Bei den Testungen eins und vier sind die Augen

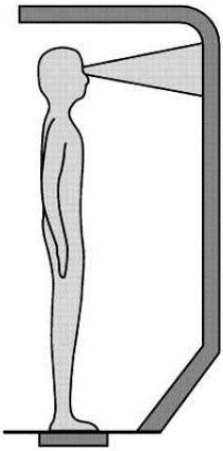
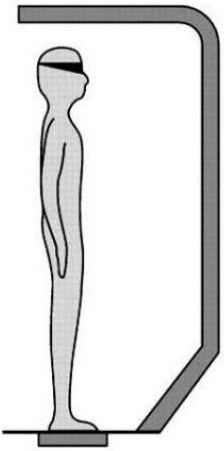
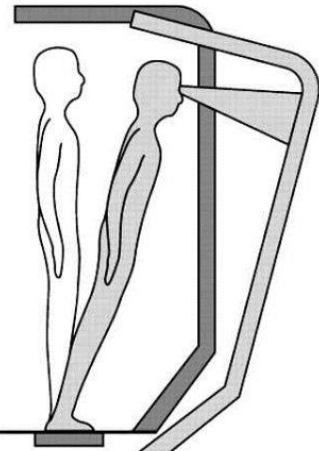
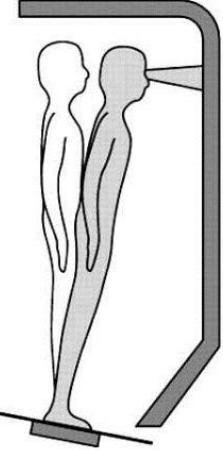
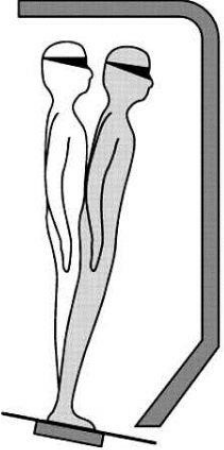
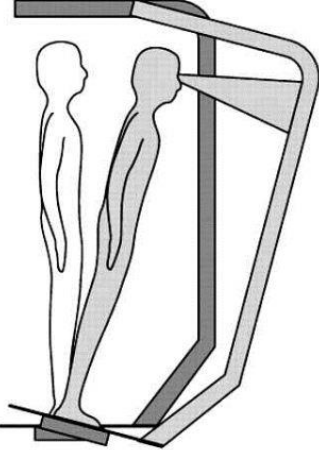
	Normal vision	Eyes closed	Sway referenced vision
Fixed surface	 1	 2	 3
Sway referenced surface	 4	 5	 6

Abbildung 7: Sensory Organization Test mit dem SMART-Balance-Master (Resch, J. E. et al., 2011, S. 171)

geöffnet und die Umgebung bewegt sich nicht. Die Testungen zwei und fünf werden mit geschlossenen Augen durchgeführt. Während in den Testungen drei und sechs die Augen geöffnet sind und sich die künstliche Umgebung, den möglichen Körperschwankungen entsprechend, mit bewegt. Dadurch soll das somatosensorische System ausgeschaltet werden, was einer Testung auf einer instabilen Matte entsprechen soll.

Neben diesen beiden Posturographiegeräten gibt es des Weiteren noch das Balance-System SD von Biodex®. Dieses Test- und Trainingsgerät benutzt einen mikroprozessorgesteuerten Aktuator, um die Stabilität einer hängenden kreisförmigen

Kraftplatte einzustellen. Diese hat die Möglichkeit in alle Richtungen, je nach Einstellung des Schwierigkeitsgrades, sich um maximal 20° zu neigen. Mit einer Abtastrate von 100 Hz misst das Gerät die möglichen Abweichungen der Probandinnen und Probanden von der Mitte der Plattform und ermittelt dadurch die Haltungskontrolle bei vorgegebener Aufgabenstellung. Der Biodex DLOS-Test kann in verschiedenen Schwierigkeitsstufen (1 bis 12) durchgeführt werden und beinhaltet folgende Aufgabenstellung. Zuerst wird der statische Druckmittelpunkt der Probandinnen und Probanden ermittelt. Von diesem Druckmittelpunkt aus soll der Körperschwerpunkt immer so schnell und genau wie möglich in ein zufällig auftauchendes Ziel bewegt werden, um daraufhin wieder zum Druckmittelpunkt zurück zu kehren. Die Ziele befinden sich immer im 45° Abstand zueinander rings um den Druckmittelpunkt angeordnet und werden auf einem Bildschirm dargestellt, wie man aus Abbildung 7 entnehmen kann. Nach erfolgreicher Erreichung aller acht Ziele, wird die Haltungskontrolle bewertet, indem die Genauigkeit und die Geschwindigkeit der Zielerreichung beurteilt werden. (Pickerill & Harter, 2011)



Abbildung 8: Biodex-Balance-System (Medical Expo, Stabilometrische Plattform System™ SD)

Das österreichische Unternehmen Senseproduct GmbH nutzt in seinem Gerät „sense wave medical“ eine eigene biomechanische Messtechnik, auf die im Kapitel 4, neben der genaueren Beschreibung der Parameter, explizit eingegangen wird.



Abbildung 9: sense wave medical (Medical Expo, Stabilometrische Plattform)

2.3 aktueller Forschungsstand

Das die Sturzgefahr und die Anzahl an Stürzen mit steigendem Alter sich erhöhen ist aus verschiedenen Sichtweisen mehrfach wissenschaftlich erwiesen und gilt als fundiert (Becker et al., 2003; Nevitt et al., 1989; Kelsey et al., 1995; Goldman et al., 2001). Gillespie et al. (2003) weisen darauf hin, dass etwa jeder zehnte Sturz bei über 65-Jährigen zu einer behandlungspflichtigen Verletzung führt, wobei die Hälfte davon Frakturen darstellen. Am häufigsten treten dabei Knochenbrüche am Unter- und Oberarm und an der Hüfte auf. Hierbei sind die Folgen einer Hüftfraktur jedoch mit am gravierendsten, da diese häufig eine Verminderung der Selbstständigkeit bedeuten und in weiterer Folge eine erhöhte Mortalität aufweisen (Marufu, 2016). Des Weiteren zeigen Giannoulis, Calori und Giannoudis (2016) auf, dass die jährlichen Kosten für die Behandlung der Hüftfrakturen und ihrer Begleiterkrankungen in Großbritannien auf rund 2 Milliarden Pfund (£) (ca. 2,6 Milliarden Euro) geschätzt werden. Da die Lebenserwartung der Bevölkerung in den führenden Industriestaaten weiterhin kontinuierlich steigt (Buttler,

2003), werden dahingehend wachsende Kosten für das Gesundheitssystem prognostiziert.

Als Hauptursache von Stürzen im höheren Lebensalter, wird in der Literatur häufig eine verminderte Haltungskontrolle genannt (Coll-Planas et al., 2006; Nevitt et al., 1989; Pai et al., 2010). Im Sinne der motorischen Ontogenese entwickelt sich nach Meinel und Schnabel (2007) die motorische Leistungsfähigkeit, und somit auch die Haltungskontrolle, ab dem späten Erwachsenenalter (45./50. – 60./70. Lebensjahr) verstärkt zurück. Dieser Rückgang der Haltungskontrolle kann durch Krankheiten bzw. Beschädigungen des sensomotorischen Systems begünstigt und verstärkt werden (Fukunaga et al., 2014; Kong, Jeong & Kim, 2015). Demgegenüber sind nicht nur Pai et al. (2010) der Meinung, dass ein Training der koordinativen Fähigkeiten ein Leben lang bis ins hohe Alter zu einer Verbesserung der Haltungskontrolle führen kann (Ahmaidi et al., 2010; Bacellar et al., 2010; Bonfá et al., 2010; Cho & An, 2014; Yu et al., 2013). Somit ist besonders für Personen ab dem späten Erwachsenenalter die Überprüfung der aktuellen Haltungskontrolle ein wichtiges Thema, um eventuell frühzeitig präventiv bei bestehenden Defiziten handeln zu können.

Nachfolgend werden unterschiedliche Studien vorgestellt, in denen mit verschiedenen posturographischen Messmethoden die Haltungskontrolle getestet wurde.

2.3.1 Studien zum Einfluss des somatosensorischen Systems auf die Haltungskontrolle

Wie vorangehend schon beschrieben, haben nicht nur das visuelle und vestibuläre System Einfluss auf die Haltungskontrolle, sondern auch das somatosensorische System. Dieses System kann durch gezieltes, regelmäßiges Training verbessert und stabilisiert werden (Gaerlan et al., 2012). Dadurch kann die Haltungskontrolle bis ins hohe Alter und auch in anspruchsvollen Situationen länger aufrechterhalten werden.

Baltich et al. (2014) testeten unter anderem in ihren Untersuchungen die Haltungskontrolle mit geöffneten Augen auf stabilem Untergrund und auf instabilem Untergrund in Form einer Schaumstoffmatte. Dabei wurde festgestellt, dass es signifikante Unterschiede zwischen den Werten der verschiedenen Testbedingungen bezüglich des COPT gab. Die zurückgelegte Strecke des Körperschwerpunkts bei der Testung mit instabilem Untergrund war deutlich höher als bei stabilem Untergrund. Dadurch kann den Sensoren im Sprunggelenk eine hohe Bedeutung zugeordnet werden.

2.3.2 Studien zum Einfluss des visuellen Systems auf die Haltungskontrolle

Das visuelle System spielt für die Haltungskontrolle die wichtigste Rolle (Redfern, Yardley & Bronstein, 2001). In den Untersuchungen von Bouchard und Tétreault (2000) wurde festgestellt, dass eine verringerte Gleichgewichtsfähigkeit, bezüglich des statischen Stehens auf festem Untergrund, bei Kindern im Alter zwischen acht und dreizehn Jahren, welche unter Sehbeschwerden litten, bestand.

In einer weiteren Studie mit insgesamt 23 Probandinnen und Probanden wurde der Unterschied zwischen dem beidbeinigen Stand mit geöffneten und geschlossenen Augen untersucht. Zur Untersuchung wurde das Biodex Stability System verwendet. Ein Ergebnis war, dass es signifikante Unterschiede bezüglich der Stabilitätsindizes gab. Die Werte der Indizes OSI, APSI und MLSI waren mit geschlossenen Augen etwa drei Mal so hoch, wie die Werte mit geöffneten Augen (2,2; 1,6; 1,1). (Palm et al., 2009)

Lee und Scudds (2003) untersuchten 66 ältere Personen hinsichtlich ihrer Gleichgewichtsfähigkeit. Dabei wurde zwischen Probandinnen und Probanden mit einer Sehschwäche und ohne Sehschwäche unterschieden. Den Probandinnen und Probanden mit einer Beeinträchtigung des Sehvermögens, insbesondere der Sehschärfe, wurde eine erheblich schlechtere Gleichgewichtsfähigkeit bestätigt.

Personen mit verringerter Sehfähigkeit haben eine eindeutig verschlechterte posturale Stabilität. Auf dieses Ergebnis kommen Ray et al. (2008) in ihrer Untersuchung, bei der sie den Sensory Organisation Test verwendet haben. Die Unterschiede zwischen den beiden Testgruppen waren vor allem auf instabilem Untergrund am deutlichsten, während es auf stabilem Untergrund zu keinen Auffälligkeiten kam. Personen, bei denen der optische Sinn gestört war, nutzten vor allem die Hüftstrategie, um den Ausfall des visuellen Systems zu kompensieren.

Hafström et al. (2002) konnten aufzeigen, dass wesentlich höhere Körperschwankungen beim beidbeinigen, statischen Stand zu verzeichnen sind, wenn das visuelle System durch Dunkelheit oder geschlossene Augen ausgeschaltet ist.

2.3.3 Studien über Zusammenhänge zwischen statischer und dynamischer Haltungskontrolle

Es bestehen keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den Parametern der statischen und dynamischen Haltungskontrolle. Auf dieses Ergebnis kommen Karimi und Solomonidis (2011) in ihrer Studie, in der die Probandinnen und Probanden statischen und dynamischen Testbedingungen ausgesetzt waren. Dieser Meinung schließt sich auch Sell (2012) an.

In der Untersuchung von Turbanski und Schmidtbleicher (2010) wurde ebenfalls festgestellt, dass es zu keinen signifikanten Zusammenhängen zwischen statischen und dynamischen Messergebnissen kam. Die Probandinnen und Probanden, welche ein gutes Ergebnis in der statischen Messung hatten, hatten nicht gleich auch gute Ergebnisse unter dynamischen Messbedingungen. Daher kritisieren die Autoren eine Bewertung der Haltungskontrolle abgeleitet nur von statischen Messergebnissen, sondern propagieren eine Bewertung auch über dynamische Messungen.

2.3.4 Studien zum Einfluss der Anthropometrie auf die Haltungskontrolle

Nachfolgend werden verschiedene Studien vorgestellt, in denen die Zusammenhänge von anthropometrischen Faktoren, wie der Body Mass Index (BMI), Körpergröße und Körpergewicht, und der Haltungskontrolle untersucht wurden.

In der Untersuchung von Alonso et al. (2012) wurde festgestellt, dass vor allem die Körpergröße die Haltungskontrolle beeinflusst. Dafür wurden jeweils 50 Probanden und 50 Probandinnen im Alter zwischen 20 und 40 Jahren getestet.

Die darauf aufbauende Studie beschäftigte sich mit den Zusammenhängen zwischen anthropometrischen und sensorischen Werten im beidbeinigen, statischen Stand. Dabei wurde festgestellt, dass beim Fehlen des visuellen Feedbacks, vor allem die Körpergröße eine wichtige Rolle spielt. Wie bereits in ihrer vorangegangenen Untersuchung wurde der Zusammenhang zwischen der Körpergröße und der Haltungskontrolle aufgezeigt, während der Körperzusammensetzung (z.B. Anteil der Körpermuskelmasse) keine große Wichtigkeit beigemessen wird. (Alonso et al., 2015)

Die Studie von Hue et al. (2007) hat gezeigt, dass ein zunehmender BMI einen negativen Einfluss auf die Haltungskontrolle hat. In der Studie wurden 59 Probanden mit einem BMI zwischen 17,4 und 63,8 kg/m² getestet.

Bei einer Untersuchung von Greve et al. (2007) wurden männliche Probanden hinsichtlich ihrer Haltungskontrolle im Zusammenhang mit ihrem BMI untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass ein erhöhter BMI negativen Einfluss auf die Haltungskontrolle im einbeinigen Stand hat. In weiterfolgenden Untersuchungen ist neben dem BMI des Weiteren ein leichter Zusammenhang zwischen der Körpergröße und der Haltungskontrolle bestätigt wurden. (Greve et al., 2013)

Diesbezüglich stimmen Ku et al. (2012) auch mit dem Ergebnis von Greve überein, dass die Haltungskontrolle im einbeinigen und beidbeinigen Stand vom BMI beeinflusst wird.

3 Forschungsfragen

Aufgrund der hohen Datenmenge, die bei den Testungen ermittelt wurden, kommt es zu zahlreichen Möglichkeiten wertvolle und aussagekräftige Erkenntnisse aus den Daten zu ziehen. Durch die vorangegangenen Kapitel und dem dargelegten aktuellen Forschungsstand ergeben sich insgesamt vier Bereiche, zu denen nachfolgend konkretisierte Fragestellungen aufgezeigt werden.

3.1 Fragen zum Einfluss des somatosensorischen Systems

Zu Beginn sollen die Forschungsfragen beantwortet werden, ob bzw. wie sich die Messwerte bei den Testungen auf einer 40mm starken, instabilen Schaumstoffmatte unterscheiden. Konkrete Fragestellungen dazu lauten wie folgt:

- Unterscheiden sich die Messwerte der Testung 1 und 3 bezüglich des COPT?
- Unterscheiden sich die Messwerte der Testung 1 und 3 bezüglich des ROM?
- Unterscheiden sich die Messwerte der Testung 5 und 7 bezüglich des COPT?
- Unterscheiden sich die Messwerte der Testung 5 und 7 bezüglich des ROM?

3.2 Fragen zum Einfluss des visuellen Systems

Durch die unterschiedlichen Aufgabenstellungen, hinsichtlich geöffneter und geschlossener Augen, wurden verschiedene Schwierigkeitsgrade geschaffen.

Diesbezüglich werden folgende Forschungsfragen zum visuellen System formuliert:

- Unterscheiden sich die Messwerte der Testung 1 und 2 bezüglich des COPT?
- Unterscheiden sich die Messwerte der Testung 1 und 2 bezüglich des ROM?
- Unterscheiden sich die Messwerte der Testung 5 und 6 bezüglich des COPT?
- Unterscheiden sich die Messwerte der Testung 5 und 6 bezüglich des ROM?

3.3 Fragen zu Zusammenhängen bzw. Unterschieden zwischen statischer und dynamischer Haltungskontrolle

Durch die unterschiedlichen Testbedingungen, bezüglich des statischen und dynamischen Untergrunds, ergeben sich nachfolgende Forschungsfragen:

- Bestehen Unterschiede bezüglich der Messwerte des COPT zwischen Testung 1 und Testung 5? Wie unterscheiden sich die Messwerte der Testungen 2 und 6, 3 und 7 sowie 4 und 8 diesbezüglich?
- Bestehen Unterschiede bezüglich der Messwerte des ROM zwischen Testung 1 und Testung 5? Wie unterscheiden sich die Messwerte der Testungen 2 und 6, 3 und 7 sowie 4 und 8 diesbezüglich?

- Besteht ein linearer Zusammenhang bezüglich der Messwerte des COPT zwischen Testung 1 und Testung 5?
- Besteht ein linearer Zusammenhang bezüglich der Messwerte des ROM zwischen Testung 1 und Testung 5?

3.4 Fragen zum Einfluss der Anthropometrie

Zu guter Letzt ist von Interesse, welche Zusammenhänge zwischen anthropometrischen Parametern und den Messparametern, die die statische und dynamische Haltungskontrolle beschreiben, bestehen. Daher ergeben sich folgende Forschungsfragen:

- Bestehen signifikante Zusammenhänge zwischen der Körpergröße und des COPT?
- Bestehen signifikante Zusammenhänge zwischen der Körpergröße und des ROM?
- Sind signifikante Zusammenhänge zwischen dem Körpergewicht und des COPT erkennbar?
- Gibt es signifikante Zusammenhänge zwischen dem Körpergewicht und des ROM?

4 Methodik

Nachfolgend wird näher auf die Methodik dieser Studie eingegangen. Zu Beginn werden die Auswahlkriterien für die Probandinnen und Probanden näher beschrieben. Daraufhin wird das verwendete Testgerät (sense wave medical) der Firma Sense Product GmbH vorgestellt und dessen Funktionsfähigkeit erklärt. Des Weiteren wird auf die Testbedingungen und eine detaillierte Testdurchführung eingegangen. Außerdem werden die ermittelten Messparameter vorgestellt. Zu guter Letzt wird die statistische Datenauswertung mittels SPSS erläutert.

4.1 Probandinnen und Probanden

Alles in allem wurden 71 Personen für die Studie getestet und befragt. Davon waren 40 weiblichen und 31 männlichen Geschlechts.

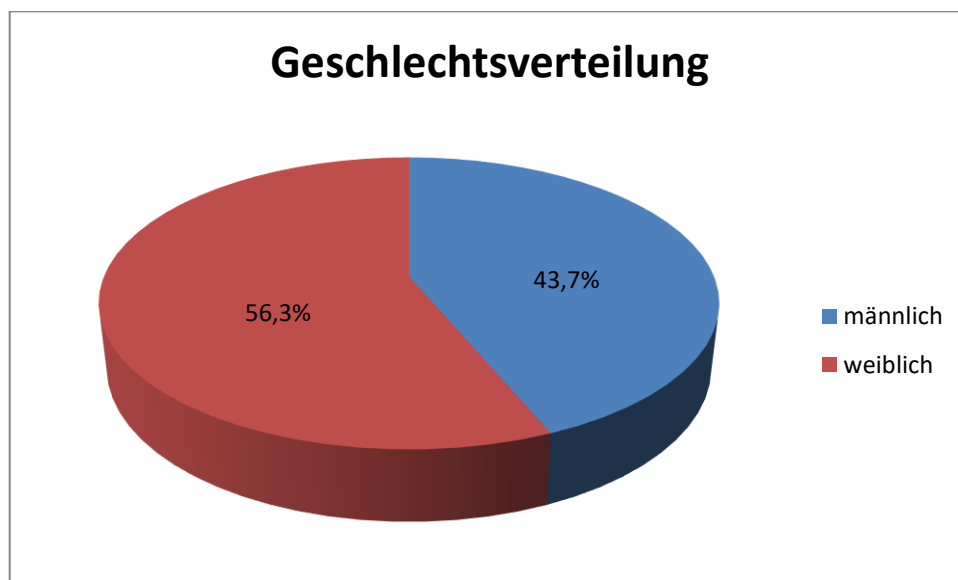


Abbildung 10: Geschlechtsverteilung

Alle Probandinnen und Probanden waren zum Testzeitpunkt gesund und haben freiwillig an der Testung teilgenommen. In der nachfolgenden Tabelle werden die wesentlichen anthropometrischen Daten aller Probandinnen und Probanden zusammengefasst.

Tabelle 2: anthropometrische Daten

weiblich (n=40)	Mittelwert	$\pm$ Std	Min	Max
Alter (Jahre)	57,5	5,9	50	73
Gewicht (kg)	66	12,6	48	108
Größe (cm)	165	5,6	153	177

männlich (n=31)	Mittelwert	±Std	Min	Max
Alter (Jahre)	59,5	6,9	50	79
Gewicht (kg)	83,2	11,4	65	110
Größe (cm)	179	6	169	192

Vor der Teilnahme wurden allen Probandinnen und Probanden die Bedeutung und Ausrichtung der Studie erläutert. Des Weiteren wurden sie über den Ablauf und die Testbedingungen ausführlich informiert und etwaige Fragen wurden beantwortet. Zur Auswertung wurden nur erhobenen Daten der Probandinnen und Probanden herangezogen, die den Kriterien entsprachen und die Testbedingungen ohne Fehler absolviert haben.

4.1.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Voraussetzungen, um an der Studie teilnehmen zu können, waren folgende:

- mindestens das fünfzigste Lebensjahr erreicht
- ein allgemein gesunder Zustand zum Zeitpunkt der Testung (physisch sowie psychisch)
- keine starken Belastungen vor der Testung

Ausschlusskriterien waren dagegen zum Beispiel folgende:

- aktuelle Verletzungen (besonders der unteren Extremitäten)
- Operationen
- starke Verkühlung
- Schlafmangel
- Alkohol- bzw. Medikamente, welche die Gleichgewichtsfähigkeit negativ beeinflussen können
- fiebrige Infekte
- eingeschränkte Wahrnehmungsfähigkeit
- nicht korrigierte Sehstörungen
- Kopfschmerzen, Migräne usw.

Die Gesundheitsdaten wurden vor jeder Messung mittels vorgefertigter elektronischer Fragebögen abgefragt und dokumentiert.

4.2 Das Testgerät sense wave medical



Abbildung 11: sense wave medical (Sense Product Produktfolder)

Das Posturographiegerät „sense wave medical“ vom Unternehmen Senseproduct GmbH ist eines der modernsten Diagnose- und Therapiegeräte in der Untersuchung der funktionellen Haltungskontrolle. Mittels Schwebetechnologie fordert es die Probandinnen und Probanden nicht nur auf sensomotorischer Ebene, sondern kann auch aus den Körperreaktionen mittels biomechanischer Messtechnik individuelle Defizite und Stärken der Haltungskontrolle feststellen.



Abbildung 12: Kippelement, Sensorplattform und Schaumstoffmatte (20mm) (Sense Product Produktfolder)

Der Grundaufbau des Geräts besteht aus einem Kippelement, auf welchem eine mit 5.300 Drucksensoren bestückte Sensorplattform sitzt. Diese kann je nach Schwierigkeitsgrad der Testung in zwei Stufen eingestellt werden. Des Weiteren gibt es die Möglichkeit durch eine Schwebetechnologie das Kippelement samt Sensorplattform horizontal schweben zu

lassen. Dies spielte für diese Studie jedoch keine Rolle. Als zusätzliche Auflage gibt es noch eine Schaumstoffmatte, die in verschiedenen Stärken erhältlich ist (20/40/60 mm).



Abbildung 13: Touchscreen-Monitor, Druckverteilung auf die Füße und Messeinstellungen (Sense Product Produktfolder)

Die Bedienung des Geräts funktioniert über einen Touchscreen-Monitor, welcher höhenverstellbar ist. Auf dem Bildschirm kann die Druckverteilung des Körpergewichts auf die Füße bildlich dargestellt werden und durch aktive Druckverteilung der COP in Echtzeit sichtbar verlagert werden. (Senseproduct, 2015)

4.3 Testbedingungen und –durchführung

Alle Probandinnen und Probanden wurden mittels Handblatt (siehe Anhang) über den Ort der Testung (Labor der Abteilung für Trainingswissenschaft am Zentrum für Sportwissenschaft und Universitätssport Wien), Freiwilligkeit, Verschwiegenheit, zeitlichen Aufwand usw. vorab informiert. Am Tag der Testung sollten zuvor keine anstrengenden Tätigkeiten durchgeführt worden sein und die Probandinnen und Probanden mussten in einem allgemein gesunden Zustand sein ohne offensichtliche Beeinträchtigung der Haltungskontrolle.

Zu Beginn wurde der standardisierte Testablauf detailliert erläutert und erklärt. Daraufhin wurden die wichtigsten anthropometrischen Daten, eine kurze Anamnese und die vergangene und aktuelle Sportbiographie mittels elektronischer Fragebögen am Laptop festgehalten. Dabei wurde festgehalten, dass zum Zeitpunkt der Messung keine Störungen oder Krankheiten, die die Haltungskontrolle beeinträchtigen könnten, vorlagen. Danach wurde das Testgerät der Probandin oder dem Probanden näher vorgestellt. Während die Testperson sich die Schuhe auszog und sich vorbereitete, konnte der Testleiter das Gerät einstellen. Dafür benötigte man die vorab zugewiesene Testnummer der Testperson, die der Testleiter über den Touchscreen-Bildschirm eingab. Die Positionierung des Bildschirms musste während der Testung dem Testleiter zugewandt sein, damit die Probandin oder der Proband keine Rückmeldung der Standposition bekommen konnte. Dem Testleiter wurde vor jeder Testung die Testbedingungen (z.B. mit offenen Augen/statisch oder mit Matte/geschlossene Augen/dynamisch usw.) angezeigt, sowie die Pausenzeit zwischen den Testungen. Während der Testung konnte somit auch

lediglich der Testleiter über den Bildschirm in Echtzeit die veränderte Druckbelastung auf die Füße beobachten.

Alle einheitlichen Testungen wurden an ein und demselben Testgerät durchgeführt. Während die Probandinnen und Probanden in einer aufrechten Körperposition mit Blick nach vorne auf der Messplattform standen, wurden die vertikalen Druckschwankungen innerhalb von vier unabhängigen Druckzonen unterhalb der Fersen und Zehen jedes Fußes gemessen. Dafür musste der Vorderfuß vor der weißen Mittellinie und die Ferse hinter der weißen Mittellinie positioniert werden. Jede Testperson hatte die Aufgabe möglichst zentral im aufrechten Stand ca. hüftbreit auf der Sensorplattform so ruhig wie möglich zu stehen. Dabei sollte der Kopf in Verlängerung der Wirbelsäule gehalten werden, der Blick nach vorne gerade aus auf einen gedachten Fixpunkt gerichtet sein, die Schultern und Arme locker nach unten hängen und in den Kniegelenken sollte die Testperson leicht gebeugt stehen. Des Weiteren durfte während der Testung nicht gesprochen werden und die Umgebungsgeräusche wurden so gut es geht minimiert.

Am Anfang vor den Messungen kalibrierte sich die Messplattform. Alle Testpersonen durften vor der ersten Messung sich einmal mit dem Gerät vertraut machen und eine Probetestung 30 Sekunden lang durchführen. Vor jeder darauffolgenden einzelnen Messung wurde die Druckverteilung der Füße per Prüfbild festgehalten. Zwischen jeder Messung mussten die Probandinnen und Probanden für genau 15 Sekunden von der Plattform nach hinten runter steigen. In dieser Zeit konnte der Testleiter die neuen Messbedingungen vorbereiten. Sobald bei einer Messung jemand sich am Handlauf festhalten musste, war die Messung ungültig und musste wiederholt werden. Nach wiederholtem Absichern am Handlauf musste die Testung eingestellt werden und die bis dahin ermittelten Daten der Testperson wurden nicht in der Auswertung berücksichtigt.

Insgesamt wurden folgende acht 30 Sekunden lange Messungen pro Testperson durchgeführt.

statisch

- ohne Matte, Augen offen
- ohne Matte, Augen geschlossen
- mit Matte, Augen offen
- mit Matte, Augen geschlossen

dynamisch

- ohne Matte, Augen offen
- ohne Matte, Augen geschlossen

- mit Matte, Augen offen
- mit Matte, Augen geschlossen

Zu guter Letzt wurden daraufhin die ermittelten Daten digitalisiert verarbeitet und daraus verschiedenste Parameter berechnet und per Word-Dokument automatisch zur Verfügung gestellt. Erst daraus konnten Interpretationen gezogen werden.

Nachfolgend noch einmal eine schematische Darstellung eines Testablaufs.

statische Messungen

Messung

1.	- fester Untergrund - Augen geöffnet	Dauer: 30 Sekunden Pause: 15 Sekunden
2.	- fester Untergrund - Augen geschlossen	Dauer: 30 Sekunden Pause: 15 Sekunden
3.	- Schaumstoffmatte 40 mm - Augen geöffnet	Dauer: 30 Sekunden Pause: 15 Sekunden
4.	- Schaumstoffmatte 40 mm - Augen geschlossen	Dauer: 30 Sekunden Pause: 15 Sekunden

dynamische Messungen

Messung

5.	- fester Untergrund - Augen geöffnet	Dauer: 30 Sekunden Pause: 15 Sekunden
6.	- fester Untergrund - Augen geschlossen	Dauer: 30 Sekunden Pause: 15 Sekunden
7.	- Schaumstoffmatte 40 mm - Augen geöffnet	Dauer: 30 Sekunden Pause: 15 Sekunden
8.	- Schaumstoffmatte 40 mm - Augen geschlossen	Dauer: 30 Sekunden Pause: 15 Sekunden

Abbildung 14: schematische Darstellung eines Testablaufs

4.4 Messparameter

Die aussagekräftigsten bzw. die Parameter mit der höchsten Validität, um die Haltungskontrolle zu beurteilen, sind, wie nachfolgend näher beschrieben, laut der aktuellen Literatur der center of pressure track (COPT) und range of motion (ROM).

Bei einer posturographischen Messung können an dem Testgerät sense wave medical neben den oben erwähnten biomechanischen Parametern jedoch auch noch nachfolgende Kenngrößen erfasst werden:

- STEI – Stabilitätsenergieindex
- WDI - Weight Distribution Index (Gewichtsverteilungsindex)
- WD - Weight Distribution (Standposition)
- RQ – Frequenzharmonie
- F-low - Harmonie, niedrige Frequenz
- F-high - Harmonie, hohe Frequenz
- vi - visueller Feedbackpfad
- ve - vestibulärer Feedbackpfad
- so - somatosensorischer Feedbackpfad

Auf diese Parameter wird in dieser Masterarbeit jedoch nicht näher eingegangen.

Das Testgerät versendet nach der erfolgreichen Beendigung der Messungen alle erhobenen Daten in Form von einem Word-Dokument an den angeschlossenen Laptop. In den nachfolgenden Abbildungen 15 und 16 wird beispielhaft gezeigt, wie solch ein Dokument aussieht und was es alles beinhaltet bzw. wie die Parameter der statischen und dynamischen Messungen graphisch dargestellt werden.

Daraufhin wird näher auf die zwei wichtigsten Parameter COPT und ROM eingegangen und es wird anhand von aktuellen Studien deren Bedeutung hervorgehoben.

Statische Messung

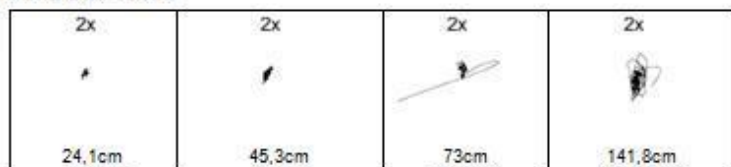
Standposition

Normal/offen Normal/geschlossen Matte/offen Matte/geschlossen



Bewegungsvermögen, Harmonie und Ökonomie

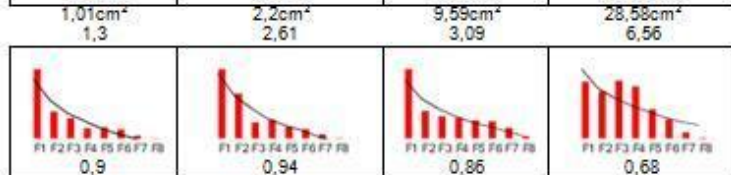
Strecke des Druckmittelpunkts (COPT)



Bewegungsfläche (ROM)

Stabilitätsenergie (STEI)

Harmonie (RQ)



Bewegungskontrolle

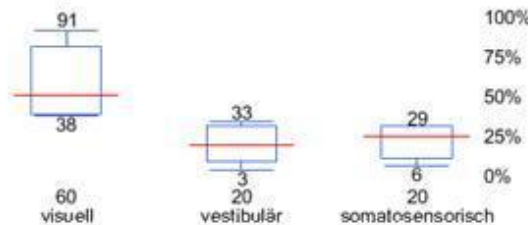
Zentralgesteuert (niederfrequent)

Reflex-gesteuert (hochfrequent)

Wahrnehmung

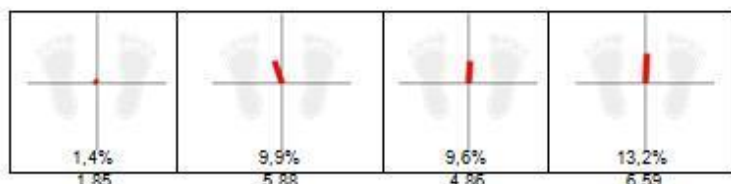
1,96 Feedbackpfade

0,9



Haltung

Gewichtsverteilung (VD)



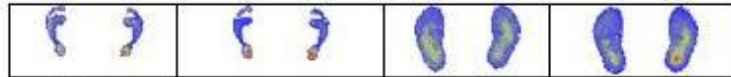
WDI

Abbildung 15: Beispielhafte Auswertung einer statischen Messung

Dynamische Messung

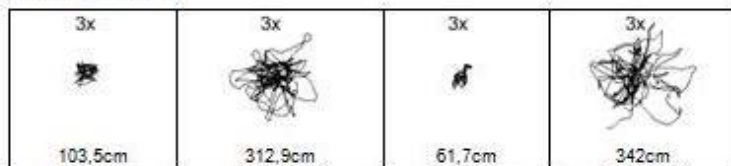
Standposition

Normal/offen Normal/geschlossen Matte/offen Matte/geschlossen



Bewegungsvermögen, Harmonie und Ökonomie

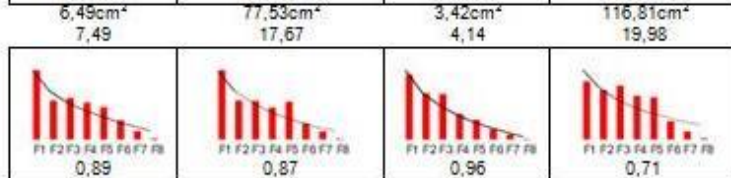
Strecke des Druckmittelpunkts (COPT)



Bewegungsfläche (ROM)

Stabilitätsenergie (STEI)

Harmonie (RQ)



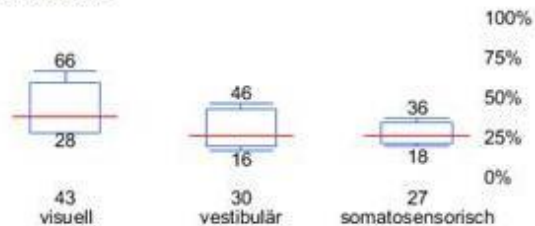
Bewegungskontrolle

Zentralgesteuert (niederfrequent)

Reflex-gesteuert (hochfrequent)

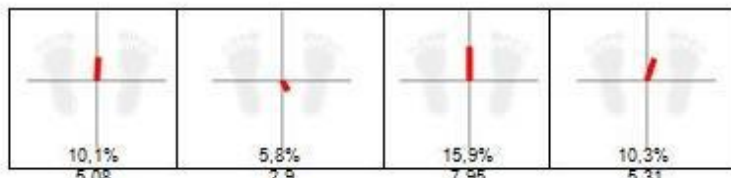
Wahrnehmung

1,54 Feedbackpfade
0,98



Haltung

Gewichtsverteilung (WD)



WDI

Abbildung 16: Beispielhafte Auswertung einer dynamischen Messung

4.4.1 COPT - center of pressure track

Der Druckmittelpunkt im statischen Stand ist der projizierte Körperschwerpunkt nach unten auf die Standfläche. Da der Körper permanent bestrebt ist diesen Körperschwerpunkt nicht zu verlieren, müssen das Nervensystem und die Muskulatur ständig Ausgleichbewegungen einleiten. Dabei legt der Druckmittelpunkt auf der Standfläche immer eine gewisse Strecke zurück, die über verschiedenste Techniken gemessen werden kann. Diese zurückgelegte Strecke wird in der englischen Literatur häufig als center of pressure (COP) bezeichnet und wird von dem Posturographiegerät

„sense wave medical“ graphisch und mit aufgezeichneter Strecke in cm in der Auswertung wie folgt angezeigt:

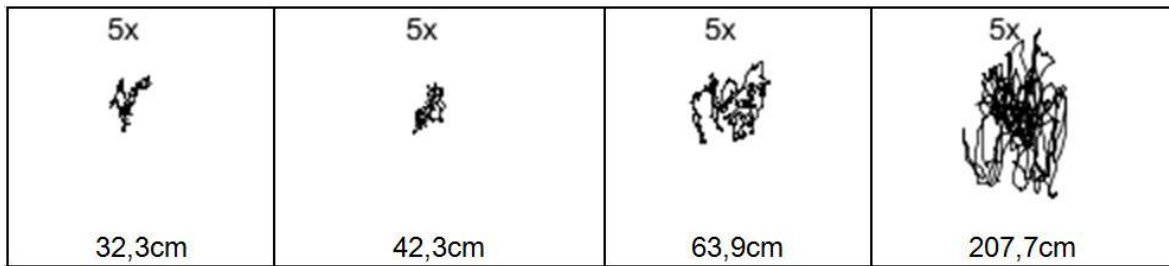


Abbildung 17: beispielhafte graphische Darstellung des COPT bei den vier statischen Messungen 1-4

Die zurückgelegte Strecke des Druckmittelpunkts als Weg wird in der aktuellen Literatur am häufigsten zur Bewertung und Einschätzung der Haltungskontrolle herangezogen. Studien haben gezeigt, dass der COPT Ausdruck für die Charakterisierung von Haltungsschwankungen ist (Prieto et al., 1996) und es Korrelationen zwischen ihm und einer schlechten Gleichgewichtsfähigkeit und der Gefahr vor Stürzen bestehen (Piirtola & Era, 2006).

Chaudhry et al. (2011) beschreiben in ihrem Artikel den COPT als „excursion length“, was so viel bedeutet, wie die Auslenkung des Druckmittelpunkts auf der Unterstützerfläche. Umso häufiger und gravierender die Testperson in der Testphase Ausgleichbewegungen einleiten muss, umso größer sind in der Regel die gemessenen Parameter des COPT. Des Weiteren beschreiben die WissenschaftlerInnen um Chaudhry noch die Möglichkeit den COPT für jeweils den rechten oder linken Fuß bestimmen zu können, wenn die Messplattform unterteilt ist und der jeweilige Fuß auf einer eigenen Messplattform steht. Wenn nur eine Messplattform verbaut ist redet man ansonsten vom kombinierten COPT, also wenn die Daten von beiden Beinen zusammen berücksichtigt werden. In der Untersuchung von Browne et al. (2002) wurde die Messung des COPT in medio-lateral und anterior-posterior Richtung unterteilt und berechnet.

Trotz gleicher Untersuchungsbedingungen und -durchführung können sich die erhobenen COPT-Parameter von ein und derselben Testperson bei mehrmaliger Testwiederholung unterscheiden bzw. voneinander abweichen. Auf dieses Ergebnis kommen Chaudhry und KollegInnen in ihren Untersuchungen (2011). Daraus schließen sie, dass die Bewertung der Haltungskontrolle alleinig über den ermittelten COPT nicht vollkommen ausreicht und keine genauen Rückschlüsse auf die Gleichgewichtsfähigkeit oder das Risiko zu stürzen gezogen werden können.

Des Weiteren sind sie der Meinung, dass es keine abgesicherten und soliden Parameter hinsichtlich des COPT zu geben scheint. Aus den herangezogenen COP-Studien ist nicht klar ersichtlich, welche Testparameter zur quantitativen Beurteilung der Haltungskontrolle verwendet werden sollten. Allerdings können die Messwerte, wie Fläche, Geschwindigkeit, Gesamtdistanz oder Frequenz, zwischen zwei Gruppen, wie z.B. Jungen und Alten, gegenübergestellt werden. Sobald einer dieser Parameter im Vergleich zur anderen Gruppe signifikant höher ist, wird dieser Gruppe eine verringerte Haltungskontrolle zugesprochen.

Die Zuverlässigkeit und Gültigkeit des COP wird von den WissenschaftlerInnen ebenfalls diskutiert. Die Forschungsgruppe um Santos (2008) beschreibt in ihren Ausführungen, dass die Aussagen in der aktuellen Literatur hinsichtlich der Zuverlässigkeit des COP mehrfach voneinander abweichen. Ebenfalls sind Doyle et al. (2005) der Meinung, dass die in der Regel erhobenen Parameter umsichtig betrachtet werden müssen, da die Zuverlässigkeit nicht immer gegeben ist.

Jendrusch und Brach (2003, S.184) können sich nicht vorstellen, dass die allgemeine Gleichgewichtsfähigkeit im Sport sich nur über die „Minimierung von Schwankungen über der Unterstützungsfläche“ definieren lässt. Außerdem sind sie der Ansicht, dass in gewissen Sportarten sogar gerade diese Schwankungen angestrebt und toleriert werden, wie z.B. beim Skateboarden. Die Autoren sind daneben auch noch der Anschauung, dass die Ermittlung der Stabilitätsgrenzen im aufrechten Stand auch vorteilhaft sein kann.

4.4.2 ROM - range of motion

Der Bewegungsumfang als Fläche oder auch Bewegungsfläche genannt, ist die Fläche des COP, berechnet durch den äußeren Umfang bzw. der Umrisslinie des COPT. Dieser Parameter wird im Ergebnisprotokoll von „sense wave medical“ wie folgt in Quadratzentimeter (cm²) dargestellt:

5x 	5x 	5x 	5x 
32,3cm	42,3cm	63,9cm	207,7cm
1,75cm ²	1,53cm ²	8,87cm ²	26,43cm ²

Abbildung 18: beispielhafte Darstellung des ROM bei den vier statischen Messungen 1-4

In der aktuellen Literatur werden häufig auch die Bezeichnungen „Area of COP path“, „sway area“ oder „total area of COP“ verwendet. (Lafond et al., 2004; Doyle et al., 2005; Fisher, 2010)

Laut der Parametererklärung des Unternehmens Senseproduct GmbH ist eine große Fläche des Bewegungsumfanges gut, wenn der Bewegungsumfang auch gut beherrscht wurde und ein niedriger Wert für den Stabilitäts-Energie-Index vorhanden ist.

4.5 statistische Datenauswertung SPSS

Um statistisch relevante Aussagen über die erhobenen Daten treffen zu können, wurde das Statistikprogramm SPSS Version 23.0 verwendet. Für eine genaue Auswertung, wurden, abhängig vom Messniveau der Parameter und der Testvoraussetzungen, verschiedene Signifikanztests angewandt. Darüber sollen mögliche Unterschiede bzw. lineare Zusammenhänge zwischen den gemessenen Parametern ermittelt werden. Der übliche Wert für das Signifikanzniveau bzw. der Irrtumswahrscheinlichkeit wurde mit $\alpha = 0,05$ angenommen. Damit soll eine hohe Vergleichbarkeit und Qualität der Testung gewährleistet werden. Denn umso geringer das Signifikanzniveau ist, umso höher ist die Qualität der Aussage (Bortz & Schuster, 2010).

Ein Resultat ist signifikant, wenn das Signifikanzniveau unter 0,05 liegt. Sobald dieser Wert unter 0,01 liegt, spricht man von einem sehr signifikanten Ergebnis. Sollte das Signifikanzniveau sogar unter 0,001 liegen, wird ein höchst signifikantes Ergebnis angenommen. In der SPSS-Auswertung wird ein signifikantes Ergebnis mit einem Sternchen (*) angezeigt, ein sehr signifikantes Ergebnis wird mit zwei Sternchen (**) angegeben, während ein höchst signifikantes Ergebnis mit drei Sternchen (***) aufgeführt wird. (Bühl, 2008)

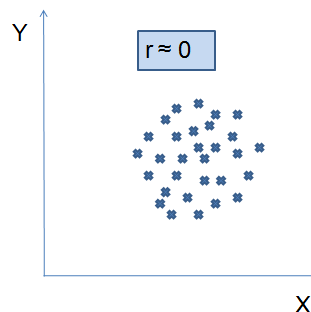
Aufgrund der verschiedenen Fragestellungen und zur Gewährleistung einer möglichst hohen Aussagekraft, mussten verschiedene statistische Tests durchgeführt werden. Die in dieser Masterarbeit angewendeten statistischen Testungen waren der t-Test zur Überprüfung auf Unterschiede und der Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient r nach Pearson zur Überprüfung auf Zusammenhänge.

Um den t-Test anwenden zu dürfen, müssen die Werte der Variable intervallskaliert und normalverteilt sein, wenn der Stichprobenumfang nicht groß genug ist. Intervallskalierte Variablen lassen eine Ermittlung von Rangunterschieden und einem Abstand zwischen den gemessenen Werten zu. Auf die Testung zur Normalverteilung kann dann verzichtet werden, wenn der Stichprobenumfang $n_1 \approx n_2 > 30$ beträgt. Mit dem t-Test werden die Messwerte zweier Stichproben auf einen Mittelwertunterschied getestet. (Rasch, Frieze, Hofmann & Naumann, 2010)

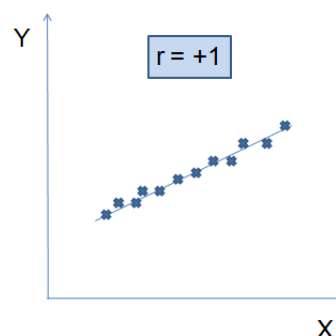
Rockmann und Bömermann (2006, S.194) führen des Weiteren auf, dass je weiter die Mittelwerte der beiden Stichproben auseinanderliegen, je größer der jeweilige Stichprobenumfang und je kleiner die Standardabweichung ist, desto weniger überschneiden sich die Werte der zwei Stichproben und umso wahrscheinlicher ist ein Unterschied anzunehmen. Außerdem erwähnen sie, dass eine erhöhte Datenmenge auch die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass sich die Mittelwerte signifikant voneinander unterscheiden.

Die Parameter ROM und COPT wurden aufgrund des großen Stichprobenumfangs ($n = 71$) für diese Masterarbeit daher nicht auf eine Normalverteilung überprüft. Vor allem da von einer einheitlichen Stichprobe ausgegangen werden kann. Angesichts fast gleicher Gruppengröße und Varianzen ist der t-Test zudem vergleichsweise widerstandsfähig gegenüber Abweichungen von der Normalverteilung.

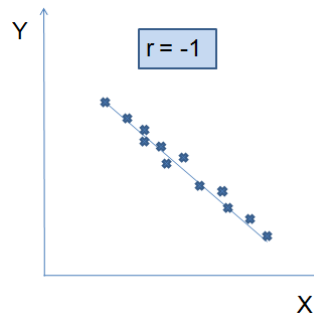
Der Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient r nach Pearson wurde hingegen verwendet, um die Testdaten auf lineare Zusammenhänge zwischen zwei intervallskalierten Variablen zu überprüfen. Bei dieser Überprüfung kann nicht nur die Stärke, sondern auch die Art des Zusammenhangs (z.B. linear, quadratisch oder exponentiell) festgestellt werden. Dabei kann der Wert der Korrelation zwischen -1 und $+1$ liegen und kann wie folgt interpretiert werden:



$r \approx 0$: Umso näher der Wert der Korrelation um 0 liegt, umso deutlicher ist kein Zusammenhang vorhanden. Z.B. ist anzunehmen, dass der Wert der Korrelation um 0 liegt, zwischen den Variablen Hausnummer und Alter einer Person.



$r > 0$: Umso näher der Wert der Korrelation in Richtung +1 liegt, umso klarer gibt es einen positiven Zusammenhang zwischen zwei Variablen. Z.B. ist anzunehmen, dass der Wert der Korrelation nahe an +1 liegt, zwischen den Variablen Eisumsatz einer Eisdiele und den Außentemperaturen.



$r < 0$: Umso näher der Wert der Korrelation in Richtung -1 liegt, umso eindeutiger gibt es einen negativen Zusammenhang zwischen zwei Variablen. Z.B. ist anzunehmen, dass der Wert der Korrelation nahe an -1 liegt, zwischen den Variablen Kinopreis und Kinobesucher.

Die Bewertung des Zusammenhangs zwischen zwei Variablen wird nach Bös, Hänsel und Schott (2004, S. 168) in dieser Masterarbeit wie folgt vorstattengehen:

$r = 0.00$	kein Zusammenhang
$0.00 < r \leq 0.39$	niedriger Zusammenhang
$0.40 < r \leq 0.69$	mittlerer Zusammenhang
$0.70 < r \leq 0.99$	hoher Zusammenhang
$r = 1.00$	perfekter Zusammenhang

Des Weiteren kann die Signifikanz (Wahrscheinlichkeit) der Korrelation zwischen zwei Variablen bestimmt werden. Damit wird die Wahrscheinlichkeit ausgedrückt, ob ein angenommener Zusammenhang rein zufälliger Natur vorliegt oder mit hoher Wahrscheinlichkeit ganzheitlich vorausgesetzt werden kann. In der Statistik wird dabei zumeist von der Irrtumswahrscheinlichkeit oder Signifikanzniveau gesprochen. Wenn z.B. bei einem Zusammenhang zwischen zwei Variablen von $r = 0,5$ auf einem Signifikanzniveau von $p \leq 1\%$ gesprochen wird, dann bedeutet das, dass dieser Zusammenhang in genau diesem Ausmaß und bei dieser Stichprobengröße nur in weniger als 1% der Grundgesamtheit rein zufällig zutrifft.

5 Ergebnisse

Nachfolgend wird auf die umfassenden Ergebnisse dieser Masterarbeit eingegangen. Bezug wird dabei auf die im Kapitel 3 formulierten Fragestellungen genommen. Wie oben erwähnt werden die Parameter COPT und ROM mit den erläuterten Testmethoden auf ihre Unterschiede und Zusammenhänge für die jeweiligen Messungen untersucht.

5.1 deskriptive Statistik

Im folgenden Unterkapitel geht es um die Darstellung der kompletten deskriptiven Statistik dieser Studie. Hauptaufgabe dieser Ausarbeitung besteht darin Referenzwerte für die Parameter COPT und ROM darzustellen, damit in weiterer Folge die Möglichkeit besteht, diese Daten mit anderen Zielgruppen zu vergleichen. Um dies übersichtlicher zu gestalten, wurde eine Unterteilung der Testergebnisse in weibliche und männliche Probandinnen und Probanden vorgenommen. Hauptsächlich werden die absoluten Referenzwerte für den COPT und ROM aufgeführt, während es in Kapitel 5.3.2 um die relativen Werte, bezogen auf das Körpergewicht, geht.

5.1.1 anthropometrische Daten

Wie bereits in Kapitel 4.1 erwähnt, wurden insgesamt 31 männliche Probanden und 40 weibliche Probandinnen im Alter von 50 bis 79 Jahren getestet. Im Durchschnitt waren die Männer 59,5 Jahre und die Frauen 57,5 Jahre alt. Die durchschnittliche Körpergröße lag bei den Männern bei 1,79 m und bei den Frauen bei 1,65 m. Das Körpergewicht lag bei den Männern im Mittel bei 83,2 kg und bei den Frauen bei 66 kg.

5.1.2 absolute Referenzwerte des COPT

Wie erwähnt sind nachfolgend die Ergebnisse für männliche und weibliche Testperson getrennt voneinander angeführt. In den folgenden Tabellen 3 und 4 sind die absoluten Referenzwerte des COPT aufgeteilt nach Geschlecht herauszulesen. Es wird der gemessene Mittelwert des COPT und die 95% - Konfidenz Unter- und Obergrenze für jede Messung in Zentimeter angegeben. Aus diesen Werten kann man schon jetzt eine Tendenz erahnen, wie groß die Unterschiede in den Werten bezüglich des Geschlechts für die jeweilige Messung sind.

Tabelle 3: absolute Referenzwerte des COPT der weiblichen Probanden

COPT 1 – 8 (cm) weiblich (n=40)	Mittelwert	95%-Konfidenz Untergrenze	95%-Konfidenz Obergrenze
COPT 1 (stat., open)	24,8	22,0	27,7
COPT 2 (stat., close)	31,8	27,6	36,1
COPT 3 (stat., foam, open)	61,8	53,9	69,7
COPT 4 (stat., foam, close)	132,1	114,3	149,8
COPT 5 (dyn., open)	53,4	47,4	59,4
COPT 6 (dyn., close)	156,3	137,9	174,6
COPT 7 (dyn., foam, open)	73,4	65,0	81,7
COPT 8 (dyn., foam, close)	197,7	174,2	221,3

Tabelle 4: absolute Referenzwerte des COPT der männlichen Probanden

COPT 1 – 8 (cm) männlich (n=31)	Mittelwert	95%-Konfidenz Untergrenze	95%-Konfidenz Obergrenze
COPT 1 (stat., open)	26,6	23,3	30,0
COPT 2 (stat., close)	43,8	36,4	51,1
COPT 3 (stat., foam, open)	62,2	51,1	73,3
COPT 4 (stat., foam, close)	182,5	136,7	228,4
COPT 5 (dyn., open)	81,0	67,4	94,6
COPT 6 (dyn., close)	249,8	212,9	286,8
COPT 7 (dyn., foam, open)	90,7	75,3	106,0
COPT 8 (dyn., foam, close)	289,3	234,9	343,7

Wenn man die Mittelwerte der ersten drei Testbedingungen sich auf den ersten Blick anschaut, dann sind zwischen den zwei Geschlechtern in den Ergebnissen kaum Unterschiede zu erkennen. Erst ab der 4. Messung werden die Differenzen größer. Auffällig ist, dass Frauen in allen acht Messungen geringere Messwerte als die Männer haben. Insbesondere bei den letzten vier statischen Messungen unterscheiden sich die COPT-Werte zwischen beiden Geschlechtern. Wie signifikant diese Unterschiede jedoch wirklich sind, wird erst in Kapitel 5.3 genauer beschrieben.

Des Weiteren ist der Verlauf der Mittelwerte des COPT zwischen den Messungen eins bis acht interessant. Während die Werte zwischen den ersten vier statischen Messungen sich immer mehr erhöhen, scheint die visuelle Kontrolle bei den dynamischen Messungen eine größere Rolle zu spielen, da die Werte von Messung sechs auf sieben wieder geringer sind.

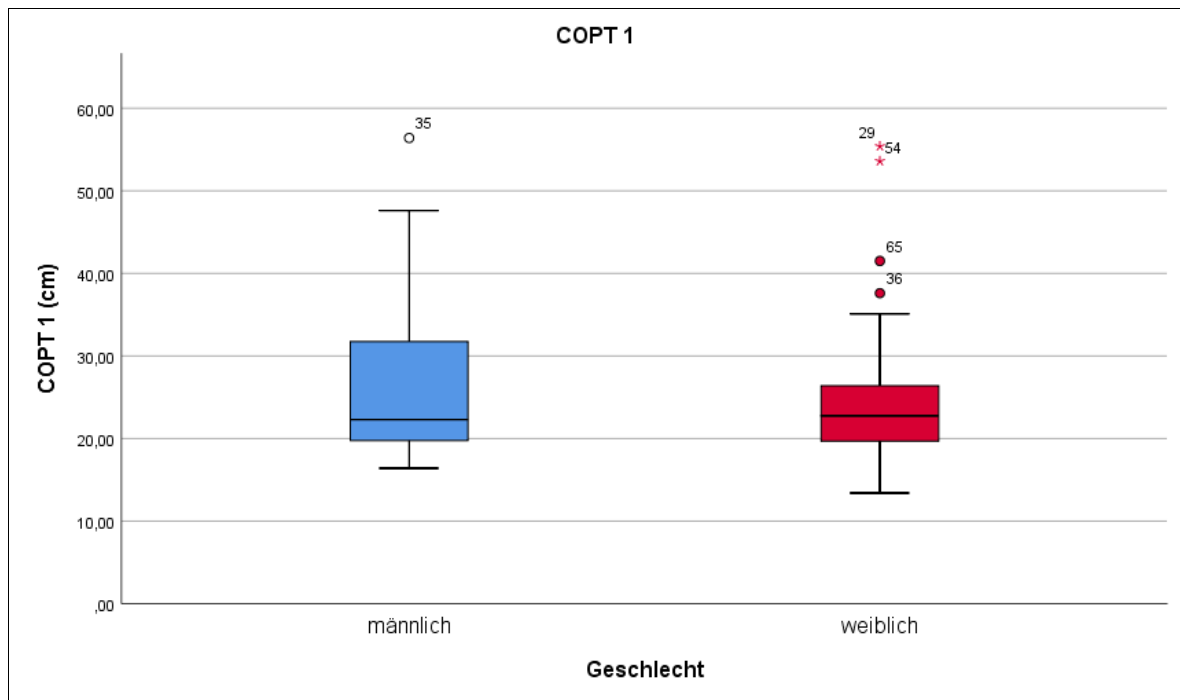


Abbildung 19: absolute Referenzwerte des COPT 1 der statischen Messung nach Geschlecht

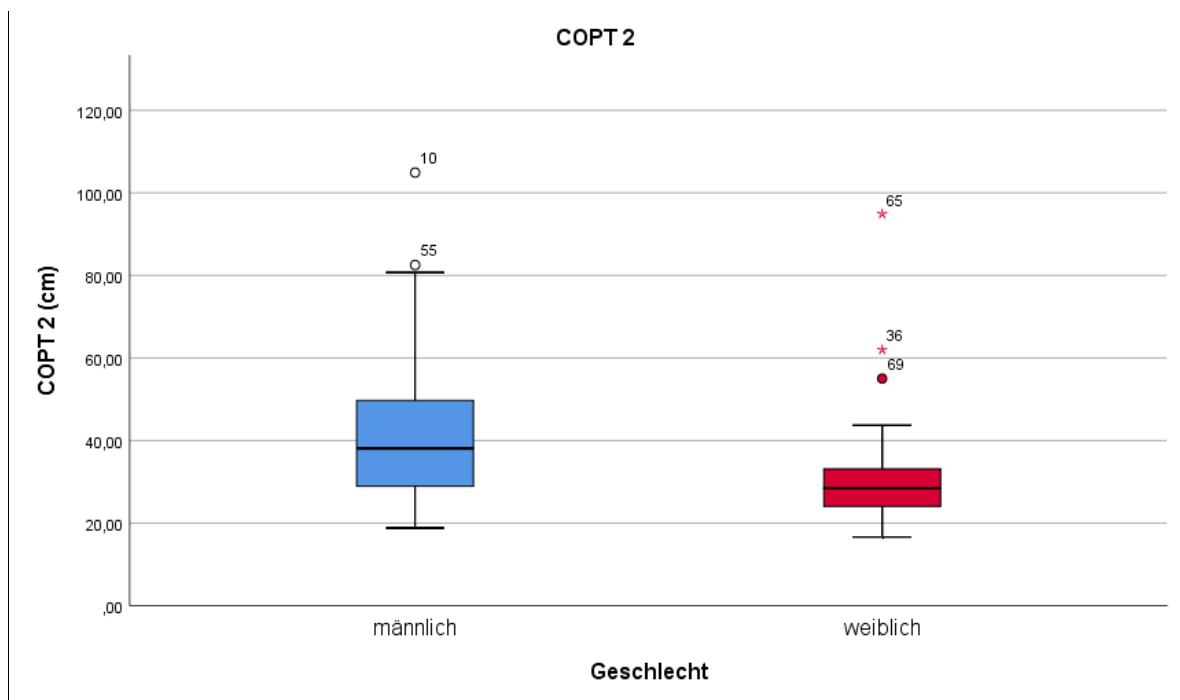


Abbildung 20: absolute Referenzwerte des COPT 2 der statischen Messung nach Geschlecht

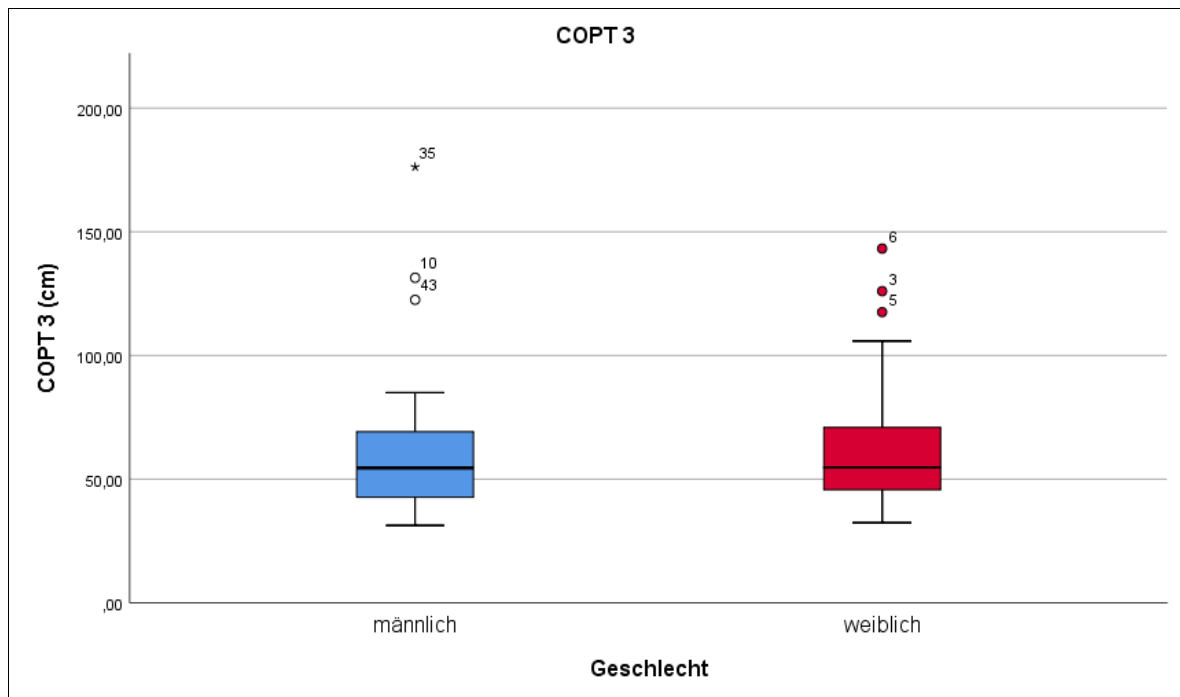


Abbildung 21: absolute Referenzwerte des COPT 3 der statischen Messung nach Geschlecht

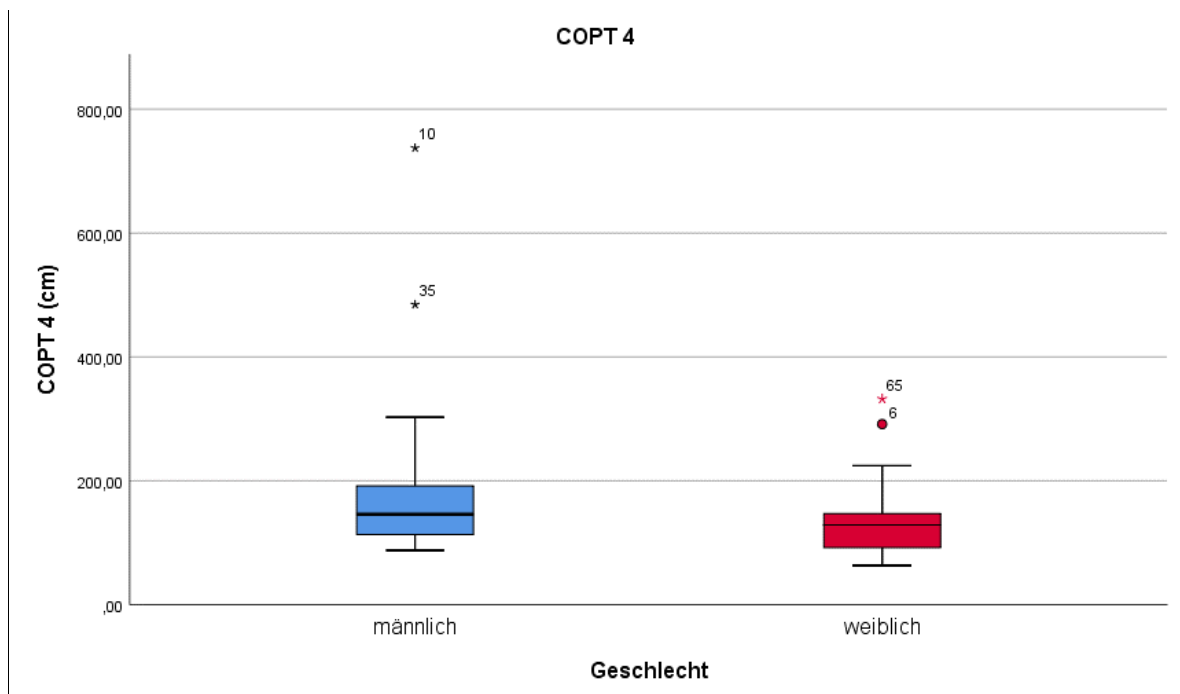


Abbildung 22: absolute Referenzwerte des COPT 4 der statischen Messung nach Geschlecht

Die Abbildungen 19 bis 22 zeigen die Boxplots der ersten vier statischen Messungen auf unbeweglicher Sensorplattform geschlechterspezifisch gegenübergestellt. Vor allem die Mediane der ersten ($m = 22,3 \text{ cm}$; $w = 22,8 \text{ cm}$) und dritten ($m = 54,5 \text{ cm}$; $w = 54,8 \text{ cm}$) statischen Messung, mit geöffneten Augen, liegen im geschlechterspezifischen Vergleich sehr nah beieinander. Während die Differenzen bei den Messungen zwei ($m = 38,1 \text{ cm}$; $w = 28,5 \text{ cm}$) und vier ($m = 145,9 \text{ cm}$; $w = 128,8 \text{ cm}$), mit geschlossenen Augen, zwischen den Geschlechtern deutlich größer sind.

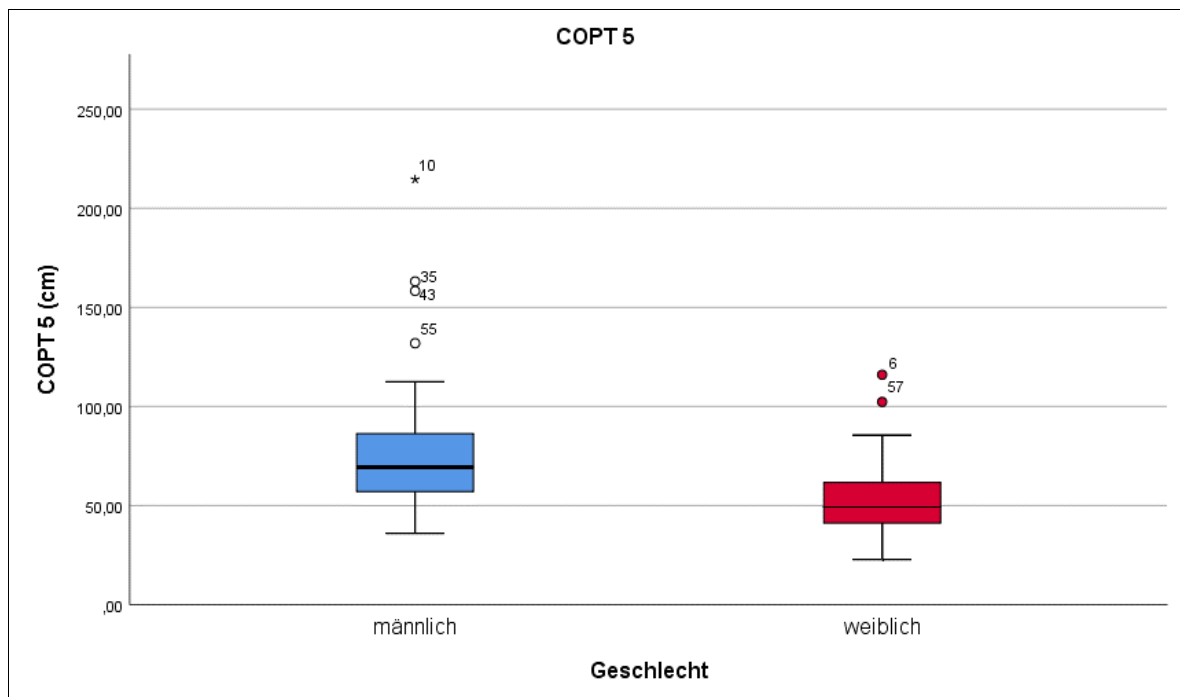


Abbildung 23: absolute Referenzwerte des COPT 5 der dynamischen Messung nach Geschlecht

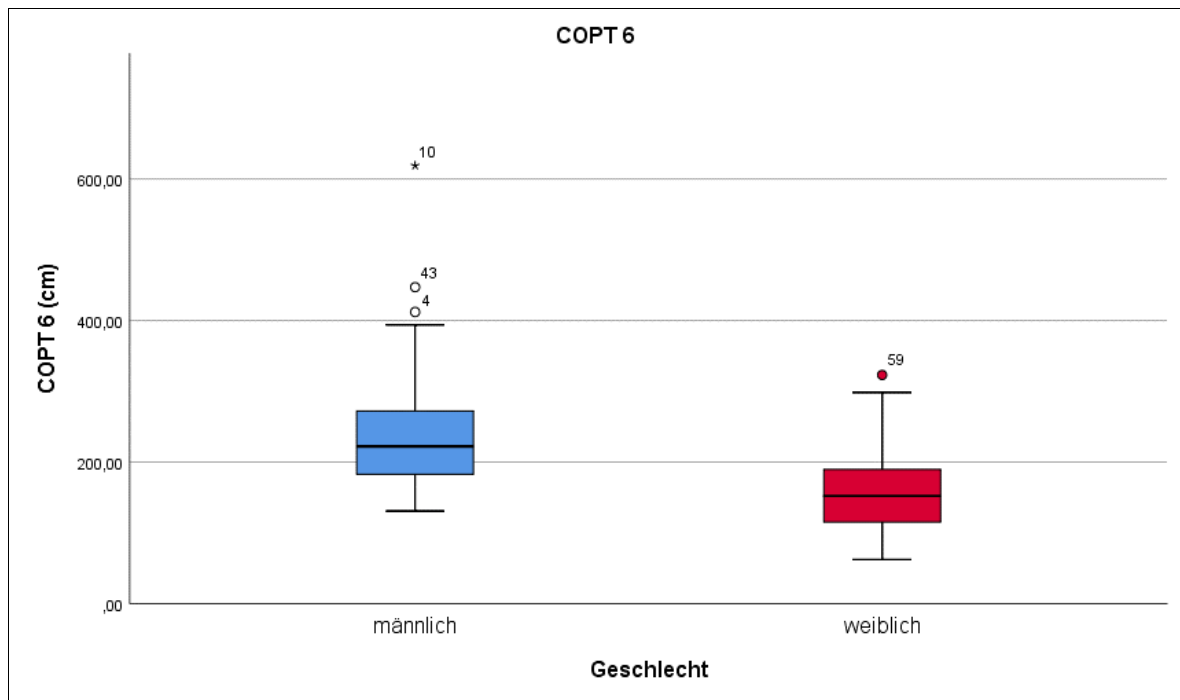


Abbildung 24: absolute Referenzwerte des COPT 6 der dynamischen Messung nach Geschlecht

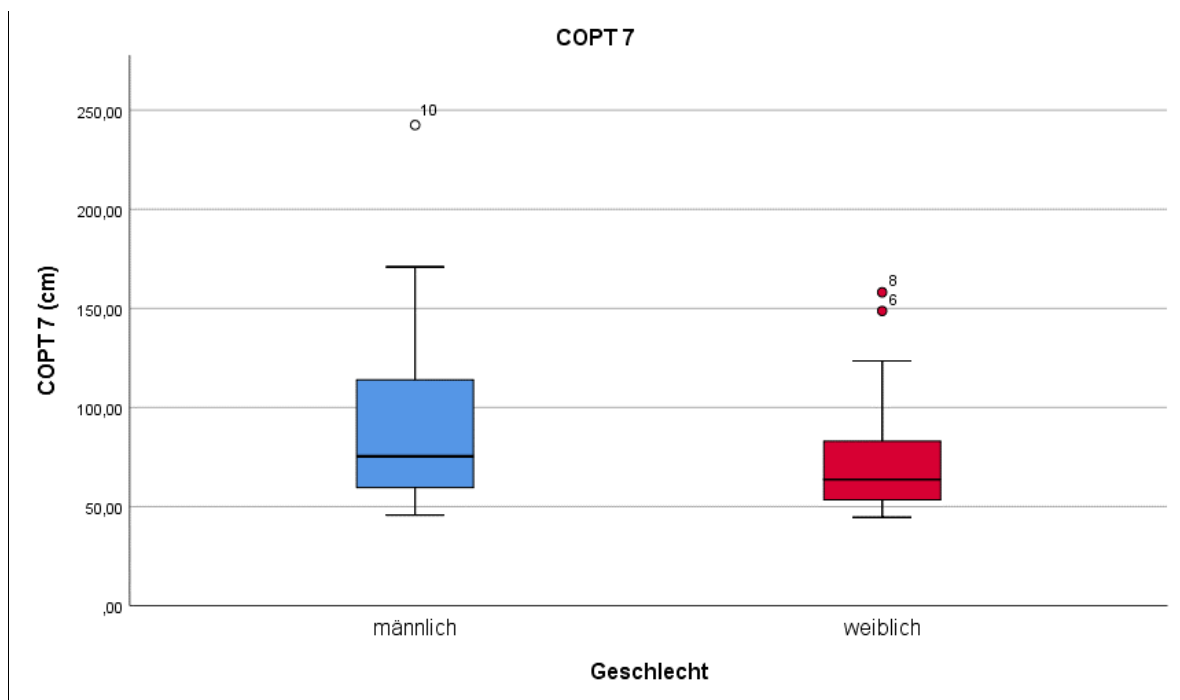


Abbildung 25: absolute Referenzwerte des COPT 7 der dynamischen Messung nach Geschlecht

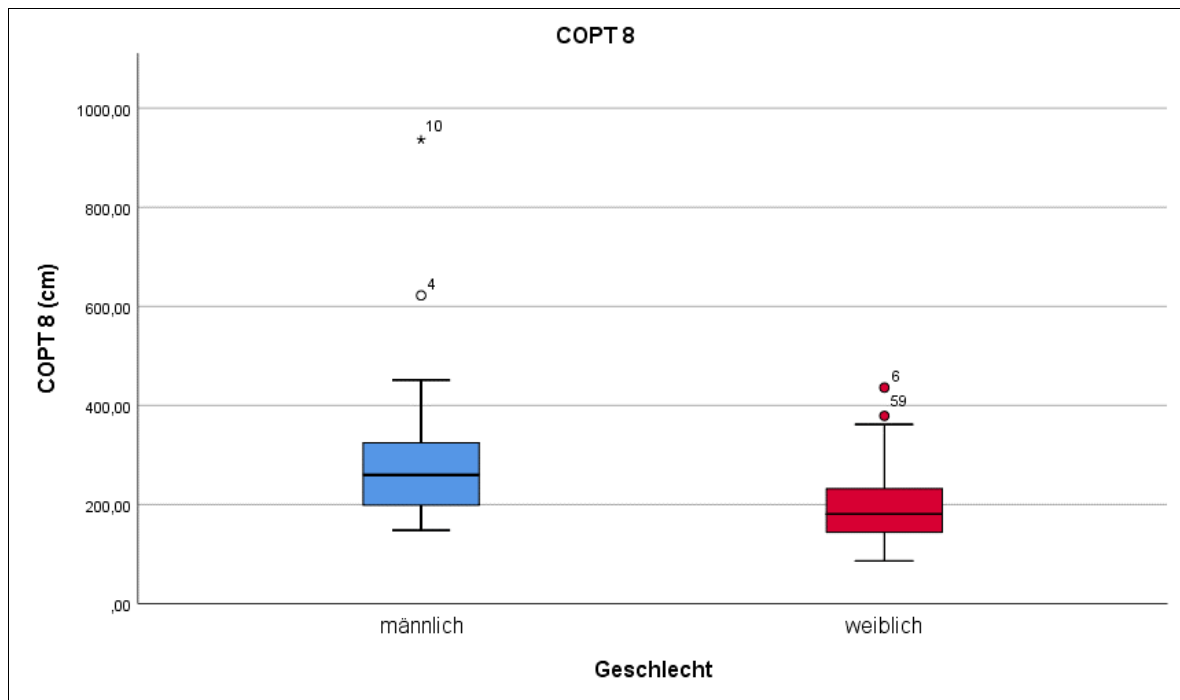


Abbildung 26: absolute Referenzwerte des COPT 8 der dynamischen Messung nach Geschlecht

In den Abbildungen 23 bis 26 sind die absoluten COPT-Referenzwerte der dynamischen Messungen aufgeteilt nach Geschlecht per Boxplots dargestellt. Interessant ist hier, dass durchgehend die Medianwerte der Frauen geringer als die der Männer ausfallen.

Besonders deutlich sind die Unterschiede zwischen den Geschlechtern bei den Messungen sechs ($m = 222,2 \text{ cm}$; $w = 152,4 \text{ cm}$) und acht ($m = 259,7 \text{ cm}$; $w = 181,3 \text{ cm}$).

Auffällig ist auch, dass die Quartilsabstände der Frauen bei allen Messungen durchgehend geringer sind als bei den Männern. Lediglich in der dritten Messung liegen die Abstände näher beieinander ($m = 24,3 \text{ cm}$; $w = 24 \text{ cm}$).

5.1.3 absolute Referenzwerte des ROM

In weiterer Folge werden die absoluten Referenzwerte des ROM für alle acht Messungen anschaulich abgebildet. Aus den Tabellen 5 und 6 sind die Mittelwerte, die 95%-Konfidenz Untergrenze und die 95%-Konfidenz Obergrenze aufgeteilt nach Geschlecht herauszulesen.

Tabelle 5: absolute Referenzwerte des ROM der weiblichen Probanden

ROM 1 – 8 (cm ²) weiblich (n=40)	Mittelwert	95%-Konfidenz Untergrenze	95%-Konfidenz Obergrenze
ROM 1 (stat., open)	1,1	0,4	1,9
ROM 2 (stat., close)	1,2	0,9	1,6
ROM 3 (stat., foam, open)	3,3	2,7	4,0
ROM 4 (stat., foam, close)	18,3	13,2	23,4
ROM 5 (dyn., open)	4,5	3,5	5,6
ROM 6 (dyn., close)	49,7	38,5	61,0
ROM 7 (dyn., foam, open)	6,7	4,7	8,6
ROM 8 (dyn., foam, close)	73,7	52,2	95,3

Tabelle 6: absolute Referenzwerte des ROM der männlichen Probanden

ROM 1 – 8 (cm ²) männlich (n=31)	Mittelwert	95%-Konfidenz Untergrenze	95%-Konfidenz Obergrenze
ROM 1 (stat., open)	1,2	0,9	1,5
ROM 2 (stat., close)	1,9	1,4	2,4
ROM 3 (stat., foam, open)	5,4	3,6	7,1
ROM 4 (stat., foam, close)	27,4	16,8	37,9
ROM 5 (dyn., open)	7,5	5,4	9,6
ROM 6 (dyn., close)	77,3	62,3	92,2
ROM 7 (dyn., foam, open)	10,3	7,2	13,3
ROM 8 (dyn., foam, close)	110,1	82,3	137,9

Auf den ersten Blick ist vor allem auffällig, dass wieder die durchschnittlichen ROM-Messwerte der Frauen allesamt niedriger sind als bei den Männern. Besonders markant ist dies bei den beiden dynamischen Messungen mit geschlossenen Augen (Messung 6 und 8) zu erkennen.

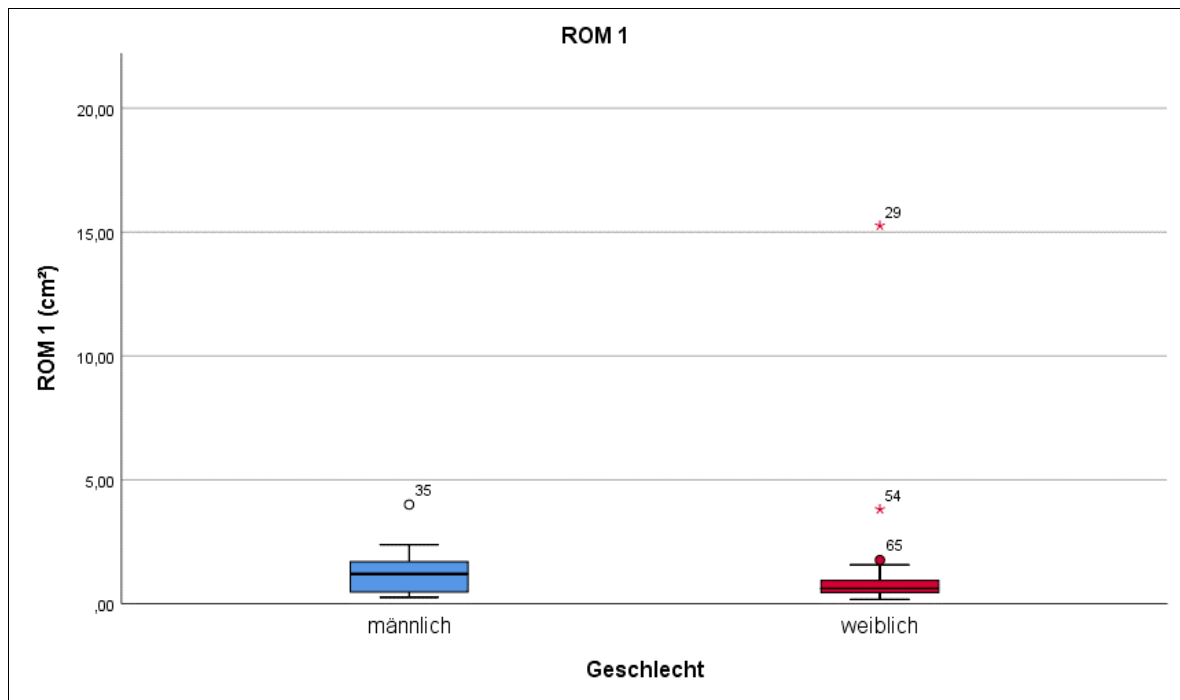


Abbildung 27: absolute Referenzwerte des ROM 1 der statischen Messung nach Geschlecht

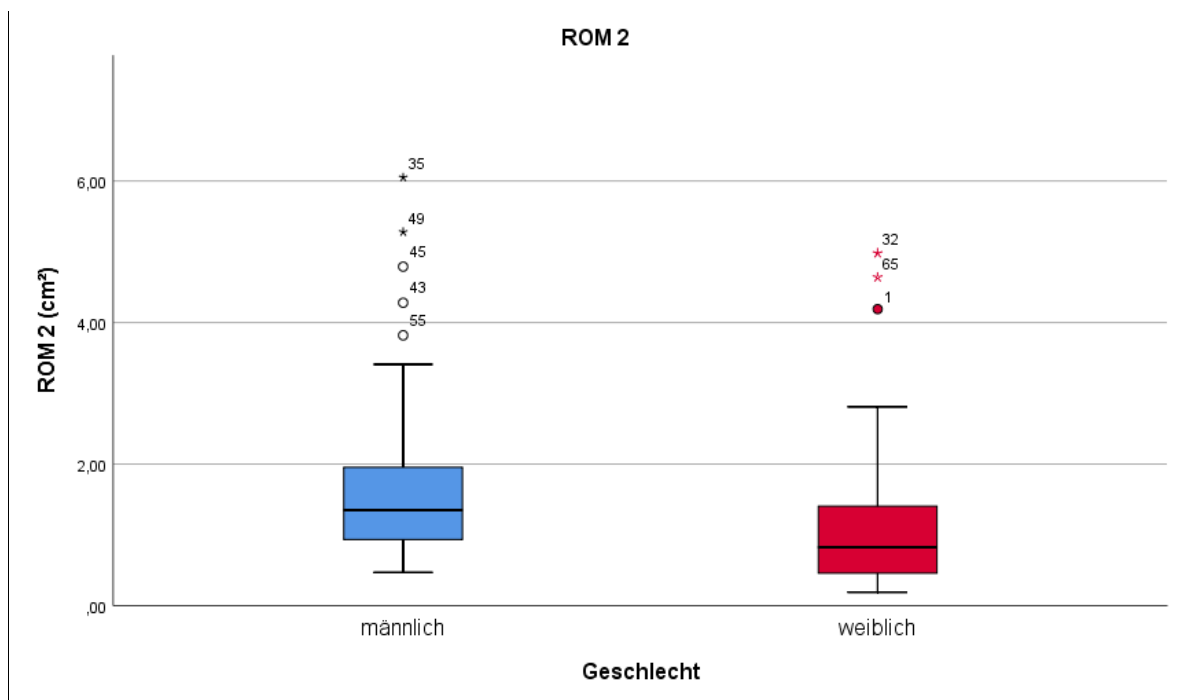


Abbildung 28: absolute Referenzwerte des ROM 2 der statischen Messung nach Geschlecht

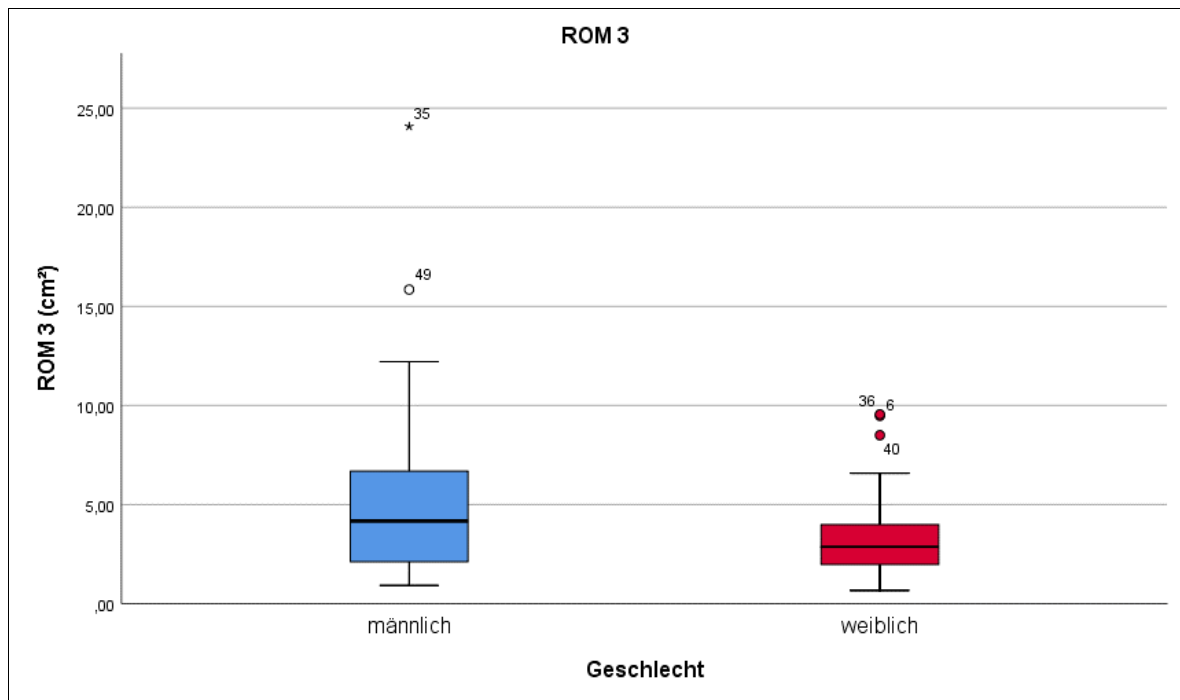


Abbildung 29: absolute Referenzwerte des ROM 3 der statischen Messung nach Geschlecht

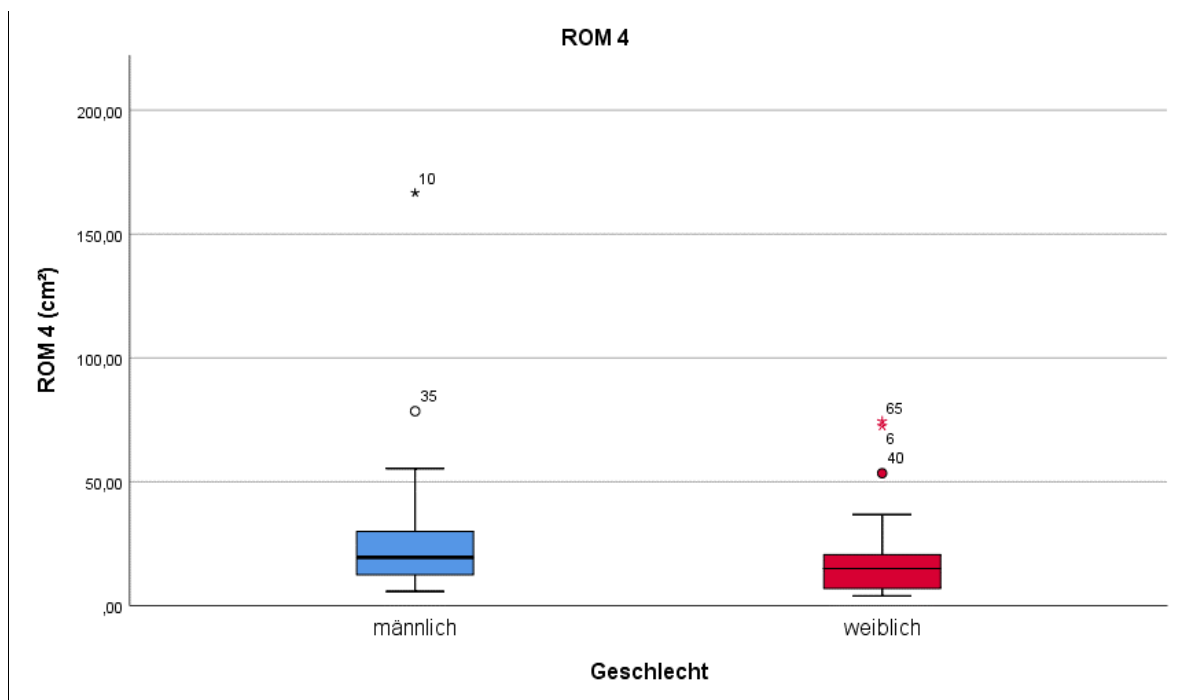


Abbildung 30: absolute Referenzwerte des ROM 4 der statischen Messung nach Geschlecht

In den Abbildungen 27 bis 30 sind die Resultate bezüglich des ROM nach Geschlecht getrennt per Boxplots dargestellt. Aus den ersten vier statischen Messungen sind wieder kaum Unterschieden zwischen den ROM-Werten der Männer und Frauen zu erkennen.

Die Median-Werte der ersten und zweiten Messung liegen bei den Männern (stat., open 1,2 cm²; stat., close 1,35 cm²) und Frauen (stat., open 0,6 cm²; stat., close 0,8 cm²) recht nah beieinander. Erst mit der Nutzung der Schaumstoffmatte in Messung drei und vier vergrößern sich die Messwerte sprunghaft. Der Median in Messung drei liegt bei den Männern bei 4,17 cm² und bei den Frauen bei 2,9 cm². In der vierten Messung erhöht sich der Median bei den Männern auf 19,52 cm² und bei den Frauen auf 15 cm². Was man bei beiden Geschlechtern erkennen kann, ist, dass sich immer Ausreißer unter den Werten befinden.

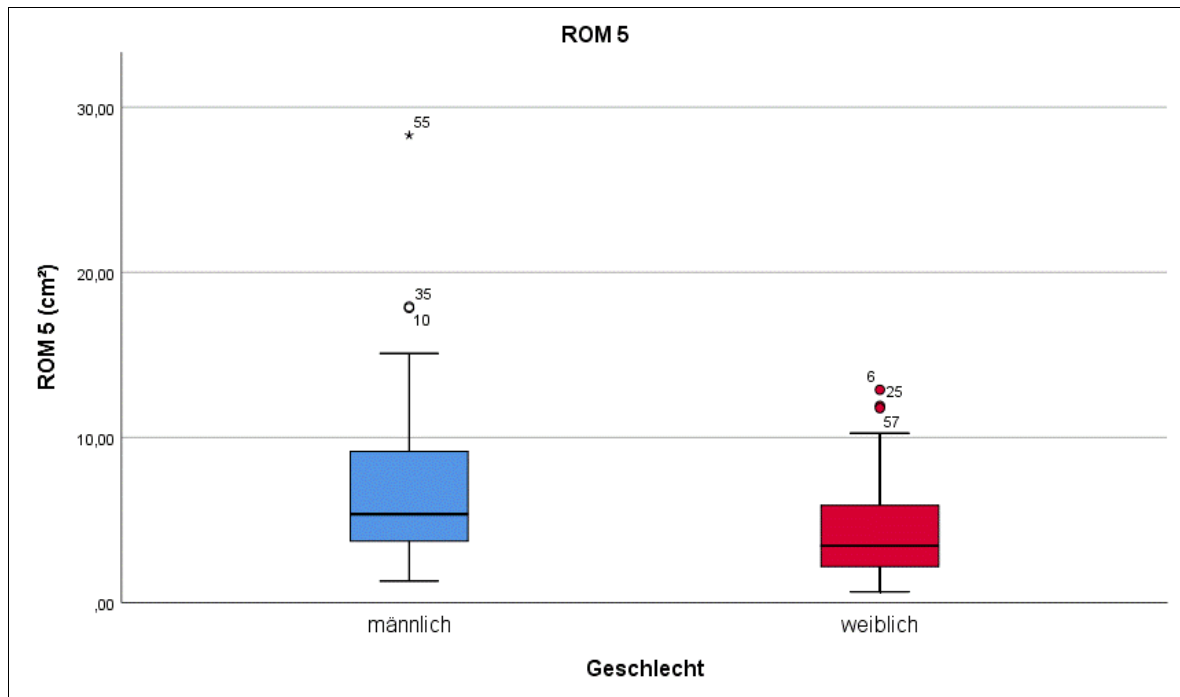


Abbildung 31: absolute Referenzwerte des ROM 5 der dynamischen Messung nach Geschlecht

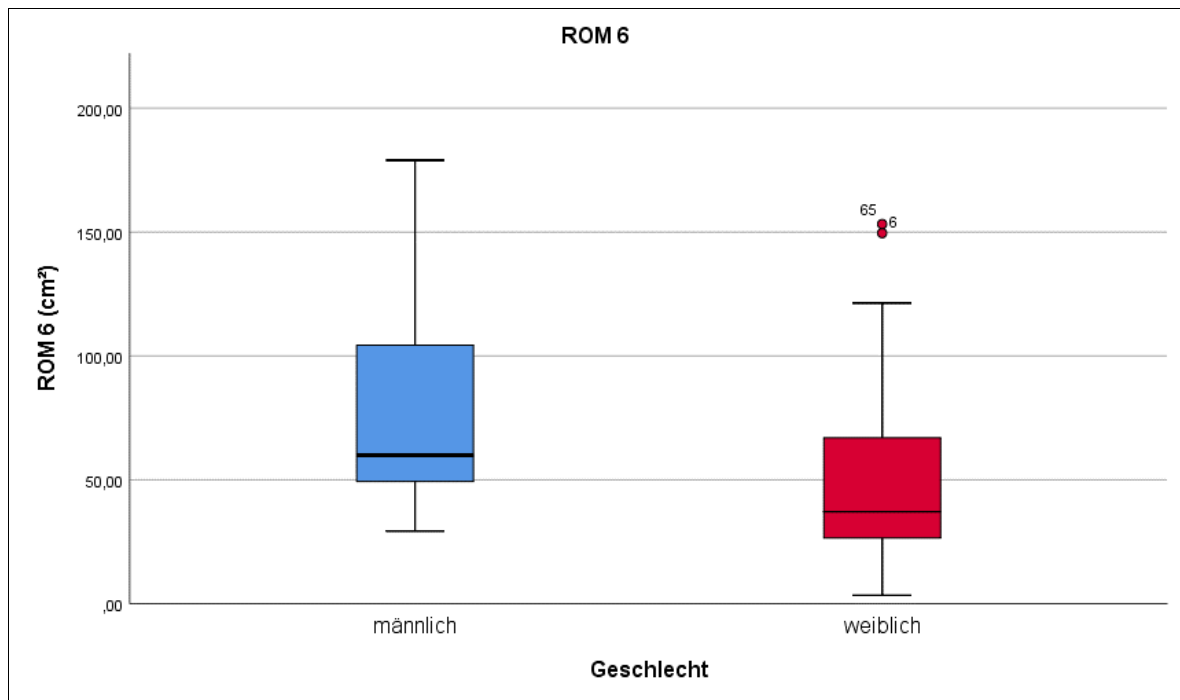


Abbildung 32: absolute Referenzwerte des ROM 6 der dynamischen Messung nach Geschlecht

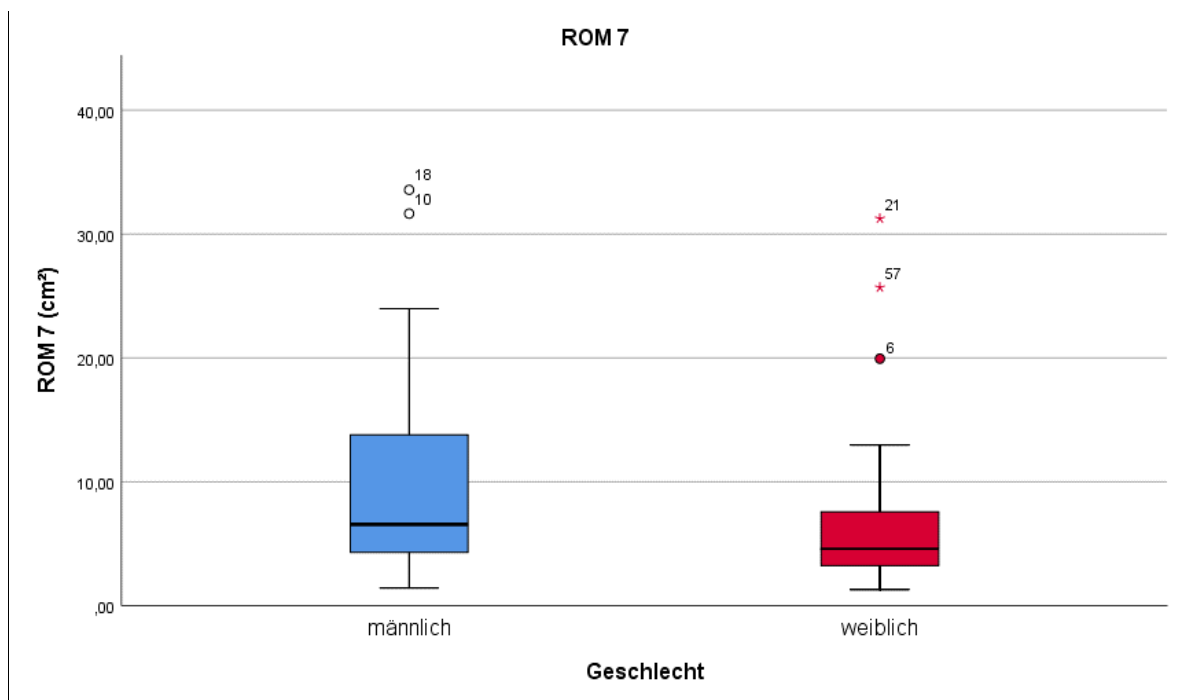


Abbildung 33: absolute Referenzwerte des ROM 7 der dynamischen Messung nach Geschlecht

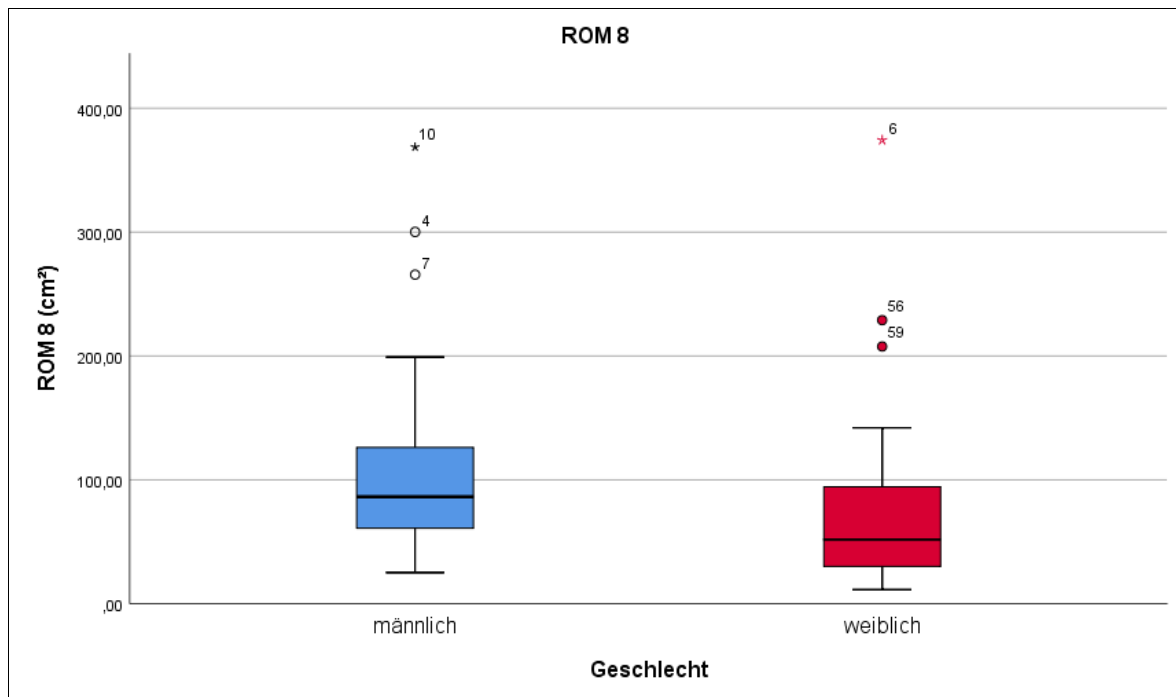


Abbildung 34: absolute Referenzwerte des ROM 8 der dynamischen Messung nach Geschlecht

Auch aus den Boxplots in den Abbildungen 31 bis 34 ist ersichtlich, dass durchwegs die Messwerte der Frauen niedriger sind als die der Männer. Ähnlich wie bei den COPT-Werten gibt es auch hier ein gleiches Muster, was den Verlauf der Messwerte zwischen den einzelnen Messungen fünf bis acht betrifft. Während die Median-Werte zwischen Messung fünf (Männer 5,36 cm²; Frauen 3,4 cm²) und Messung sechs (Männer 59,95 cm²; Frauen 37,1 cm²) um ein vielfaches ansteigen, sind die Median-Werte bei der siebten Messung (Männer 6,57 cm²; Frauen 4,6 cm²) wieder deutlich geringer im Vergleich zur sechsten Messung. Dies weist wieder darauf hin, dass auf instabilem Untergrund das visuelle Feedbacksystem eine größere Rolle spielt, als auf stabilem Untergrund. In der achten Messung (dyn., foam, close) sind die Median-Werte für beide Geschlechter am höchsten (Männer 86,26 cm²; Frauen 51,8 cm²).

5.2 Einfluss der Anthropometrie

In den nachfolgenden Passagen wird der Frage nachgegangen, ob die Körpergröße oder das Körpergewicht einen Einfluss auf die Messwerte des COPT und des ROM haben. Wie bereits in Kapitel 4.5 erwähnt wurde, sind die Testvariablen intervallskaliert. Um zu überprüfen, ob zwischen den anthropometrischen Daten und den COPT- und ROM-Werten Zusammenhänge bestehen, wurde daher auf die Korrelationsrechnung nach Pearson zurückgegriffen.

5.2.1 Zusammenhang zwischen Körpergröße und COPT

In diesem Abschnitt wird zu Beginn analysiert, ob die COPT-Werte der ersten vier statischen Messungen mit dem anthropometrischen Datensatz bezüglich der Körpergröße aller Geschlechter zusammenhängen.

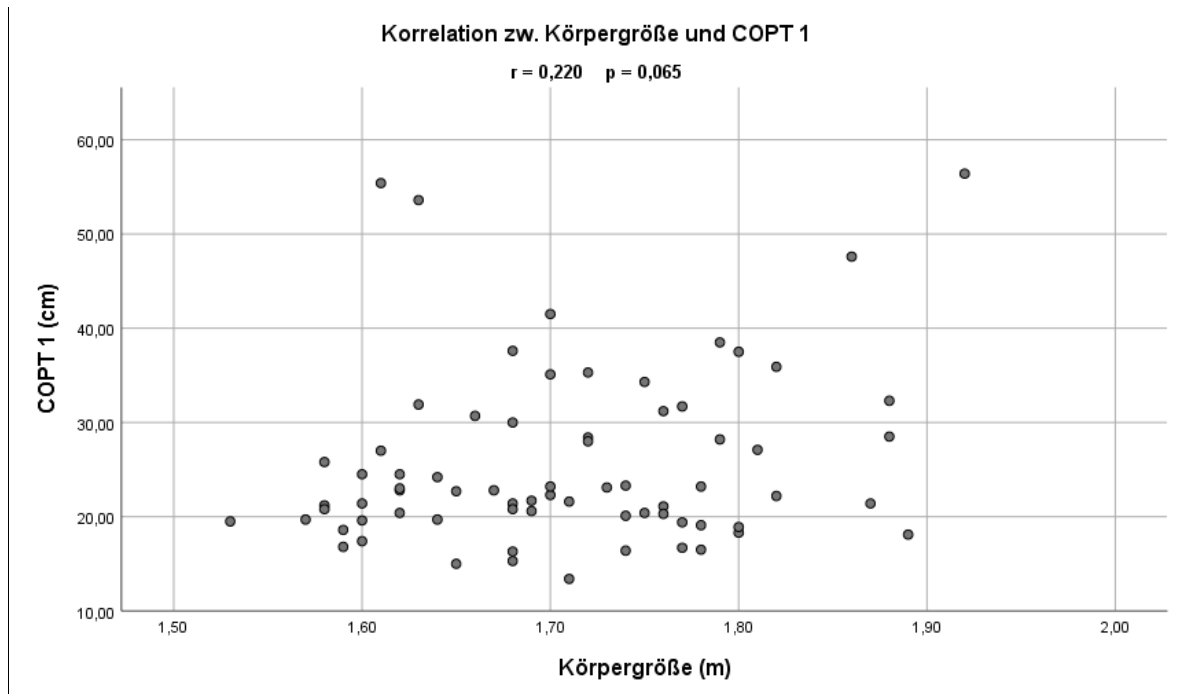


Abbildung 35: Korrelation zwischen Körpergröße und COPT1

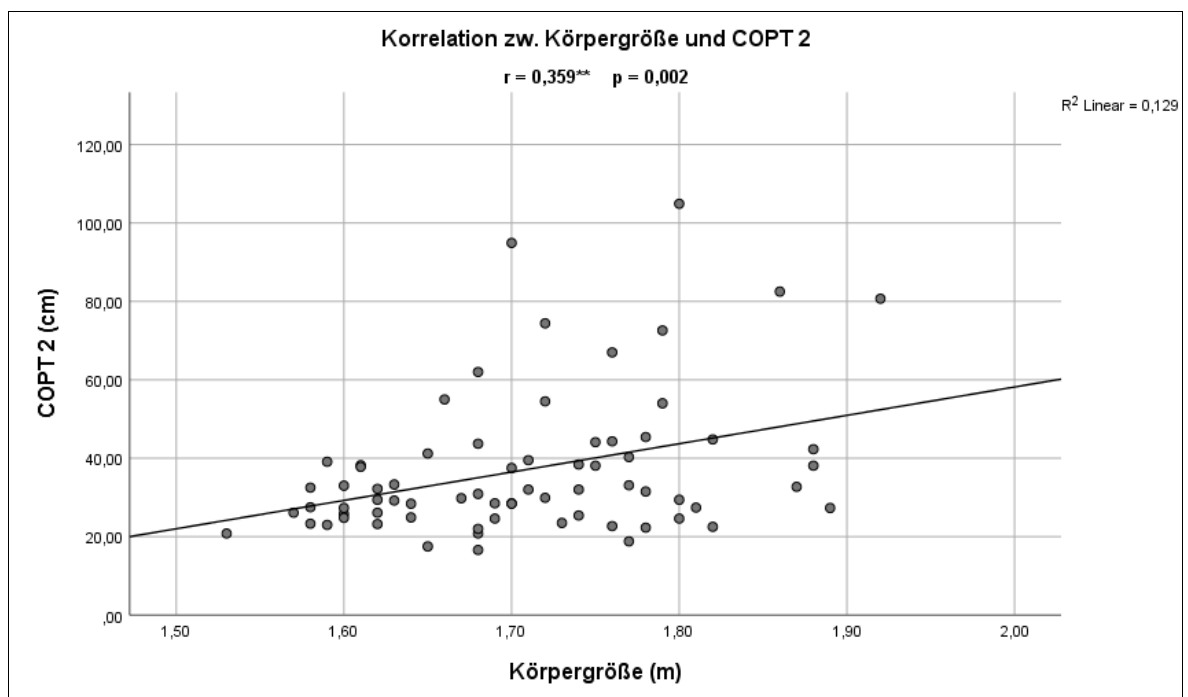


Abbildung 36; Korrelation zwischen Körpergröße und COPT2

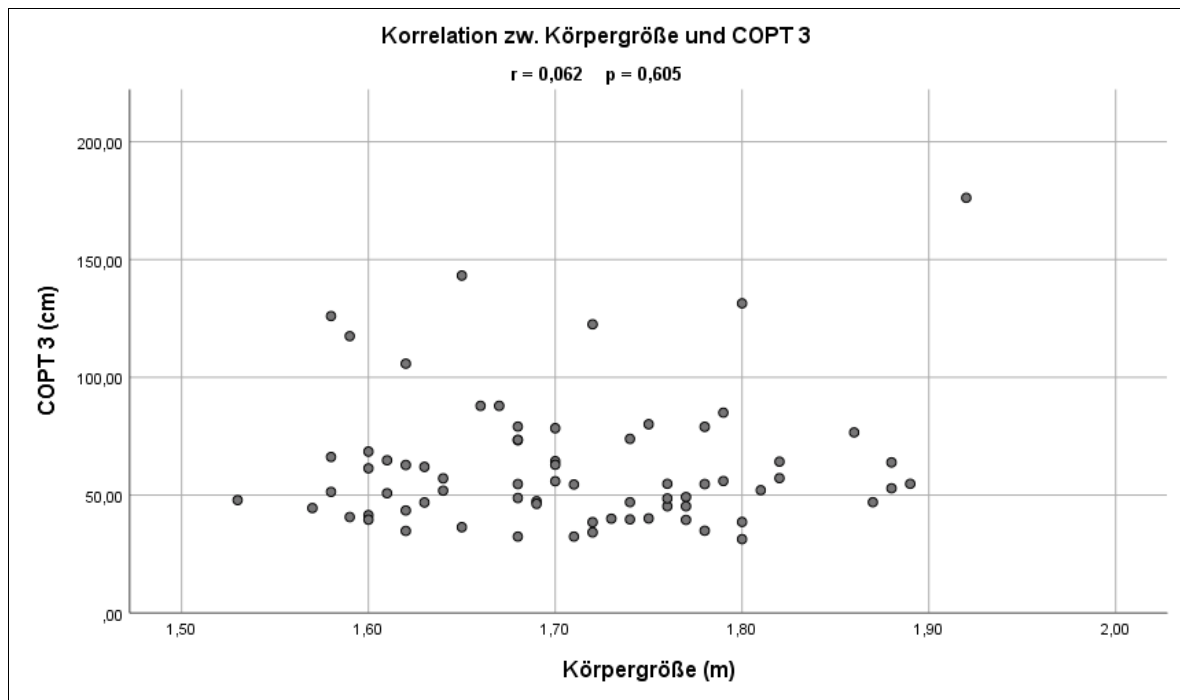


Abbildung 37: Korrelation zwischen Körpergröße und COPT3

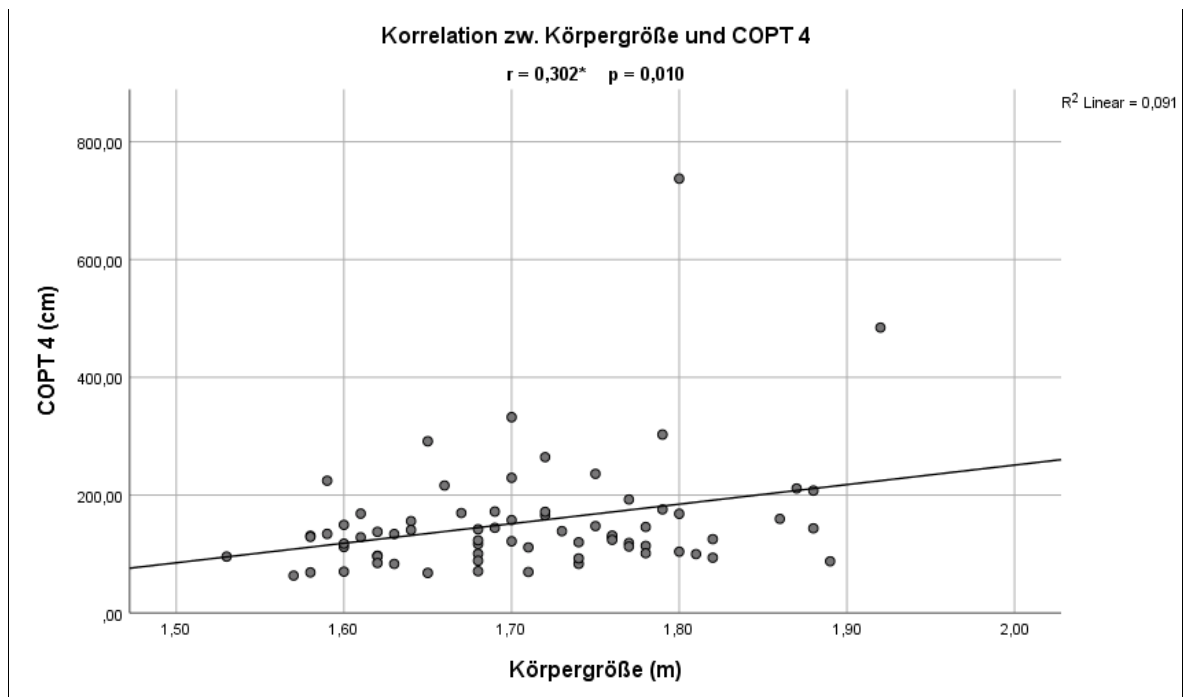


Abbildung 38: Korrelation zwischen Körpergröße und COPT4

Aus den Abbildungen 35 bis 38 geht hervor, dass bei den ersten vier statischen Messungen niedrige positive Zusammenhänge zwischen den COPT-Werten und der Körpergröße aller Probanden bestehen. Signifikant sind die Ergebnisse vor allem in den Messungen zwei (stat., close; $p = 0,002$) und vier (stat., foam, close; $p = 0,010$), bei denen das visuelle Feedbacksystem ausgeschaltet war.

Wie man in weiterer Folge aus den Abbildungen 39 bis 42 entnehmen kann, stellt sich dies bei den dynamischen Messungen fünf bis acht anders da. Während es in Messung fünf und sechs mittlere, positive Zusammenhänge ($r = 0,437^{**}$; $r = 0,467^{**}$) mit einem hohen Signifikanzniveau ($p < 0,001$; $p < 0,001$) gibt, ist der Zusammenhang zwischen den Daten in Messung sieben (dyn., foam, open) und acht (dyn., foam, close) signifikant niedrig ($r = 0,278^*$, $p = 0,019$; $r = 0,285^*$, $p = 0,0016$).

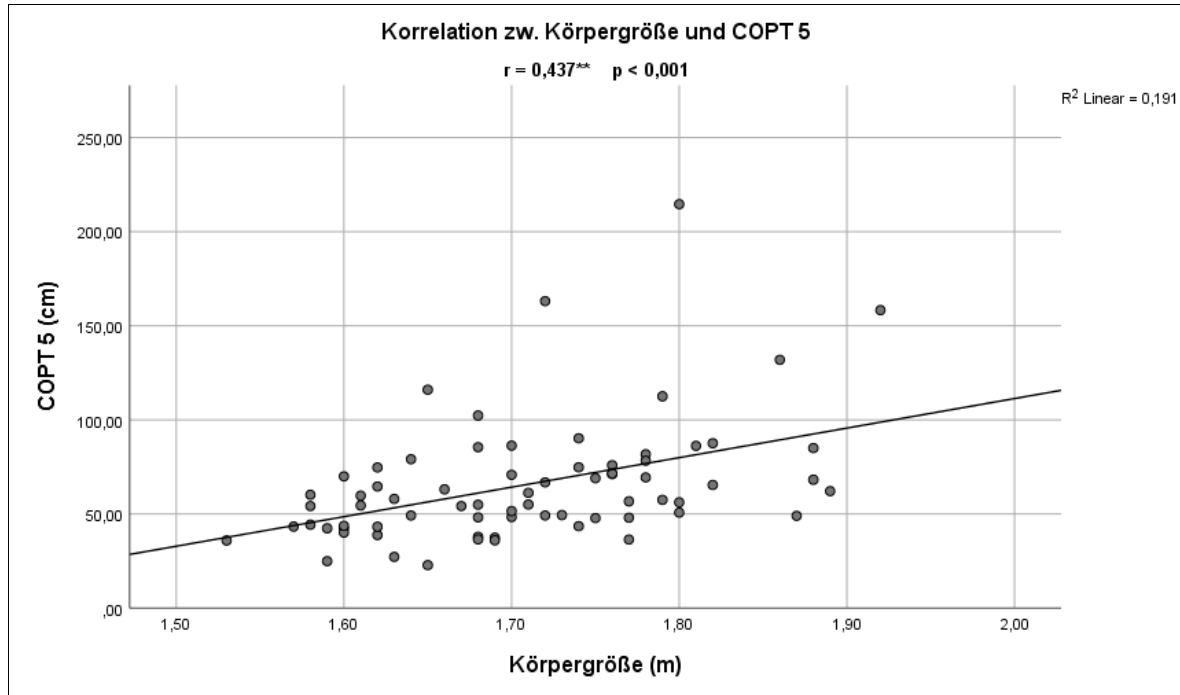


Abbildung 39: Korrelation zwischen Körpergröße und COPT5

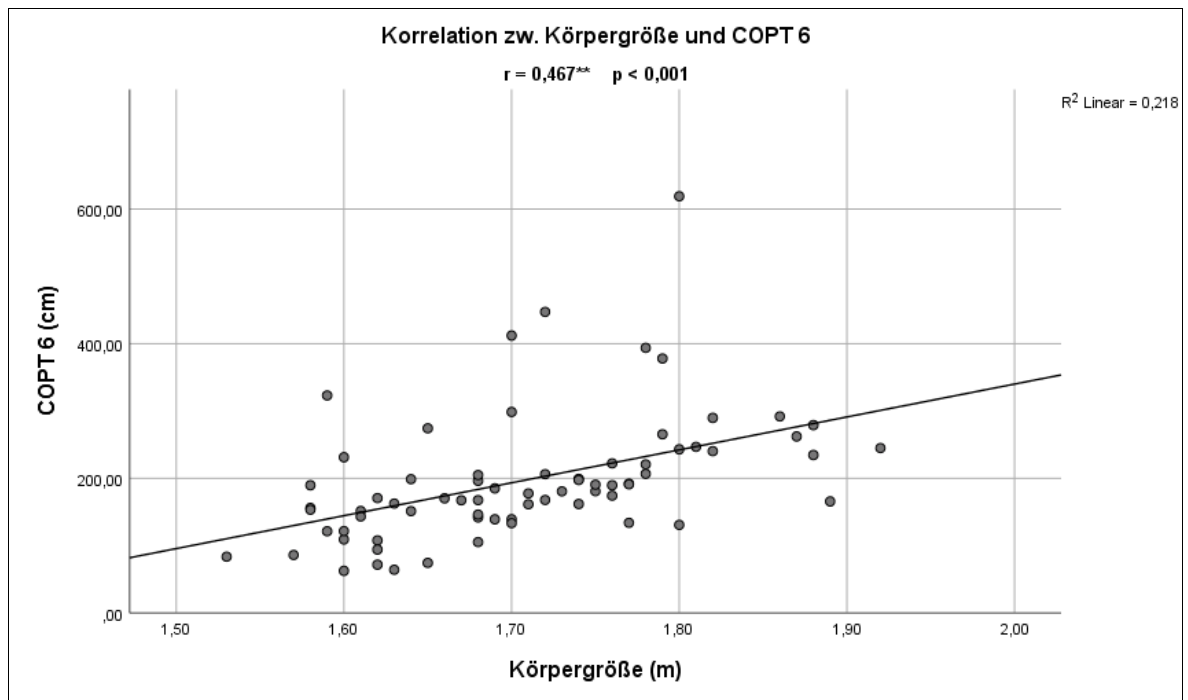


Abbildung 40: Korrelation zwischen Körpergröße und COPT6

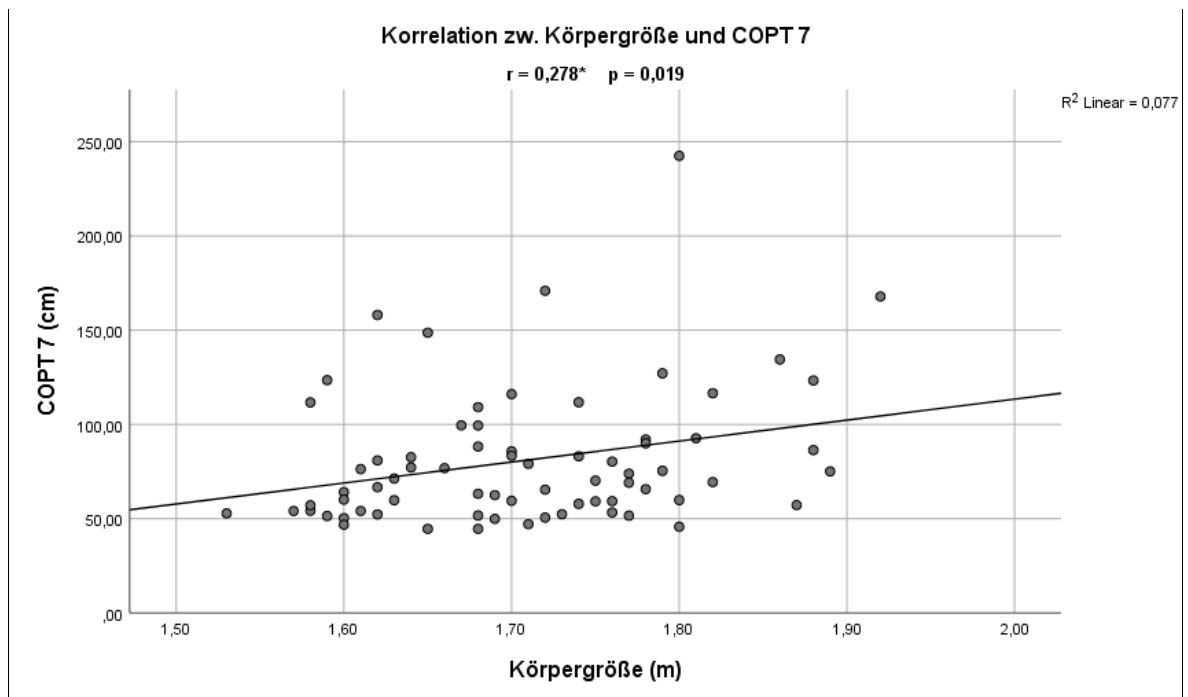


Abbildung 41: Korrelation zwischen Körpergröße und COPT7

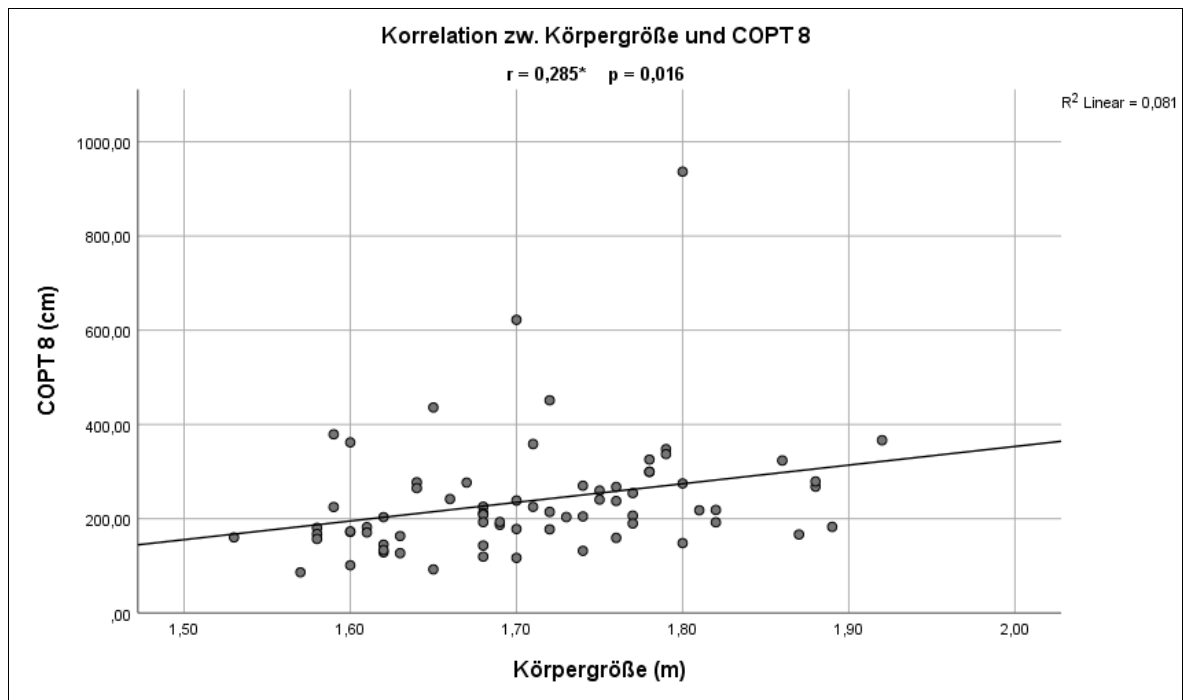


Abbildung 42: Korrelation zwischen Körpergröße und COPT8

5.2.2 Zusammenhang zwischen Körpergröße und ROM

In diesem Abschnitt geht es um die Frage, ob die Körpergröße aller Probandinnen und Probanden im Zusammenhang mit dem ROM-Wert steht. Die Korrelation der ersten vier statischen Messungen diesbezüglich sind nachfolgend in Abbildung 43 bis 46 zu sehen.

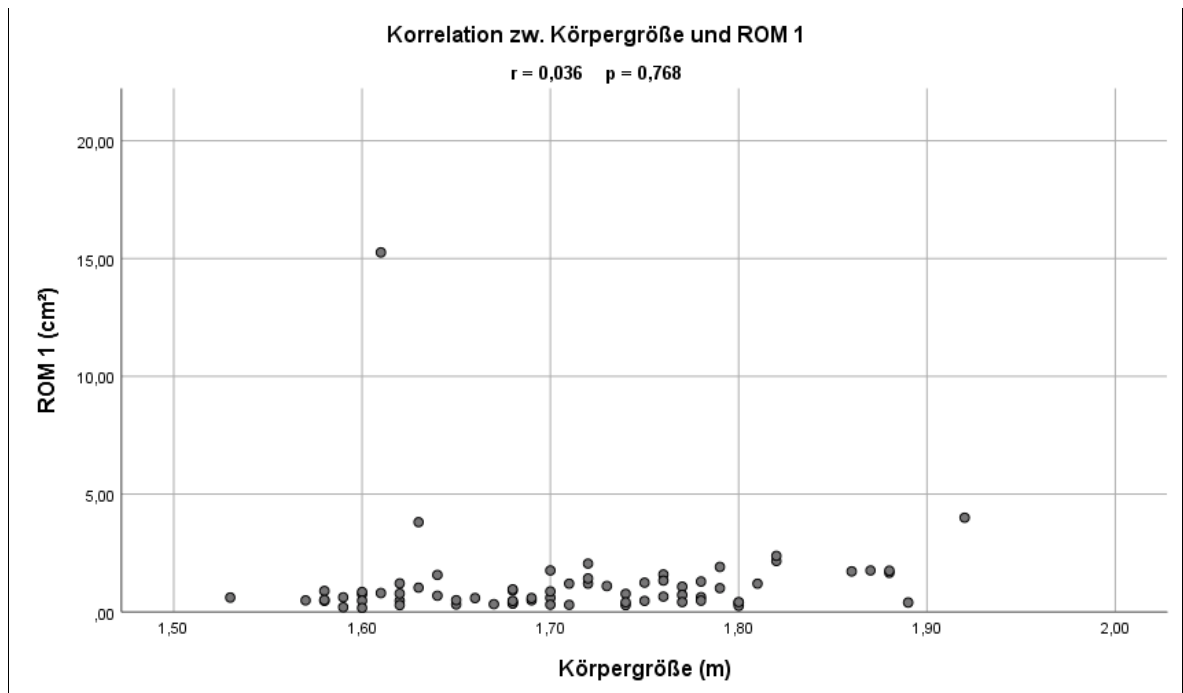


Abbildung 43: Korrelation zwischen Körpergröße und ROM1

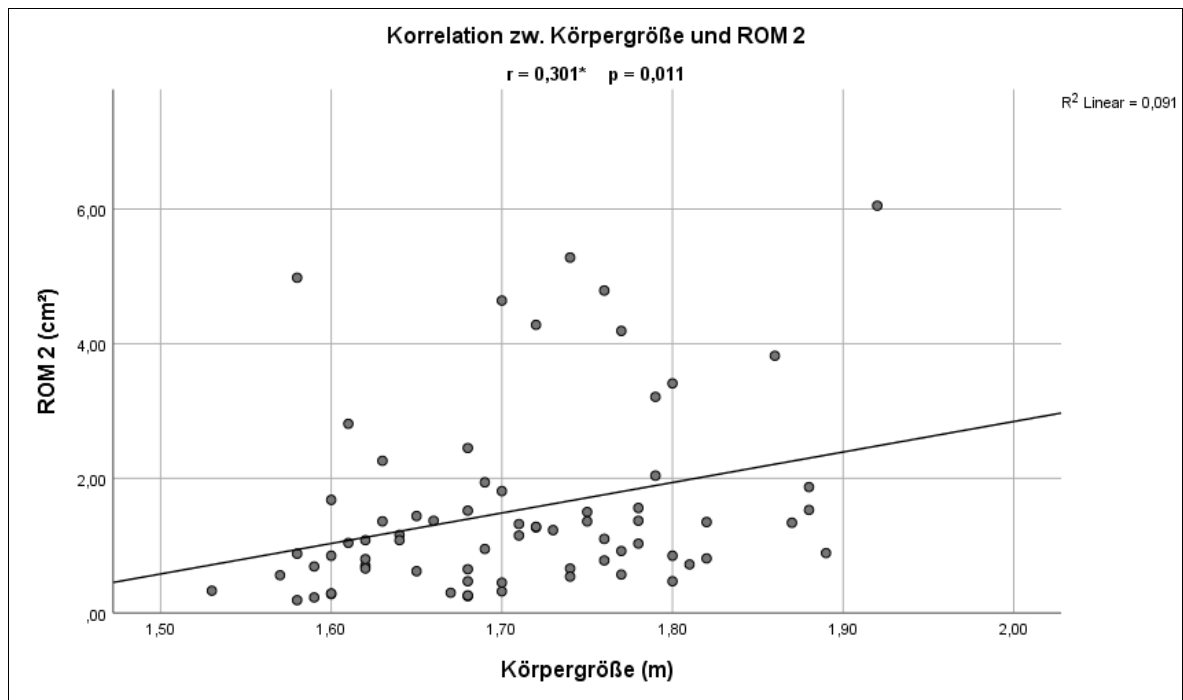


Abbildung 44: Korrelation zwischen Körpergröße und ROM2

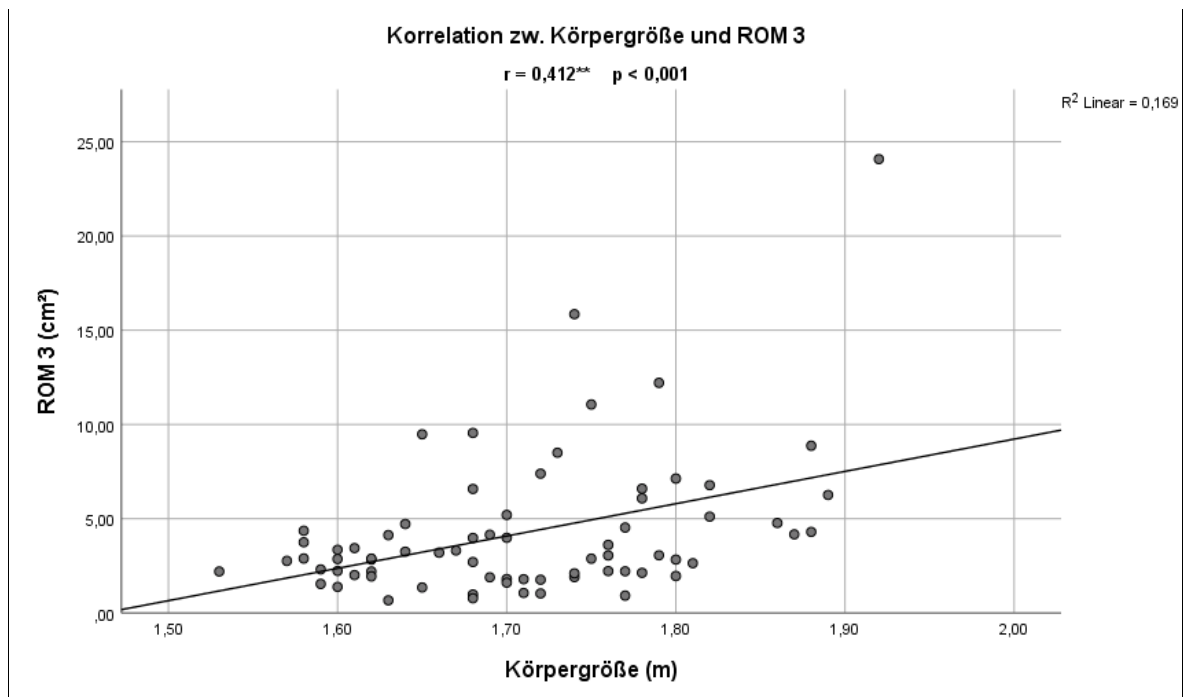


Abbildung 45: Korrelation zwischen Körpergröße und ROM3

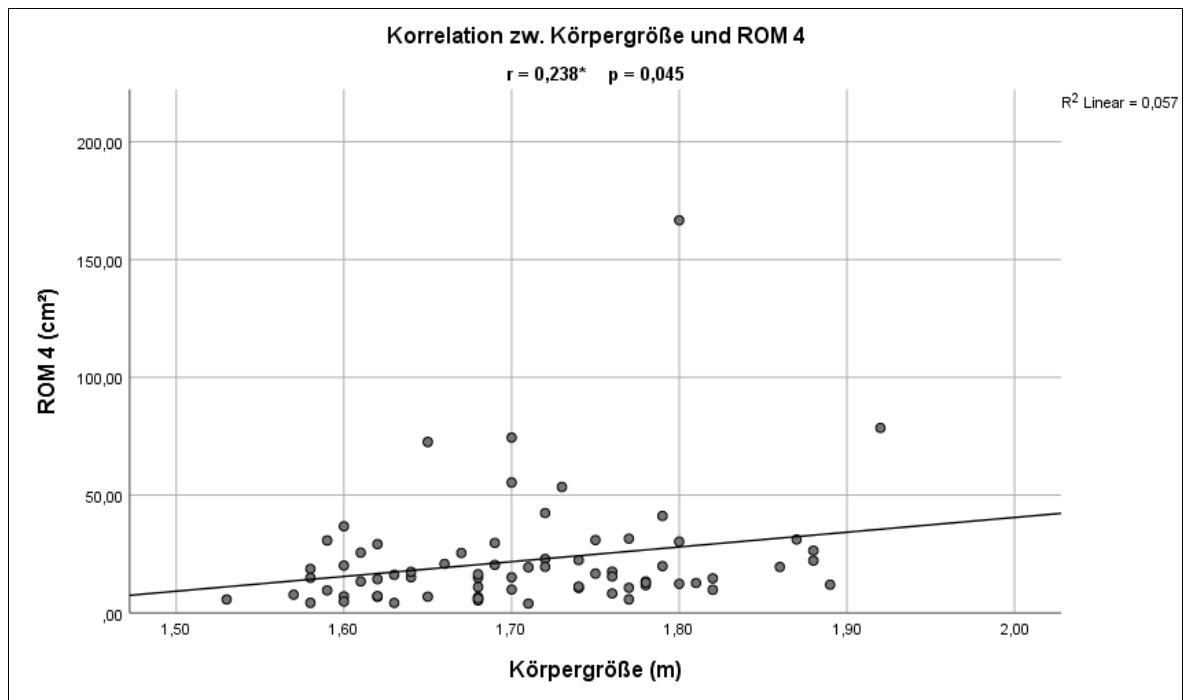


Abbildung 46: Korrelation zwischen Körpergröße und ROM4

Die Auswertung der Daten ergibt für die erste Messung (stat., open) einen nicht signifikanten, niedrigen Zusammenhang ($r = 0,036$, $p = 0.768$). Auch bei den Messungen zwei (stat., close) und vier (stat., foam, close) sind niedrige, jedoch signifikante Zusammenhänge festzustellen ($r = 0,301^*$, $p = 0.011$; $r = 0,238^*$, $p = 0.045$). In Messung drei (stat., foam, open) besteht ein hochsignifikanter, mittlerer Zusammenhang zwischen der Körpergröße und dem ROM-Wert ($r = 0,412^{**}$, $p < 0.001$).

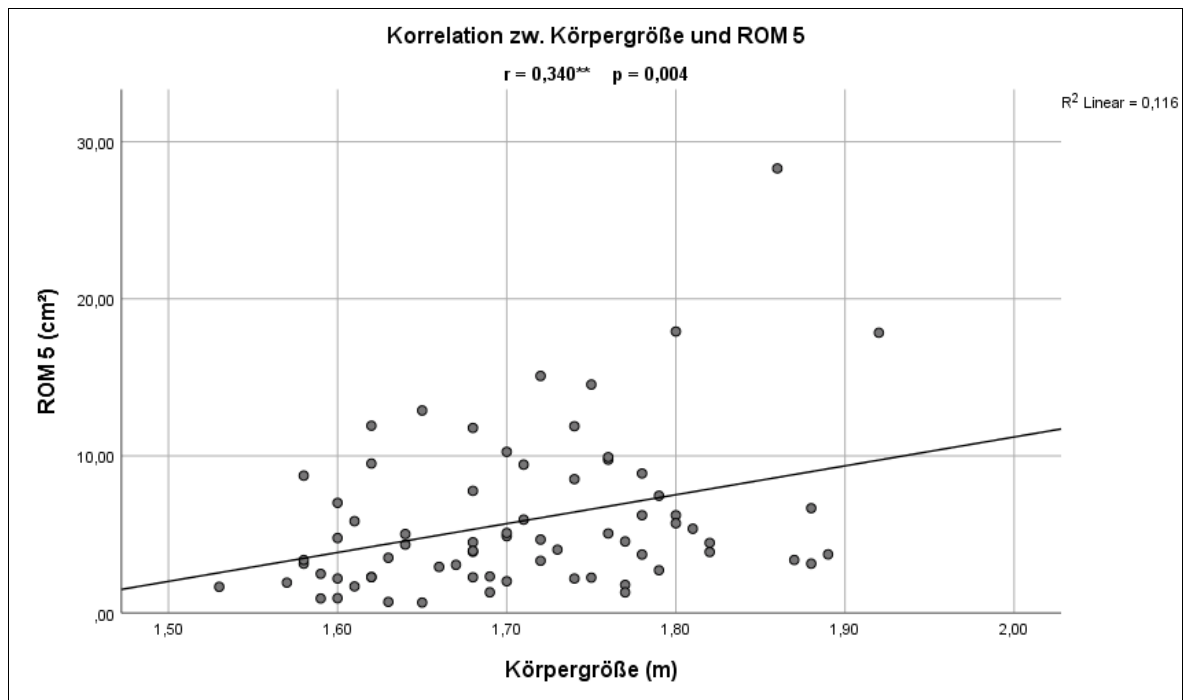


Abbildung 47: Korrelation zwischen Körpergröße und ROM5

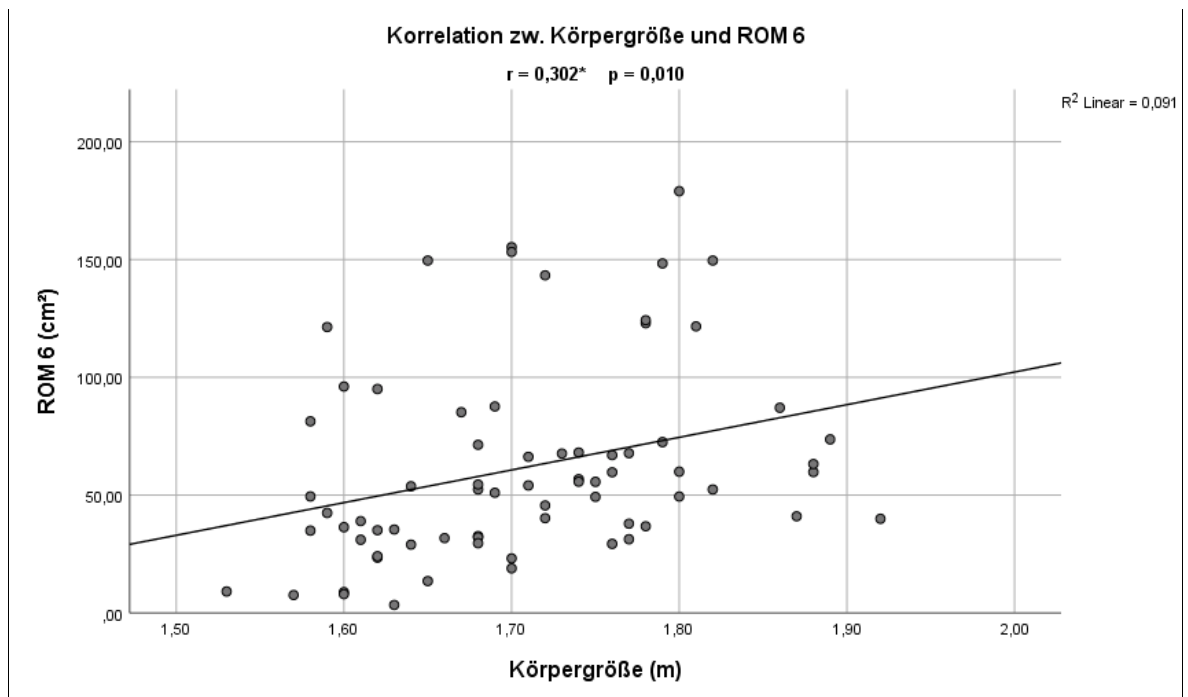


Abbildung 48: Korrelation zwischen Körpergröße und ROM6

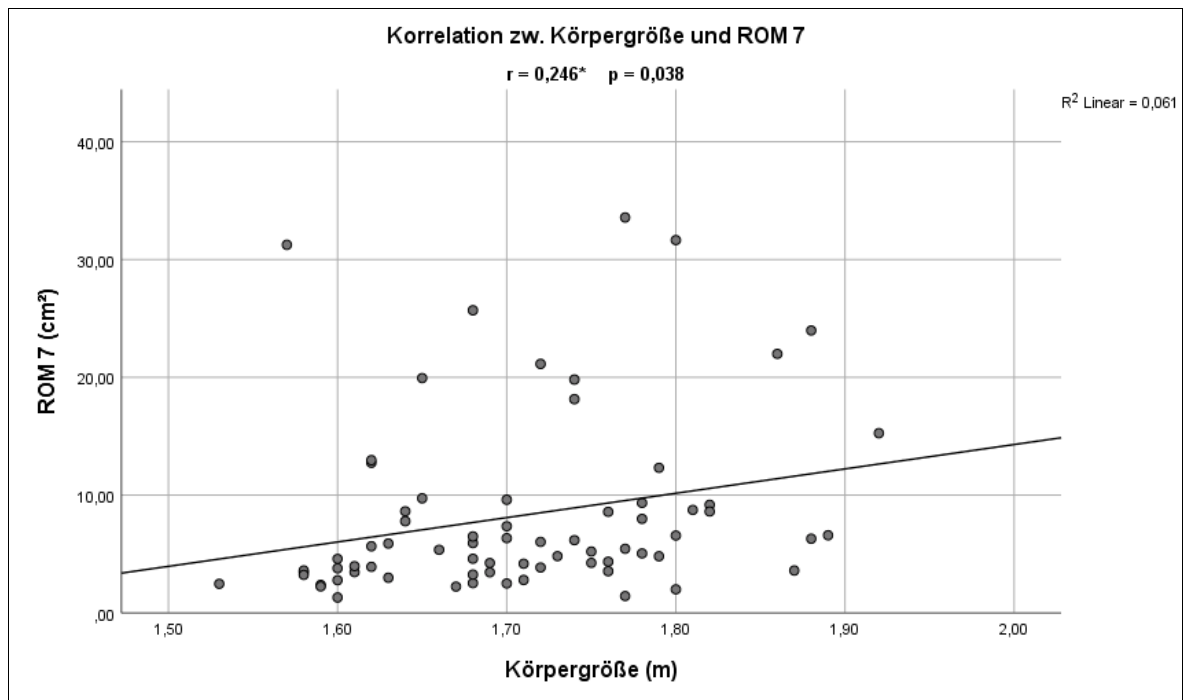


Abbildung 49: Korrelation zwischen Körpergröße und ROM7

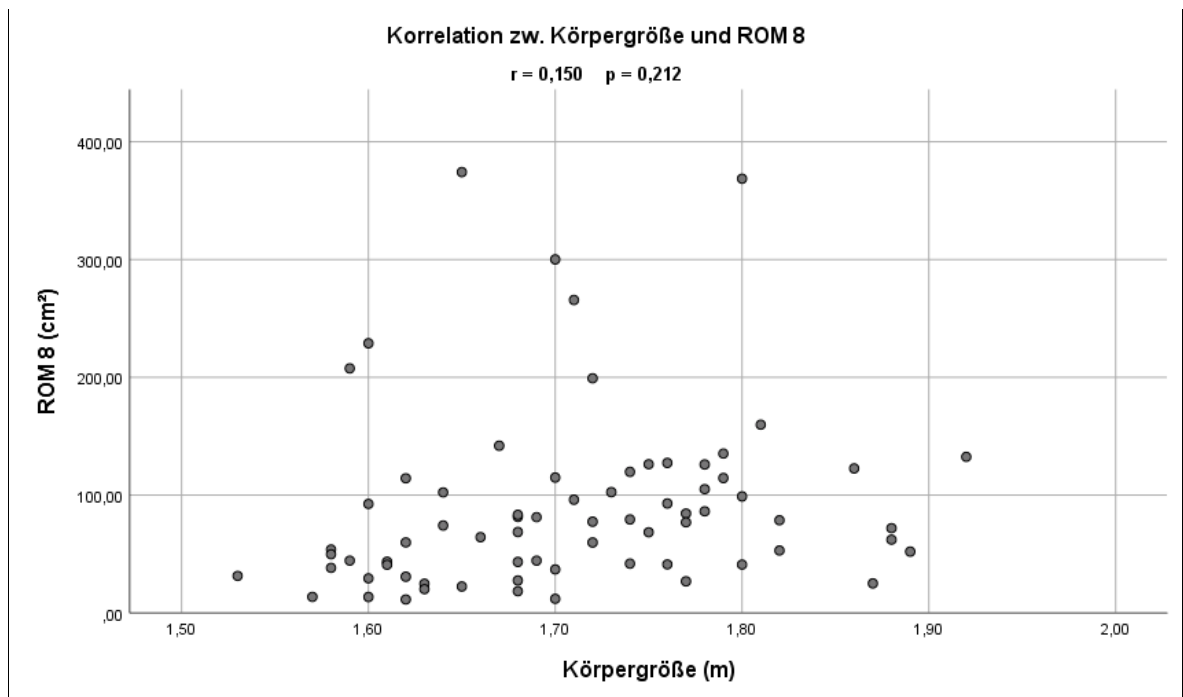


Abbildung 50: Korrelation zwischen Körpergröße und ROM8

Ein niedriger Zusammenhang zwischen der Körpergröße und den ROM-Werten aller Probandinnen und Probanden besteht in allen dynamischen Messungen fünf bis acht, was man aus den Abbildungen 47 bis 50 entnehmen kann. Signifikant sind die Ergebnisse in den Messungen fünf, sechs und sieben ($p = 0.004$, $p = 0.010$, $p = 0.038$). Lediglich die Korrelation der achten Messung ist nicht signifikant ($p = 0.212$).

5.2.3 Zusammenhang zwischen Körpergewicht und COPT

Anschließend wird dargestellt, ob ein Zusammenhang zwischen den COPT-Werten aller Probandinnen und Probanden mit der anthropometrischen Größe Körpergewicht besteht. Zu Beginn ist die Korrelation zwischen den COPT-Werten und dem Körpergewicht der ersten vier statischen Messungen in Abbildung 51 bis 54 aufgeführt.

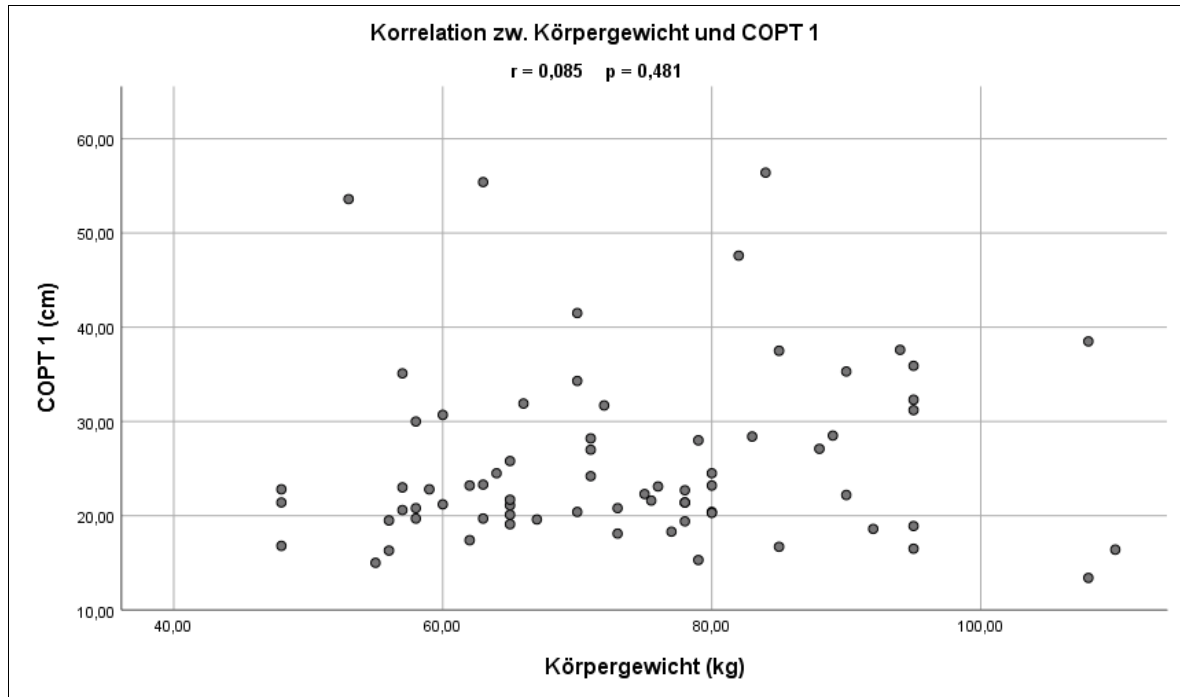


Abbildung 51: Korrelation zwischen Körpergewicht und COPT1

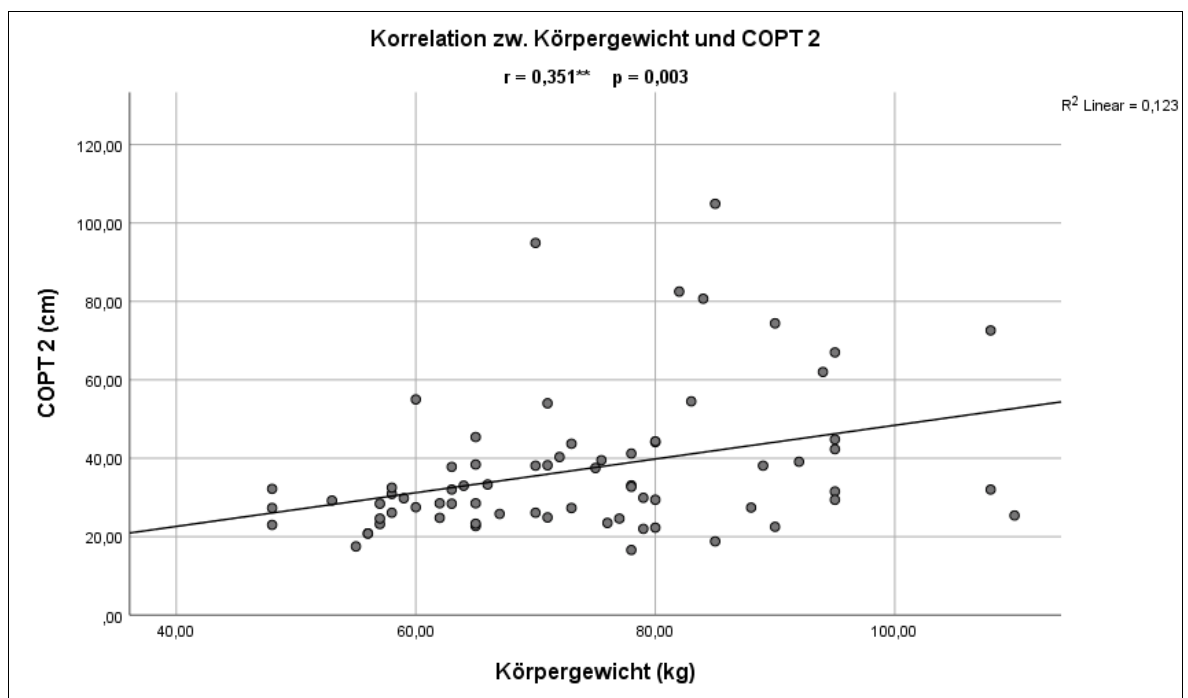


Abbildung 52: Korrelation zwischen Körpergewicht und COPT2

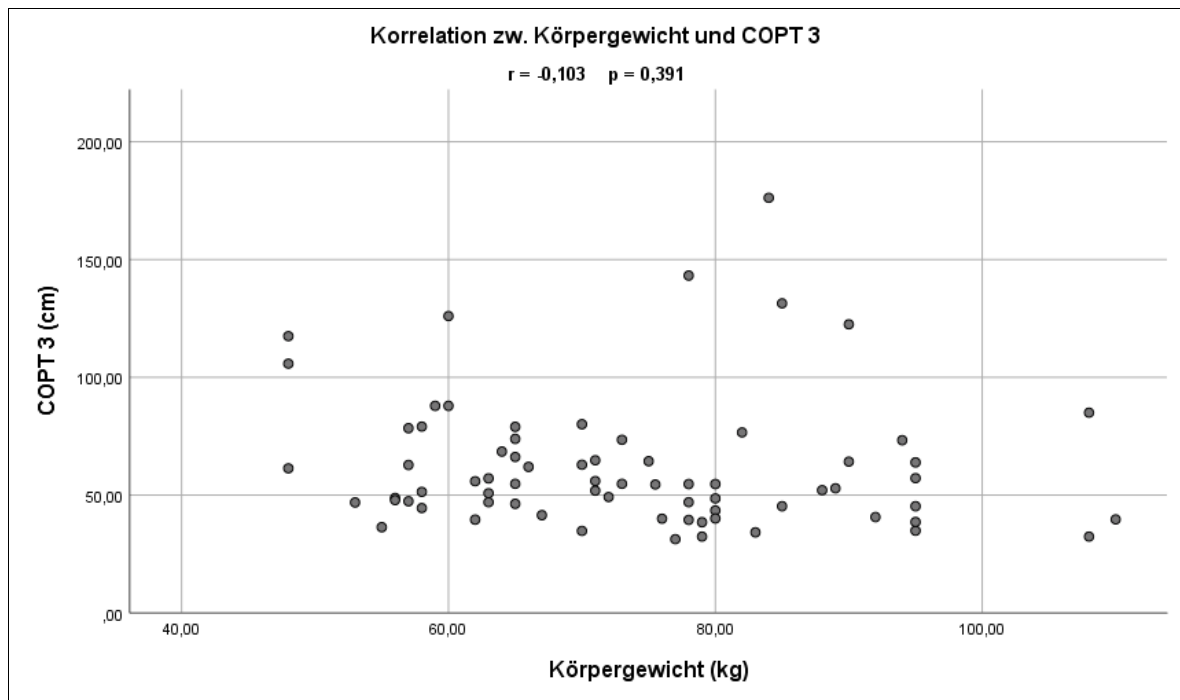


Abbildung 53: Korrelation zwischen Körpergewicht und COPT3

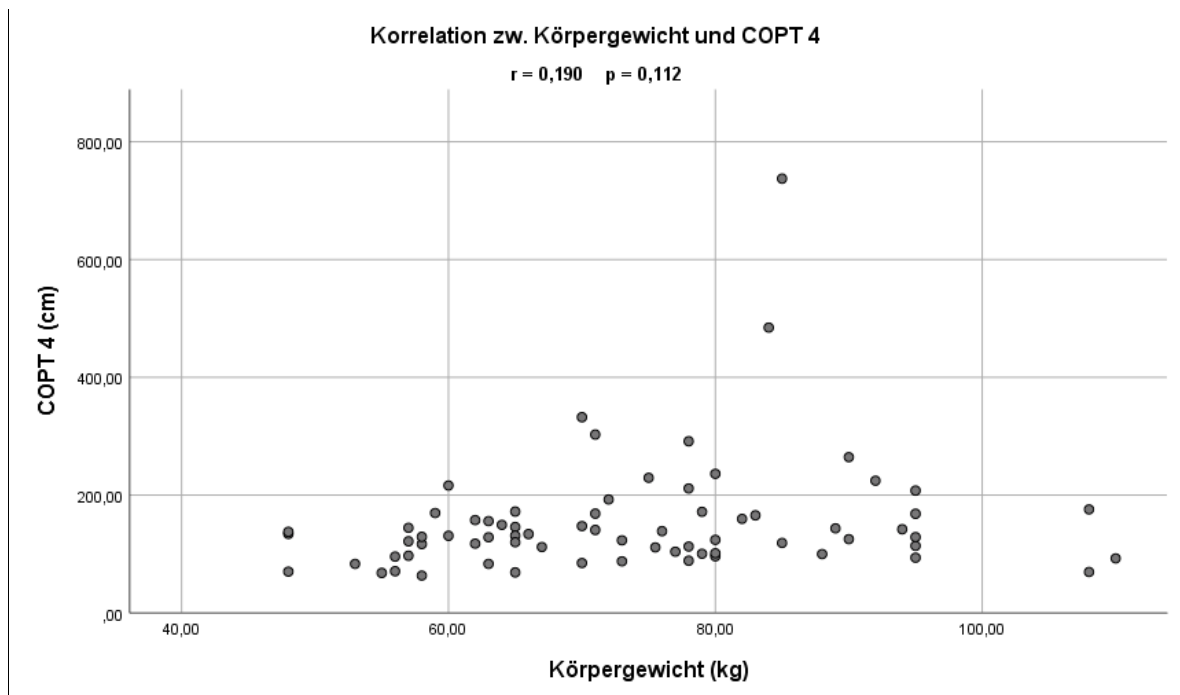


Abbildung 54: Korrelation zwischen Körpergewicht und COPT4

Für alle statischen Messungen besteht ein niedriger Zusammenhang zwischen dem Körpergewicht und dem COPT. Signifikant ($p = 0.003$) ist der Zusammenhang lediglich zwischen den Werten der zweiten Messung (stat., close).

Nachfolgend wird in den Abbildungen 55 bis 58 die Korrelation zwischen den COPT-Werten und dem Körpergewicht bei den dynamischen Messungen fünf bis acht gezeigt.

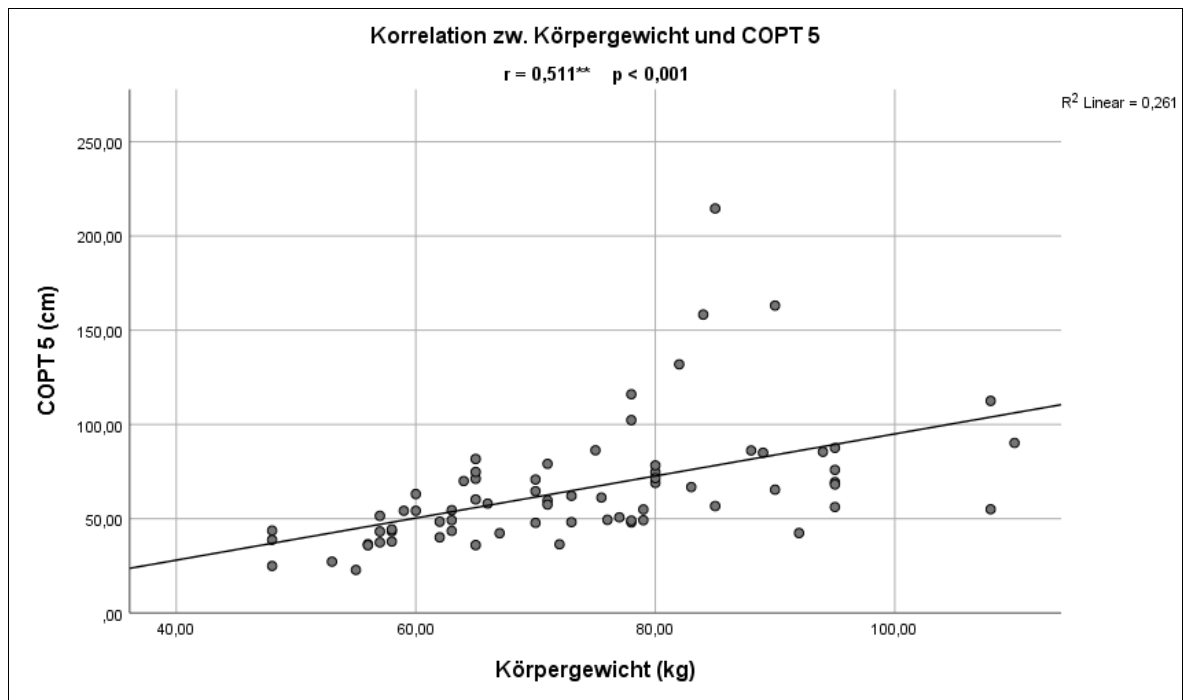


Abbildung 55: Korrelation zwischen Körpergewicht und COPT5

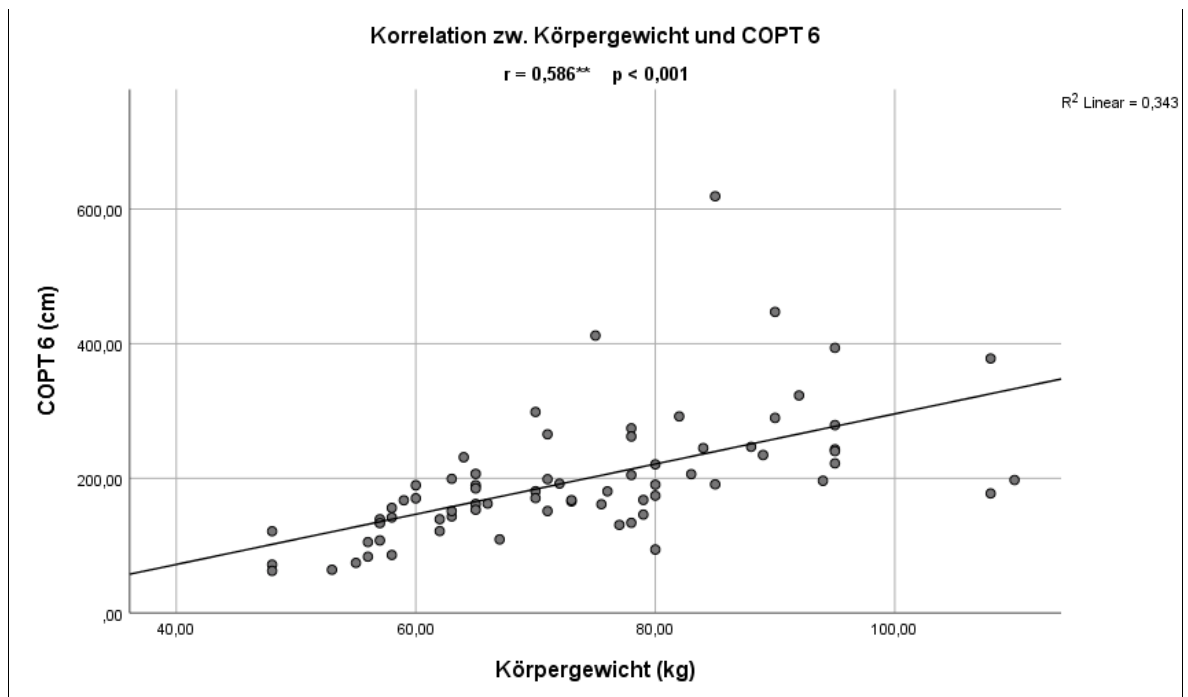


Abbildung 56: Korrelation zwischen Körpergewicht und COPT6

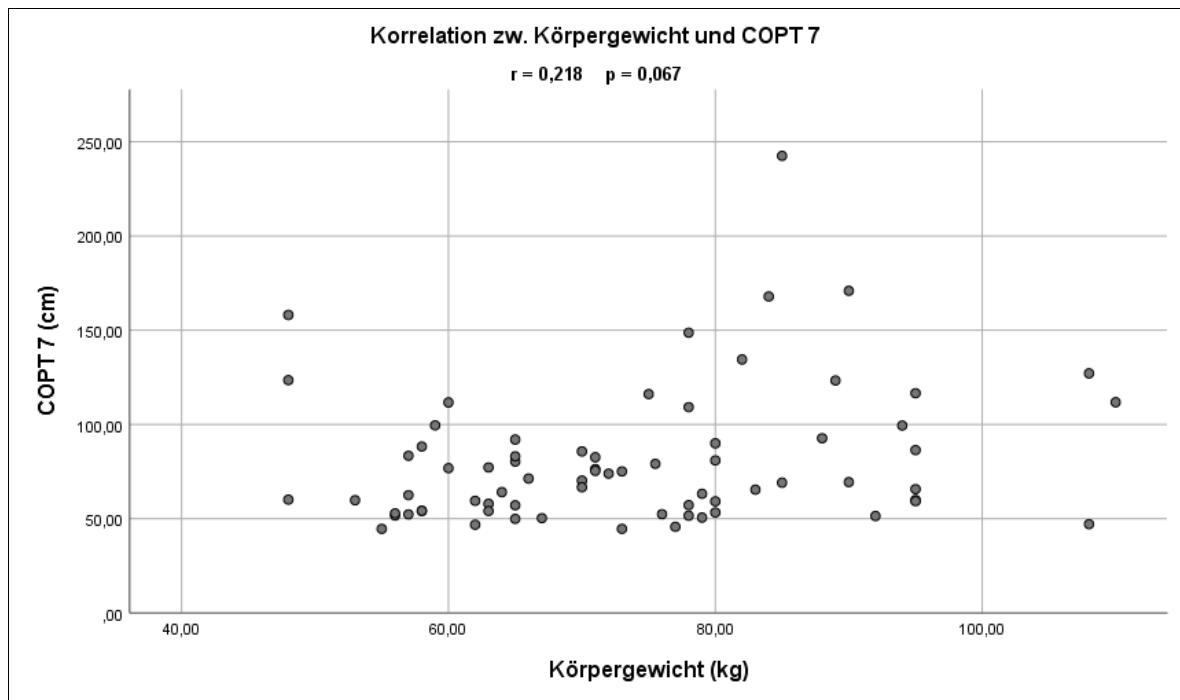


Abbildung 57: Korrelation zwischen Körpergewicht und COPT7

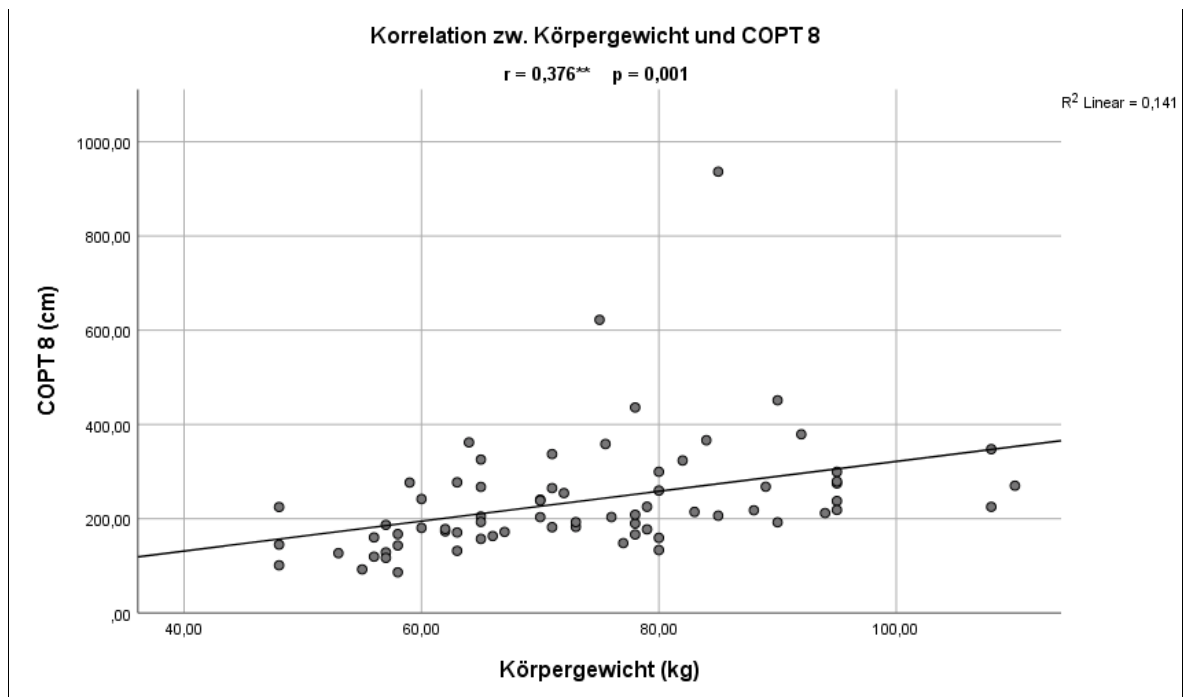


Abbildung 58: Korrelation zwischen Körpergewicht und COPT8

In den ersten zwei dynamischen Messungen ohne Schaumstoffmatte (dyn., open; dyn., close) gibt es hochsignifikante, mittlere Zusammenhänge ($r = 0,511^{**}$, $p < 0,001$; $r = 0,586^{**}$, $p < 0,001$) zwischen den zu untersuchenden Parameterwerten. Signifikant ($p = 0,001$) ist auch der niedrige Zusammenhang ($r = 0,376^{**}$) zwischen dem Körpergewicht

und den COPT-Werten in Messung acht (dyn., foam, close). Der niedrige Zusammenhang ($r = 0,218$) in Messung sieben (dyn., foam, open) hingegen ist nicht signifikant.

5.2.4 Zusammenhang zwischen Körpergewicht und ROM

In weiterer Folge werden die möglichen Zusammenhänge zwischen den ROM-Werten und dem Körpergewicht aller Probandinnen und Probanden untersucht. Anfänglich sind in Abbildung 59 bis 62 die Korrelationen der zwei zu untersuchenden Parameterwerte dargestellt.

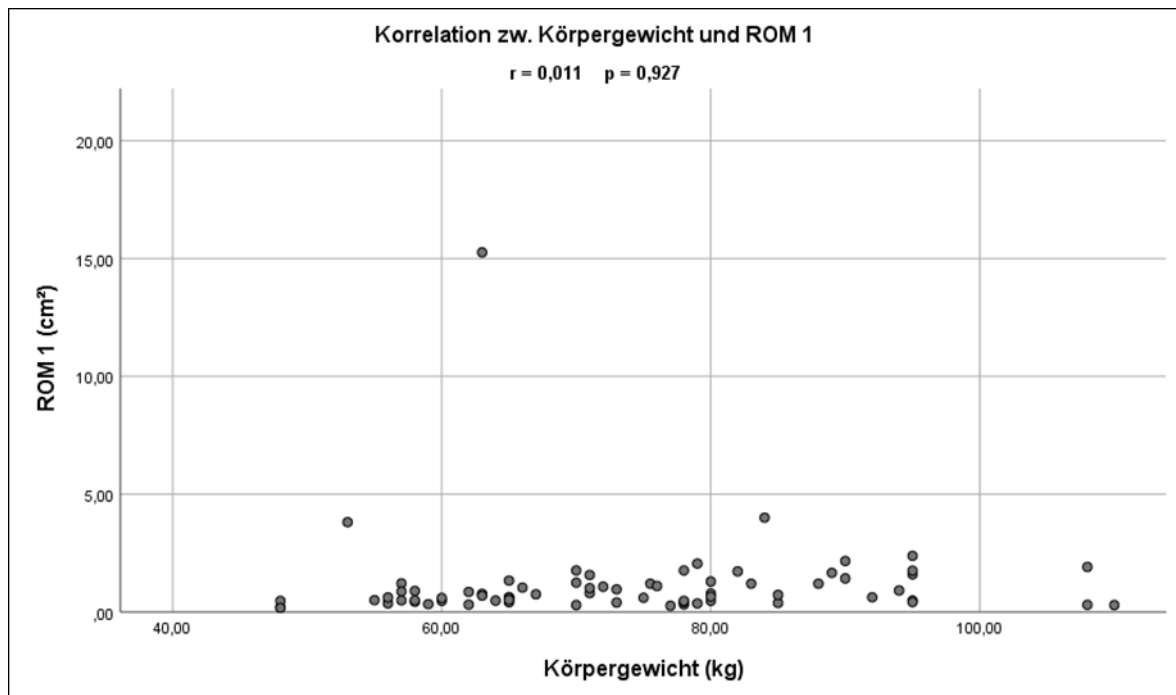


Abbildung 59: Korrelation zwischen Körpergewicht und ROM1

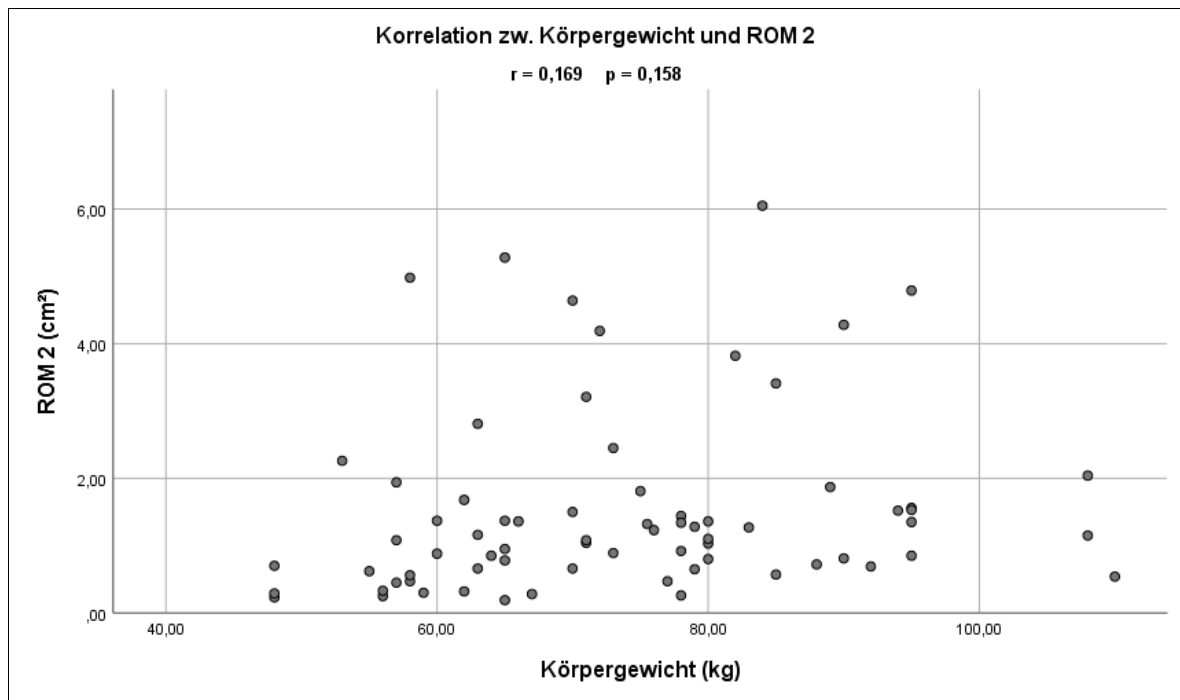


Abbildung 60: Korrelation zwischen Körpergewicht und ROM2

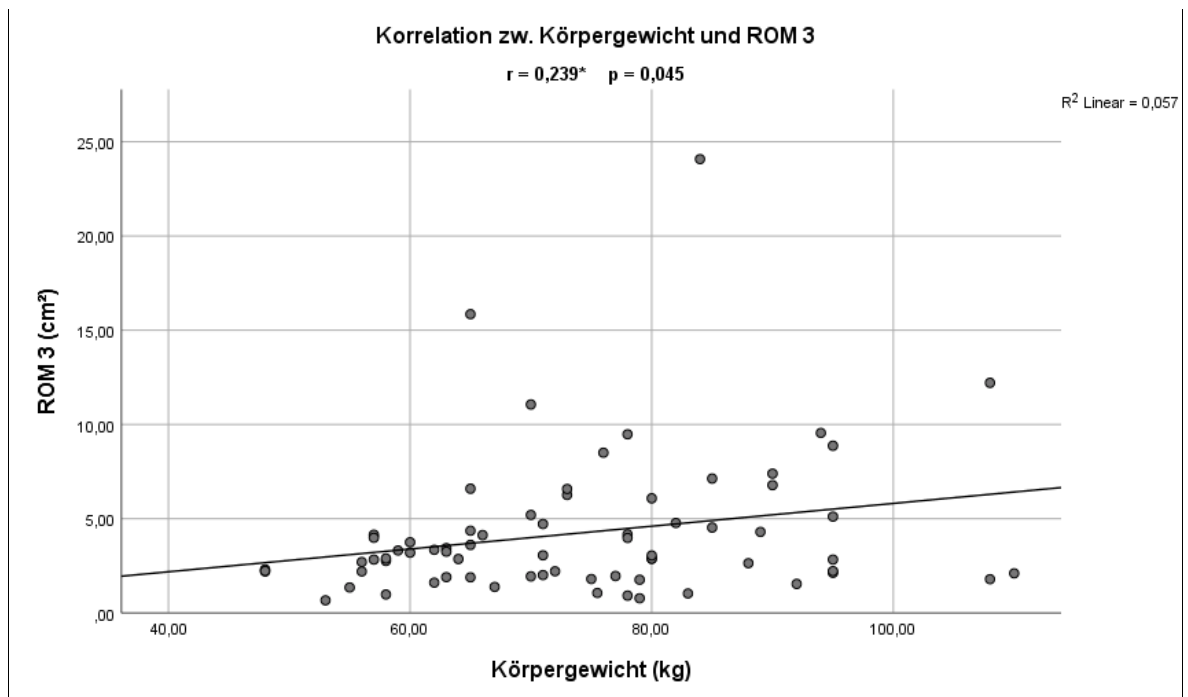


Abbildung 61: Korrelation zwischen Körpergewicht und ROM3

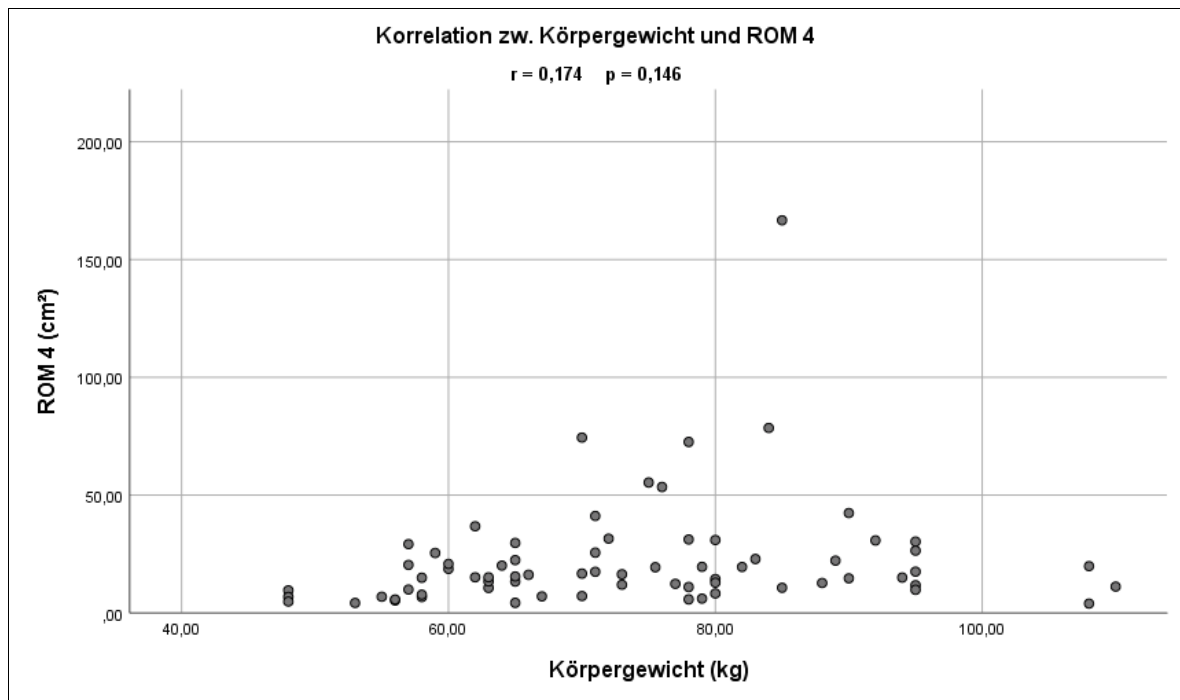


Abbildung 62: Korrelation zwischen Körpergewicht und ROM4

In allen statischen Messungen gibt es leichte Zusammenhänge zwischen dem Körpergewicht und den ROM-Werten. In der Messung drei (stat., foam, open) ist dieser leichte Zusammenhang signifikant ($p = 0,045$). Bei allen anderen statischen Messungen ist der leichte Zusammenhang zwischen den Werten nicht signifikant.

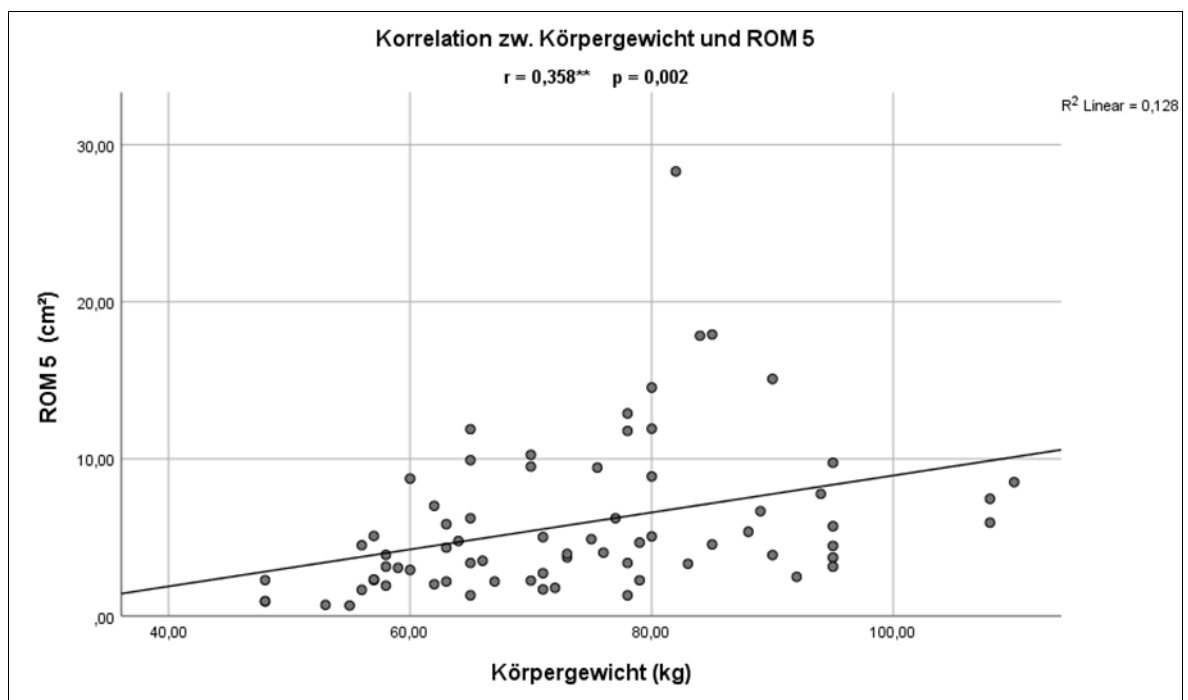


Abbildung 63: Korrelation zwischen Körpergewicht und ROM5

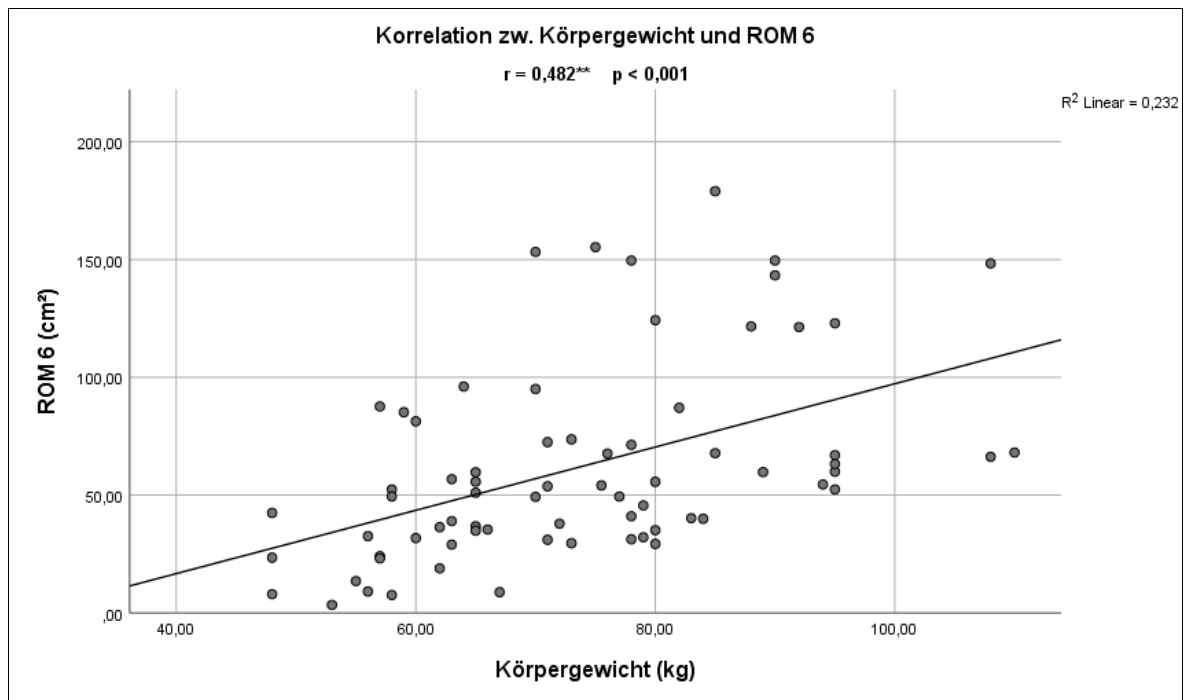


Abbildung 64: Korrelation zwischen Körpergewicht und ROM6

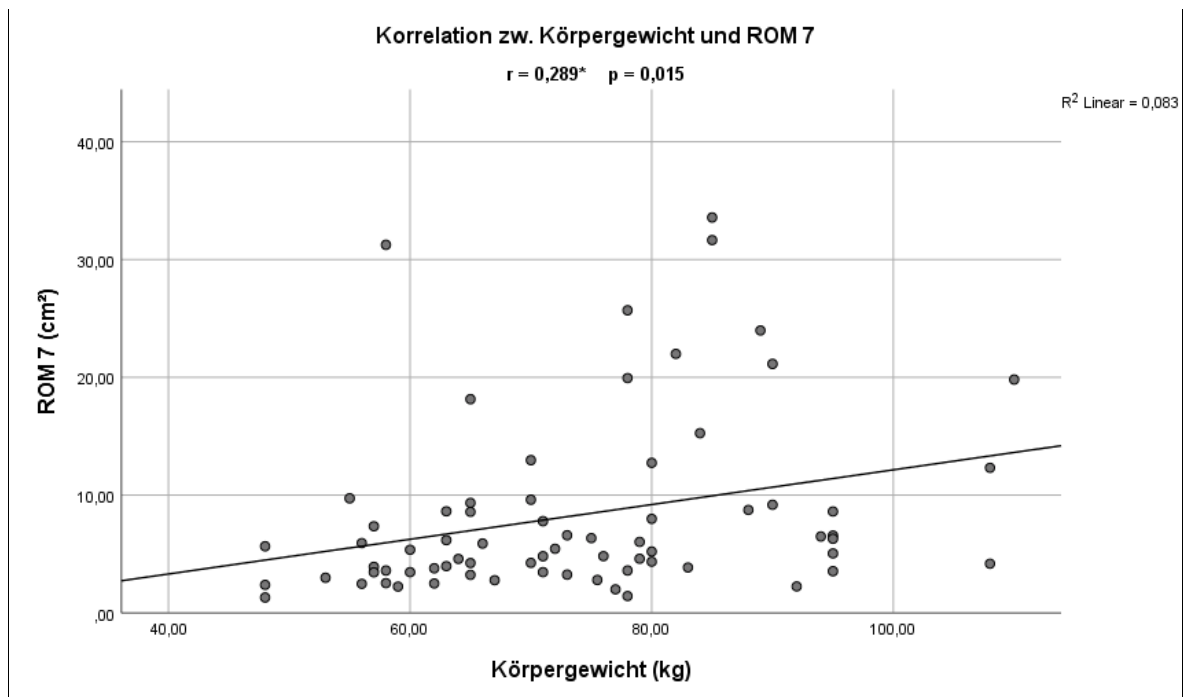


Abbildung 65: Korrelation zwischen Körpergewicht und ROM7

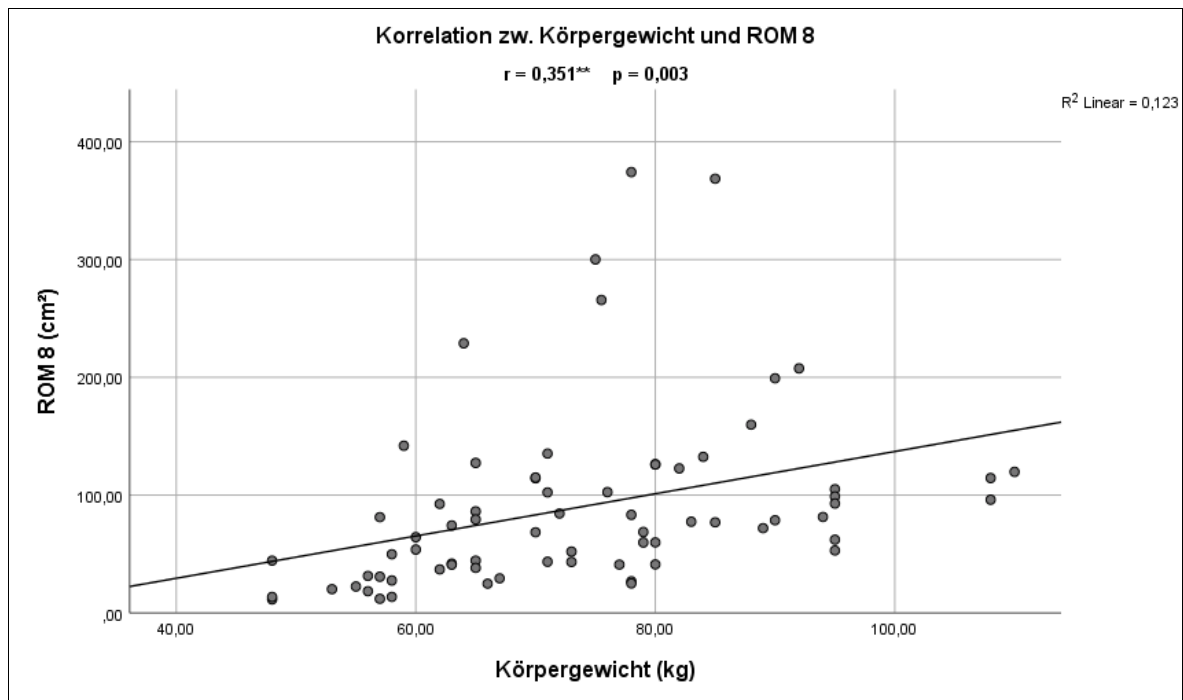


Abbildung 66: Korrelation zwischen Körpergewicht und ROM8

Wie aus den vorangegangenen Abbildungen 63 bis 66 herauszulesen ist, gibt es bei den dynamischen Messungen zwischen dem Körpergewicht und den ROM-Werten niedrige ($r = 0,358^{**}$; $r = 0,289^{*}$; $r = 0,351^{**}$) und mittlere (dyn., close; $r = 0,482^{**}$) Zusammenhänge, welche alle signifikant ($p = 0,002$; $p = 0,015$; $p = 0,003$) und hochsignifikant (dyn., close; $p < 0,001$) sind.

5.3 Geschlechterspezifische Unterschiede

In diesem Kapitel 5.3 geht es um die Ermittlung von geschlechterspezifischen Unterschieden bezüglich der COPT- und ROM-Mittelwerten mittels t-Test für unabhängige Stichproben. Wie bereits in Kapitel 4.5 erwähnt, ist der t-Test angesichts fast gleicher Gruppengröße und Varianzen vergleichsweise widerstandsfähig gegenüber Abweichungen von der Normalverteilung. Zum Vergleich standen sowohl die absoluten als auch die körpergrößenbereinigten COPT- und ROM-Referenzwerte, die mithilfe des Statistikprogramms SPSS verglichen wurden.

5.3.1 Vergleich der absoluten Referenzwerte

In Tabelle 7 sind die absoluten COPT-Referenzmittelwerte aus allen acht Messungen aufgeteilt zwischen Männern und Frauen dargestellt. Ob es Unterschiede zwischen den Geschlechtern gibt bzw. ob die Mittelwerte sich signifikant voneinander unterscheiden, gibt der p-Wert an. Wie schon in Kapitel 4.5 aufgeführt, deuten bei einem gewählten Signifikanzniveau von 0,05 alle höheren p-Werte auf nicht signifikante Ergebnisse hin.

Tabelle 7: Vergleich der absolute Referenzwerte COPT 1 bis 8

COPT 1 – 8 (cm) männlich (n=31) weiblich (n=40)	Mittelwerte		p-Wert
	männlich	weiblich	
COPT 1 (stat., open)	26,6	24,8	0,422
COPT 2 (stat., close)	43,8	31,8	0,008
COPT 3 (stat., foam, open)	62,2	61,8	0,948
COPT 4 (stat., foam, close)	182,5	132,1	0,051
COPT 5 (dyn., open)	81,0	53,4	0,001
COPT 6 (dyn., close)	249,8	156,3	0,000
COPT 7 (dyn., foam, open)	90,7	73,4	0,058
COPT 8 (dyn., foam, close)	289,3	197,7	0,002

Aus Tabelle 7 geht hervor, dass es in den COPT-Mittelwerten der Männer und Frauen in der ersten Messung (stat., open; $p = 0,422$) und dritten Messung (stat., foam, open; $p = 0,948$) keine Unterschiede gibt. Anders verhält sich dies vor allem in den Messungen zwei (stat., close; $p = 0,008$), fünf (dyn., open; $p = 0,001$), sechs (dyn., close; $p \leq 0,000$) und acht (dyn., foam, close; $p = 0,002$). Hier sind alle Ergebnisse sehr bis höchst signifikant. Auch die Ergebnisse der vierten (stat., foam, close; $p = 0,051$) und siebten Messung (dyn., foam, open; $p = 0,058$) liegen sehr nah am Signifikanzniveau 0,05. Insgesamt ist im direkten Vergleich gut zu sehen, dass die Werte der Frauen durchweg geringer sind als die der Männer.

Dies trifft auch auf die Mittelwerte beider Geschlechter im Vergleich der absoluten Referenzwerte des ROM zu. Wie in nachfolgender Tabelle 8 heraus zu lesen ist, gibt es lediglich in der ersten (stat., open; $p = 0,928$) und vierten Messung (stat., foam, close; $p = 0,109$) keine Unterschiede in den Referenzwerten bei den statischen Messungen. Ansonsten ist die Bewegungsfläche der Frauen immer signifikant kleiner als die der Männer.

Bei den dynamischen Messungen fünf bis acht ist lediglich der Vergleich der Mittelwerte der siebten Messung nicht signifikant (dyn., foam, open; $p = 0,058$). Wobei dieser Wert auch nah am Signifikanzniveau 0,05 liegt. Auch hier ist deutlich zu erkennen, dass die Bewegungsfläche der Frauen fast immer signifikant kleiner als die der Männer ist.

Tabelle 8: Vergleich der absolute Referenzwerte ROM 1 bis 8

ROM 1 – 8 (cm ²) männlich (n=31) weiblich (n=40)	Mittelwerte		p-Wert
	männlich	weiblich	
ROM 1 (stat., open)	1,2	1,1	0,928
ROM 2 (stat., close)	1,9	1,2	0,030
ROM 3 (stat., foam, open)	5,4	3,3	0,036
ROM 4 (stat., foam, close)	27,4	18,3	0,109
ROM 5 (dyn., open)	7,5	4,5	0,017
ROM 6 (dyn., close)	77,3	49,7	0,004
ROM 7 (dyn., foam, open)	10,3	6,7	0,055
ROM 8 (dyn., foam, close)	110,1	73,7	0,043

5.3.2 Vergleich der körpergrößenbereinigten Referenzwerte

In Tabelle 9 und 10 wird nachfolgend auf den Vergleich der körpergrößenbereinigten Referenzwerte des COPT (Tab. 9) und ROM (Tab. 10) eingegangen. Hierzu mussten die COPT- und ROM-Werte durch die Körpergröße in cm geteilt werden. Als Resultat bekommt man dadurch die körpergrößenbereinigten COPT-Werte mit der Einheit „cm / cm Körpergröße“ und die körpergrößenbereinigten ROM-Werte mit der Einheit „cm² / cm Körpergröße“.

Tabelle 9: Vergleich der körpergrößenbereinigten Referenzwerte COPT 1 bis 8

COPT 1 – 8 körpergrößenbereinigt (cm / cm Körpergröße)	Mittelwerte		p-Wert
	männlich	weiblich	
COPT 1 (stat., open)	0,1486	0,1508	0,867
COPT 2 (stat., close)	0,2447	0,1928	0,029
COPT 3 (stat., foam, open)	0,3471	0,3761	0,463
COPT 4 (stat., foam, close)	1,0190	0,8006	0,093
COPT 5 (dyn., open)	0,4525	0,3239	0,004
COPT 6 (dyn., close)	1,3990	0,9465	0,000

COPT 7 (dyn., foam, open)	0,5064	0,4457	0,212
COPT 8 (dyn., foam, close)	1,6234	1,2002	0,011

In Tabelle 9 erkennt man, dass die Referenzwerte der statischen COPT-Messungen eins (stat., open; $p = 0,867$), drei (stat., foam, open; $p = 0,463$) und vier (stat., foam, close; $p = 0,093$) sich nicht signifikant von einander unterscheiden. Lediglich bei der zweiten Messung (stat., close; $p = 0,029$) gibt es Unterschiede zwischen den körpergrößenbereinigten COPT-Referenzwerten zwischen Männern und Frauen.

Ähnlich sieht es bei den körpergrößenbereinigten COPT-Referenzwerten zwischen Männern und Frauen bei den dynamischen Messungen fünf bis acht aus. Jedoch ist hier der Sachverhalt umgekehrt und alleinig die Referenzwerte der Messung sieben (dyn., foam, open; $p = 0,212$) weist keine signifikanten Unterschiede auf. Bei den Messungen fünf (dyn., open; $p = 0,004$) und acht (dyn., foam, close; $p = 0,011$) liegen signifikante und bei Messung sechs (dyn., close; $p = 0,000$) sogar hochsignifikante Unterschiede in den körpergrößenbereinigten COPT-Referenzwerten zwischen Männern und Frauen vor.

Tabelle 10: Vergleich der körpergrößenbereinigten Referenzwerte ROM 1 bis 8

ROM 1 – 8 körpergrößenbereinigt (cm ² / cm Körpergröße)	Mittelwerte		p-Wert
	männlich	weiblich	
ROM 1 (stat., open)	0,0065	0,0069	0,881
ROM 2 (stat., close)	0,0107	0,0073	0,070
ROM 3 (stat., foam, open)	0,0297	0,0201	0,069
ROM 4 (stat., foam, close)	0,1528	0,1104	0,183
ROM 5 (dyn., open)	0,0418	0,0275	0,036
ROM 6 (dyn., close)	0,4334	0,3008	0,018
ROM 7 (dyn., foam, open)	0,0573	0,0406	0,107
ROM 8 (dyn., foam, close)	0,6202	0,4467	0,102

Der p-Wert aller vier statischen Messungen im Vergleich zwischen Männern und Frauen, liegt über 0,05 und besagt dadurch, dass es zwischen den ROM-Referenzwerten in den ersten vier statischen Messungen keine signifikanten Unterschiede gibt.

Wohingegen beim fünften (dyn., open; $p = 0,036$) und sechsten (dyn., close; $p = 0,018$) Messwertvergleich signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern zu sehen sind. Nicht signifikante Unterschiede liegen wieder bei den Messungen sieben (dyn., foam, open; $p = 0,107$) und acht (dyn., foam, close; $p = 0,102$) vor.

5.4 Unterschiede / Zusammenhänge statisch und dynamisch

Mittels t-Test für abhängige Stichproben wird in diesem Kapitel zuerst auf die Unterschiede zwischen den Messungen eins und fünf, zwei und sechs, drei und sieben und vier und acht bezüglich der COPT- und ROM-Messwerte getestet. Die Darstellung erfolgt tabellarisch getrennt nach dem Geschlecht.

Tabelle 11: Vergleich der COPT-Mittelwerte statisch vs. dynamisch

COPT (cm) statisch vs. dynamisch	Mittelwerte männlich		p-Wert	Mittelwerte weiblich		p-Wert
	stat.	dyn.		stat.	dyn.	
COPT 1 vs. COPT 5	26,6	81,0	0,000	24,8	53,4	0,000
COPT 2 vs. COPT 6	43,8	249,8	0,000	31,8	156,3	0,000
COPT 3 vs. COPT 7	62,2	90,7	0,000	61,8	73,4	0,000
COPT 4 vs. COPT 8	182,5	289,3	0,000	132,1	197,7	0,000

Wie zu erwarten, gibt es klare Unterschiede bei beiden Geschlechtern zwischen den statischen und dynamischen Messungen. Dies wird mittels t-Test bei allen insgesamt acht Vergleichen belegt. Der p-Wert liegt hier bei sämtlichen Überprüfungen unter 0,001 und bestätigt dadurch hoch signifikante Unterschiede.

Tabelle 12: Vergleich der ROM-Mittelwerte statisch vs. dynamisch

ROM (cm ²) statisch vs. dynamisch	Mittelwerte männlich		p-Wert	Mittelwerte weiblich		p-Wert
	stat.	dyn.		stat.	dyn.	
ROM 1 vs. ROM 5	1,2	7,5	0,000	1,1	4,5	0,000
ROM 2 vs. ROM 6	1,9	77,3	0,000	1,2	49,7	0,000
ROM 3 vs. ROM 7	5,4	10,3	0,003	3,3	6,7	0,001

ROM 4 vs. ROM 8	27,4	110,1	0,000	18,3	73,7	0,000
-----------------	------	-------	-------	------	------	-------

Ähnlich sehen die Ergebnisse bei der Überprüfung der statischen und dynamischen ROM-Messwerte aus. Auch hier gibt es eindeutig signifikante bis hoch signifikante Unterschiede zwischen den jeweiligen Messungen. Leicht auffällig ist, dass bei beiden Geschlechtern der Unterschied zwischen Messung drei (stat., foam, open) und Messung sieben (dyn., foam, open) nicht hoch signifikant, sondern „nur“ signifikant ist.

In weiterer Folge wird für jede einzelne Testperson überprüft, ob zwischen der jeweiligen ersten statischen Einzelmessung geringere Messwerte, bezüglich dem ROM bzw. COPT, als bei der fünften dynamischen Einzelmessung vorliegen. Dieser lineare Zusammenhang wird mit der Korrelationsrechnung nach Pearson getestet.

Wie in Abbildung 67 zu erkennen ist, gibt es einen mittleren Zusammenhang ($r = 0.423$) zwischen den COPT-Messwerten der ersten und der fünften Messung. Bezüglich der ROM-Messwerte besteht ein niedriger linearer Zusammenhang ($r = 0.080$) zwischen den Messwerten der Testung eins und fünf (Abb. 68).

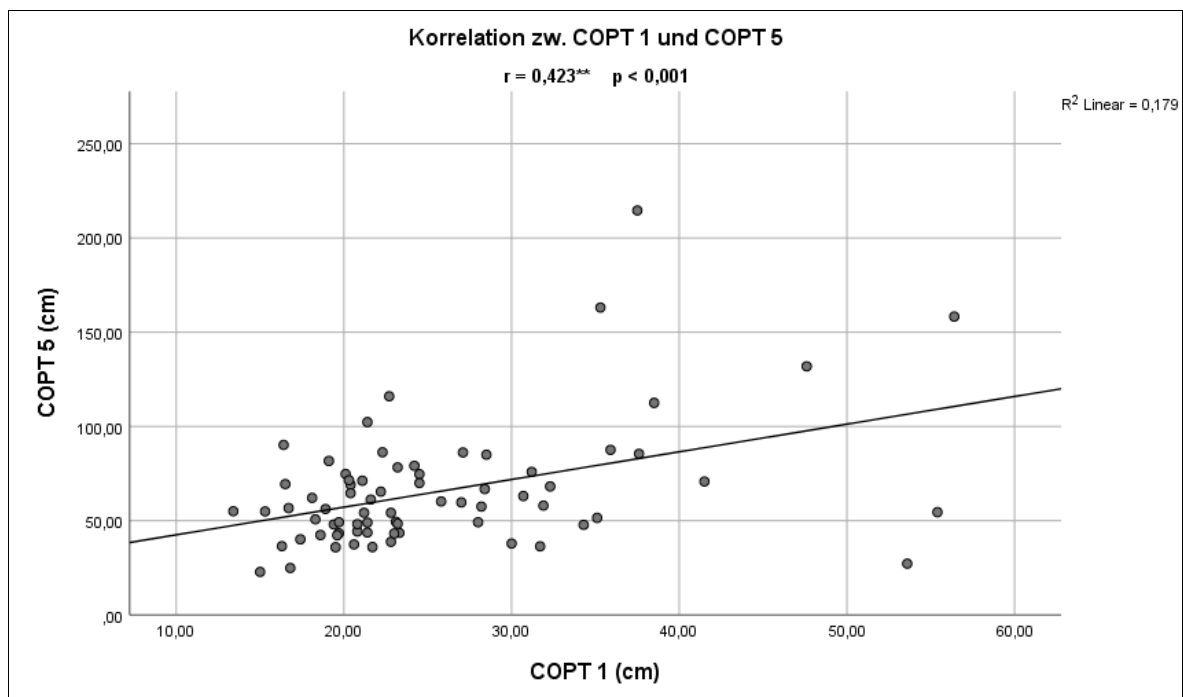


Abbildung 67: Korrelation zwischen COPT 1 und COPT 5

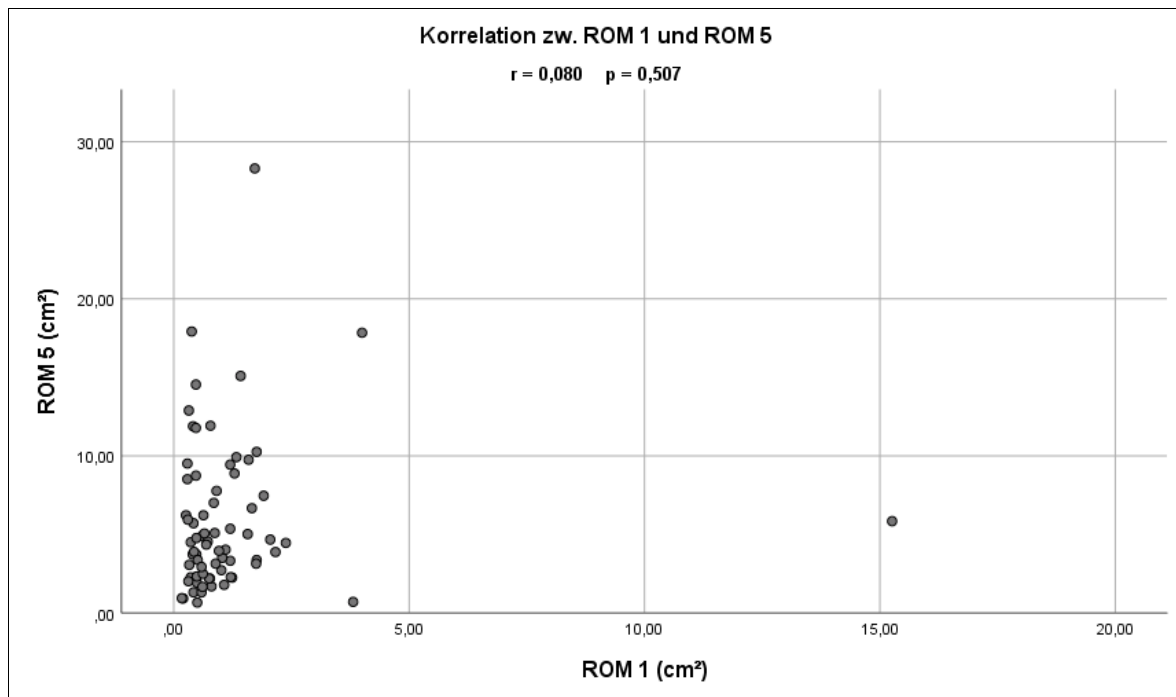


Abbildung 68: Korrelation zwischen ROM 1 und ROM 5

5.5 Einfluss des visuellen Systems

Um den Einfluss des visuellen Systems auf die Werte des ROM bzw. des COPT zu testen, werden die Messungen eins und zwei, sowie die Messungen fünf und sechs verglichen. In Tabelle 13 ist zu erkennen, dass es signifikante bis hoch signifikante Unterschiede zwischen den gemessenen COPT-Mittelwerten für beiderlei Geschlecht bestehen.

Tabelle 13: Vergleich der COPT-Mittelwerte offene vs. geschlossene Augen

COPT (cm) offen vs. geschlossen	Mittelwerte männlich		p-Wert	Mittelwerte weiblich		p-Wert
	offen	geschl.		offen	geschl.	
COPT 1 vs. COPT 2	26,6	43,8	0,000	24,8	31,8	0,001
COPT 5 vs. COPT 6	81,0	249,8	0,000	53,4	156,3	0,000

Auch bei den ROM-Mittelwerten (Tab. 14) zwischen Messung fünf und sechs liegen für Männer und Frauen hoch signifikante Unterschiede vor ($p = 0,000$). Auffällig ist, dass die Daten der ROM-Werte für die Frauen ($p = 0,813$) zwischen Messung eins und zwei jedoch keine Unterschiede zeigen. Bei den Männern ist das Ergebnis zwischen Messung eins und zwei sehr signifikant ($p = 0,005$).

Tabelle 14: Vergleich der ROM-Mittelwerte offene vs. geschlossene Augen

ROM (cm ²) offen vs. geschlossen	Mittelwerte männlich		p-Wert	Mittelwerte weiblich		p-Wert
	offen	geschl.		offen	geschl.	
ROM 1 vs. ROM 2	1,2	1,9	0,005	1,1	1,2	0,813
ROM 5 vs. ROM 6	7,5	77,3	0,000	4,5	49,7	0,000

5.6 Einfluss des somatosensorischen Systems

Um den somatosensorischen Einfluss auf die COPT- und ROM-Messwerte zu bewerten, müssen die Testungen eins und drei sowie fünf und sieben mittels t-Test für abhängige Stichproben getestet werden. Wie zu Beginn beschrieben, wird bei den Messungen drei und sieben eine vier cm starke Schaumstoffmatte verwendet. Die Datenlage bezüglich der COPT-Werte (Tab. 15) belegt eindeutig höchst signifikante Unterschiede zwischen den Messungen für beiderlei Geschlecht ($p = 0,000$).

Tabelle 15: Vergleich der COPT-Mittelwerte ohne vs. mit Matte

COPT (cm) ohne vs. mit Matte	Mittelwerte männlich		p-Wert	Mittelwerte weiblich		p-Wert
	ohne	mit		ohne	mit	
COPT 1 vs. COPT 3	26,6	62,2	0,000	24,8	61,8	0,000
COPT 5 vs. COPT 7	81,0	90,7	0,000	53,4	73,4	0,000

Die Testung auf Unterschied für die ROM-Werte zwischen Messung eins und drei fällt bei Männern und Frauen gleichermaßen höchst signifikant aus ($p = 0,000$). Zwischen Messung fünf und sieben sind die Unterschiede sehr signifikant (Männer $p = 0,045$; Frauen $p = 0,018$).

Tabelle 16: Vergleich der ROM-Mittelwerte ohne vs. mit Matte

ROM (cm ²) ohne vs. mit Matte	Mittelwerte männlich		p-Wert	Mittelwerte weiblich		p-Wert
	ohne	mit		ohne	mit	
ROM 1 vs. ROM 3	1,2	5,4	0,000	1,1	3,3	0,000

ROM 5 vs. ROM 7	7,5	10,3	0,045	4,5	6,7	0,018
-----------------	-----	------	-------	-----	-----	-------

5.7 Zusammenhänge zwischen COPT und ROM

Nachfolgend wird nun noch auf die Zusammenhänge zwischen den Werten des COPT und ROM eingegangen. Um zu überprüfen, ob diese zwei Parameter korrelieren, wurde wieder der Korrelationskoeffizient r nach Pearson mittels SPSS berechnet. Dies wurde jeweils für die Werte der Messungen eins bis acht des COPT versus ROM fortlaufend durchgeführt.

In Abbildung 69 ist zu erkennen, dass ein mittlerer Zusammenhang ($r = 0,628$) zwischen den COPT1- und ROM1-Werten besteht.

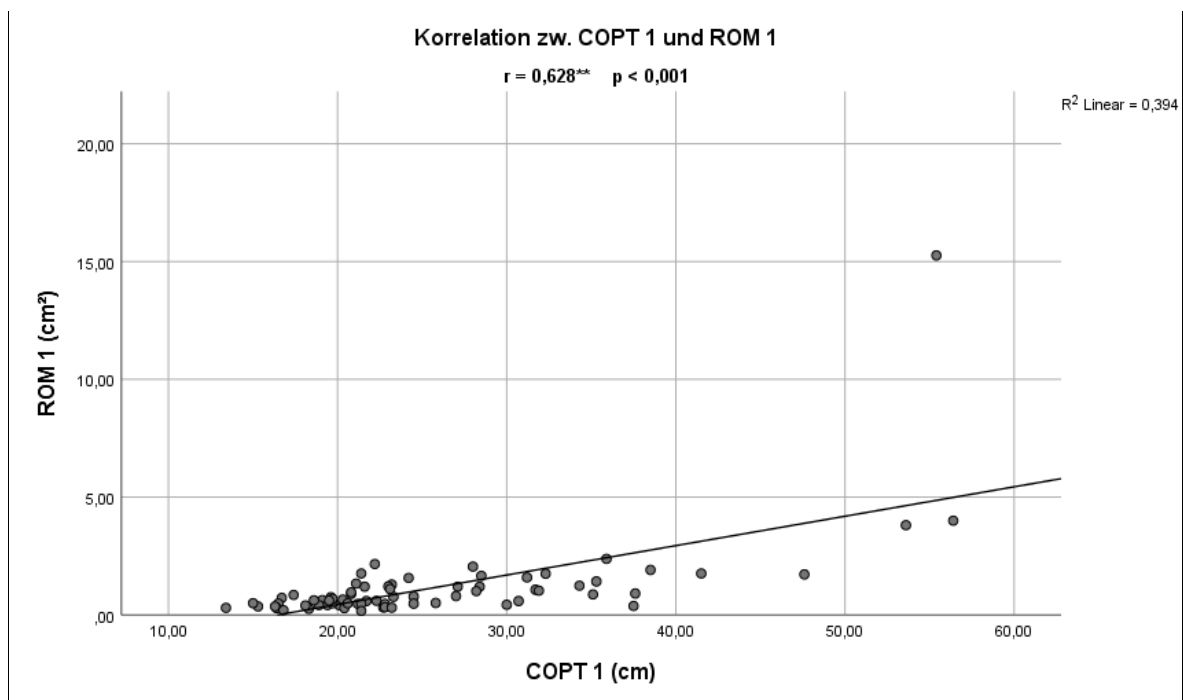


Abbildung 69: Korrelation zwischen COPT 1 und ROM 1

Die Ergebnisse der Testung zwischen den COPT2- und ROM2-Werten (Abb. 70) belegen einen mittleren Zusammenhang ($r = 0,694$).

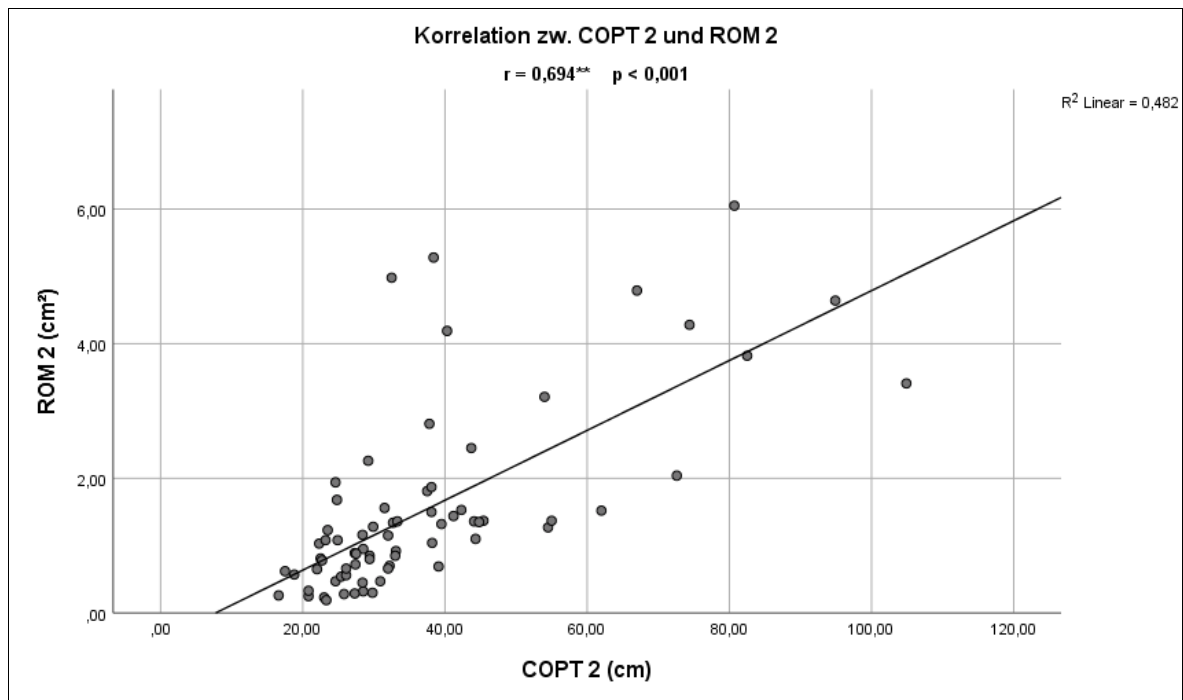


Abbildung 70: Korrelation zwischen COPT 2 und ROM 2

Ebenfalls ein mittlerer Zusammenhang ($r = 0,612$) besteht zwischen den COPT- und ROM-Werten der Messung drei (Abb. 71).

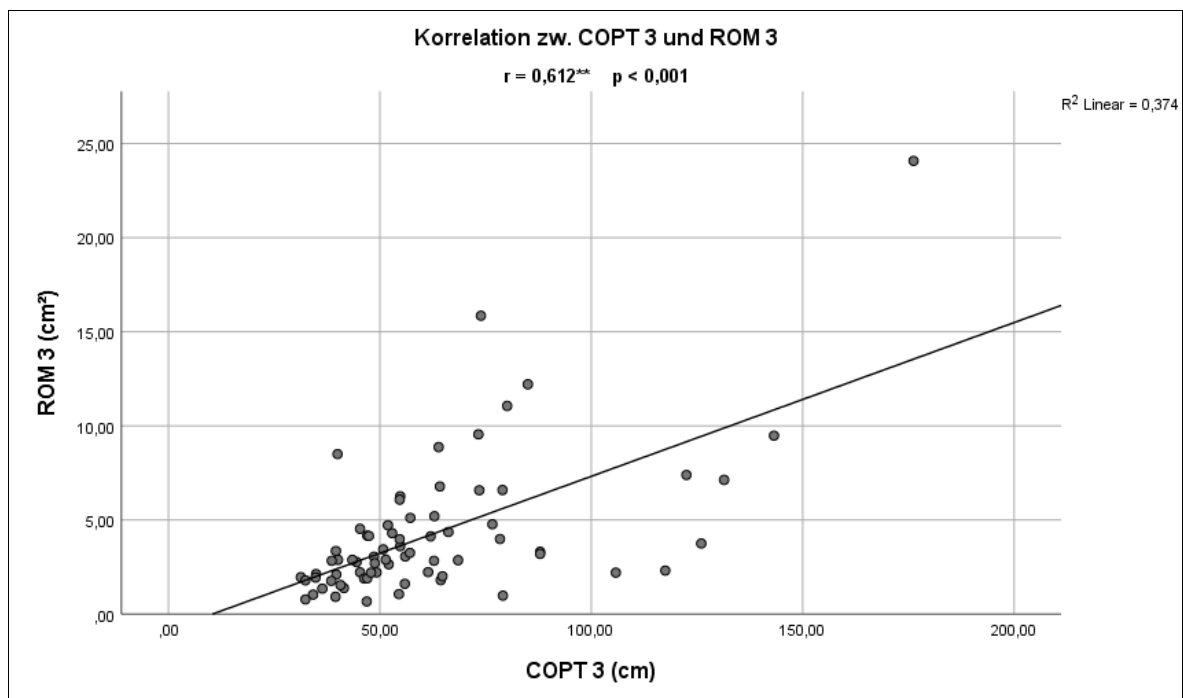


Abbildung 71: Korrelation zwischen COPT 3 und ROM 3

Die Korrelation zwischen COPT4 und ROM4 liegt bei $r = 0,931$ und bestätigt somit einen hohen Zusammenhang zwischen diesen Daten.

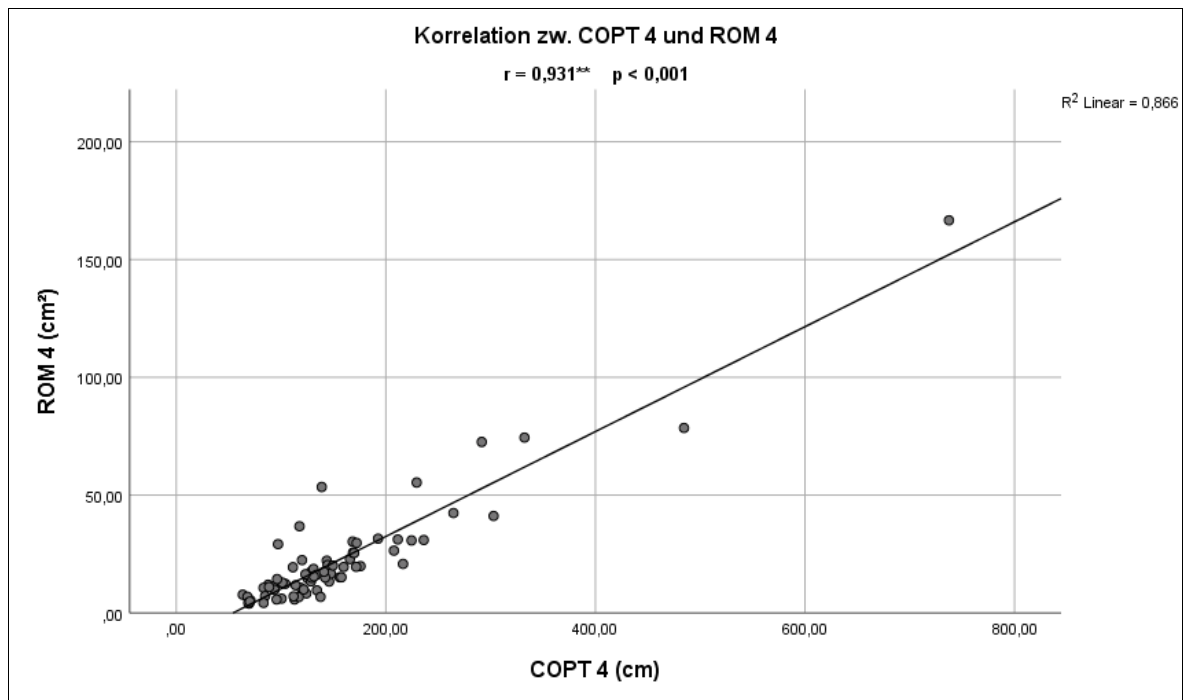


Abbildung 72: Korrelation zwischen COPT 4 und ROM 4

Die Daten der dynamischen Messung zwischen COPT5 und ROM5 (Abb. 73) stellen einen hohen Zusammenhang ($r = 0,779$) zwischen den zwei Parametern da.

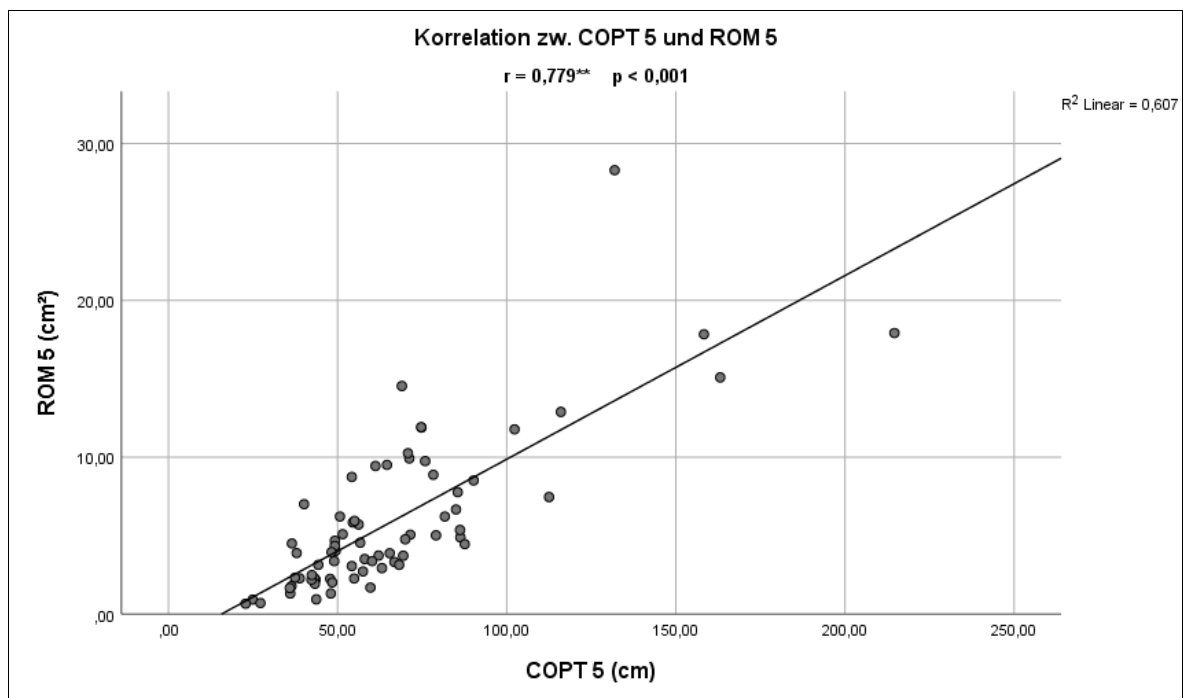


Abbildung 73: Korrelation zwischen COPT 5 und ROM 5

Auch die Werte zwischen dem COPT6 und ROM6 (Abb. 74) zeigen einen hohen Zusammenhang ($r = 0,833$).

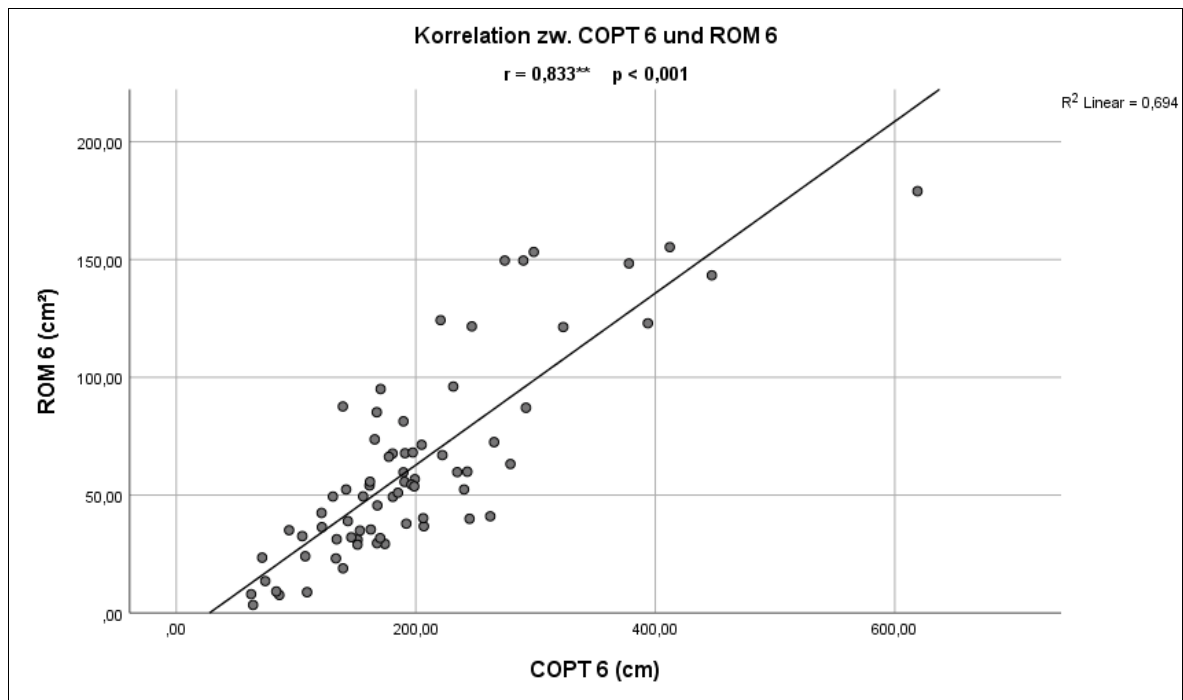


Abbildung 74: Korrelation zwischen COPT 6 und ROM 6

Wie in Abbildung 75 zu erkennen ist, gibt es zwischen den COPT- und ROM-Werten der Messung sieben einen mittleren Zusammenhang ($r = 0,552$).

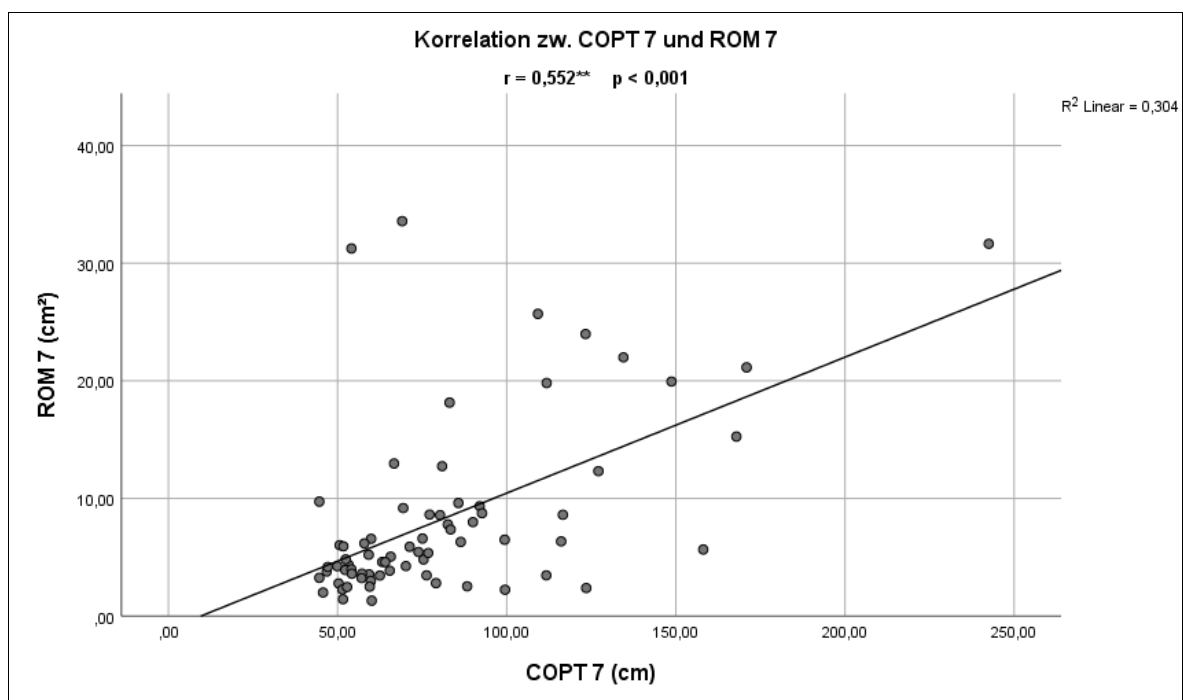


Abbildung 75: Korrelation zwischen COPT 7 und ROM 7

Die Ergebnisse der achten Messung verdeutlichen einen hohen Zusammenhang ($r = 0,871$) zwischen den COPT- und ROM-Werten (Abb. 76).

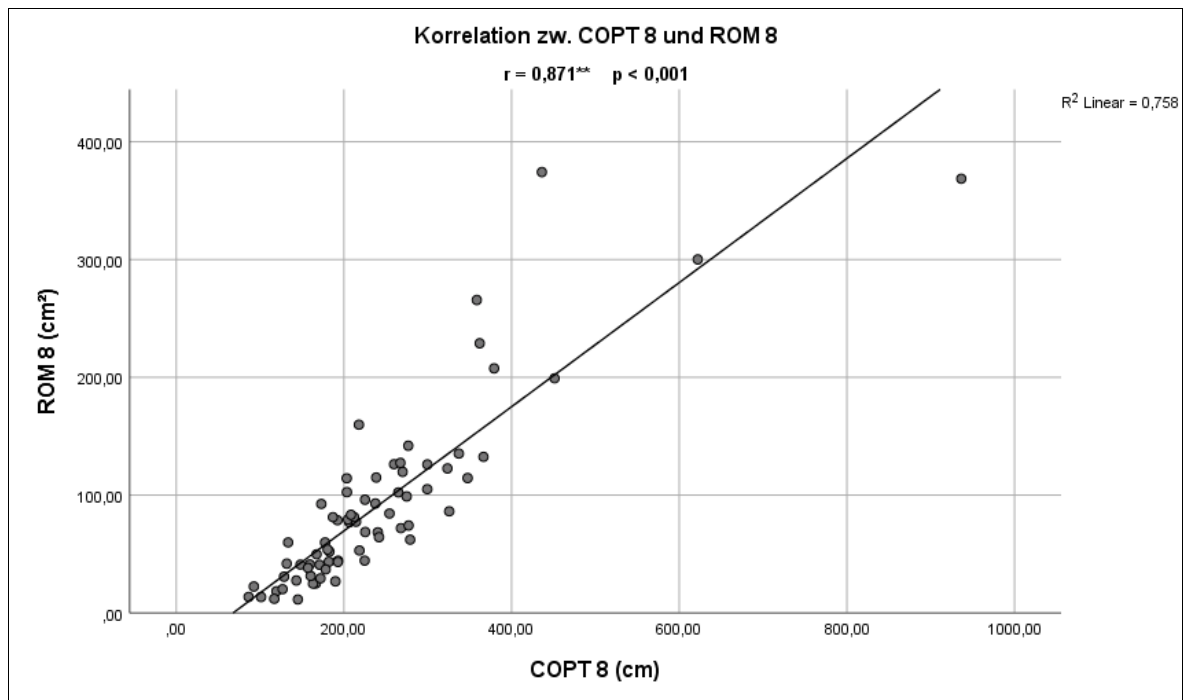


Abbildung 76: Korrelation zwischen COPT 8 und ROM 8

6 Diskussion

Das vorrangige Ziel war es, über diese Referenzwerterhebung, Daten zu ermitteln, worüber die aktuelle Haltungskontrolle von älteren gesunden Erwachsenen beurteilt werden konnte. Wie unter Kapitel 4.4 erwähnt, wurden bei den Testungen umfangreiche Messparameter erhoben, welche für weitere wissenschaftliche Fragestellungen interessant sein könnten. Für diese Masterarbeit wurden gezielt die aufschlussreichsten Parameter center of pressure track (COPT) und range of motion (ROM) herangezogen. Die gemessenen Werte wurden nach ihrer deskriptiven Veranschaulichung bezüglich ihrer Unterschiede und Zusammenhänge statistisch überprüft. Die unter Kapitel 3 konkretisierten Fragestellungen werden nachfolgend in verschiedenen Abschnitten erörtert.

Hinsichtlich des somatosensorischen Systems gibt es deutliche Unterschiede, sowohl bei den COPT- und ROM-Werten, zwischen den Testbedingungen auf stabilem und instabilem (40mm Schaumstoffmatte) Untergrund. Hierbei konnten die Angaben von Baltich et al. (2014) eindeutig bestätigt werden. Die COPT-Messwerte bei der statischen Testung 3 sind insgesamt mehr als doppelt so hoch wie bei der ersten Testung. Die ROM-Messwerte der Testung 3 sind sogar mehr als 3fach bzw. bei den Männern sogar 4,5fach größer als in Testung 1 und belegen somit allesamt höchst signifikante Unterschiede ($p = 0,000$). Man kann also davon ausgehen, dass durch die Verwendung der 40mm starken Schaumstoffmatte, das somatosensorische System derart beeinträchtigt wird, so dass der Wegfall des Systems in weiterer Folge von den anderen sensomotorischen Fähigkeiten der Haltungskontrolle nicht ausgeglichen werden kann. Bei den dynamischen Messungen 5 und 7 ist auffällig, dass sich die Messwerte zwar auch signifikant voneinander unterscheiden, jedoch zumindest bei den ROM-Werten nicht in so hohem Ausmaß (Männer $p = 0,045$; Frauen $p = 0,018$), wie bei den statischen Messungen. Es ist also anzunehmen, dass das somatosensorische System bei statischen Bedingungen vermehrt gefordert ist, als bei dynamischen Verhältnissen.

Bezüglich des Einflusses des visuellen Feedbacksystems wurden eindeutig signifikante Unterschiede bei fast allen der beiden Hauptmesswerten mittels Anwendung des t-Tests für beiderlei Geschlecht deutlich. Hierfür wurden jeweils die Daten der Messwerte verglichen, welche zuerst mit offenen und danach mit geschlossenen Augen und ohne Schaumstoffmatte aufgenommen wurden. Und dies jeweils für die statische (1 und 2) und dynamische (5 und 6) Messung. Zwischen Messung eins und zwei, sowie fünf und sechs, ist zu erkennen, dass es signifikante bis hoch signifikante Unterschiede zwischen den COPT-Messwerten für beide Geschlechter bestehen (Tab. 13). Auch bei den ROM-Werten (Tab. 14) zwischen Messung fünf und sechs liegen für Männer und Frauen hoch

signifikante Unterschiede vor ($p = 0,000$). Auffällig ist, dass die Daten der ROM-Werte für die Frauen ($p = 0,813$) zwischen Messung eins und zwei jedoch keine Unterschiede zeigen. Dies ist nach aktuellem Stand sehr ungewöhnlich und eher nicht zu erwarten. Auch in der aktuellen Literatur gibt es dahingehend keine Tendenzen zu erkennen, dass Frauen in diesem Bereich eine optimalere Adaptionsfähigkeit haben könnten. Dieser These könnte in weiterführenden Untersuchungen nachgegangen werden. Bei den Männern ist das Ergebnis zwischen Messung eins und zwei wiederum sehr signifikant ($p = 0,005$).

Des Weiteren wurden die Messwerte auf Unterschiede zwischen den statischen Messungen eins bis vier und den entsprechenden Messungen auf dynamischen Untergrund (Messungen fünf bis acht) untersucht. Dabei wurde wieder mittels t-Test herausgefunden, dass signifikante bis vorwiegend hoch signifikante Unterschiede zwischen den statischen und entsprechenden Daten der dynamischen Messungen bestehen, was anzunehmen war. Da die Standoberfläche sich in der dynamischen Einstellung in alle Richtungen bewegen kann, ist es klar, dass es schwieriger ist die Haltungskontrolle zu bewahren. Diese signifikanten und meist hoch signifikanten Unterschiede wurden für beide Hauptmesswerte ROM sowie COPT festgestellt. Ein Zusammenhang, welcher mithilfe der Korrelationsrechnung nach Pearson überprüft wurde, zwischen den Einzelmessdaten der ersten und fünften Testung bezüglich des Bewegungsumfangs als Fläche (Abb. 68) konnte im sehr niedrigen Ausmaß ($r = 0,080$) festgehalten werden und ist somit so gut wie nicht vorhanden, was die Studienergebnisse von Karimi und Solomonidis (2011), Sell (2012) und von Turbanski und Schmidtbleicher (2010) ebenfalls belegen.

Was weiterhin von Turbanski und Schmidtbleicher (2010) außerdem herausgearbeitet wurde und weitgehend deckungsgleich mit den Ergebnissen dieser Untersuchung ist, ist der geringe, mittlere Zusammenhang ($r = 0,423$) zwischen den COPT-Messwerten der ersten und fünften Testung. Da die Ergebnisse bezüglich der ROM-Messwerte zwischen der ersten und fünften Testung sogar lediglich niedrige, lineare Zusammenhänge ($r = 0,080$) aufweisen, welche nicht signifikant sind, kann man nicht generell davon ausgehen, dass wenn Personen hohe Messwerte bei der statischen Messung haben, auch gleichzeitig hohe Messwerte unter dynamischen Bedingungen erreichen und umgekehrt. Dies gilt es durch weitere Untersuchungen und Studien zu untermauern.

Zu guter Letzt sind die Zusammenhänge der anthropometrischen Parameter Körpergröße und Körpergewicht mit den Messparametern COPT und ROM untersucht wurden. In der aktuellen Literatur sind dahingehend einige Untersuchungen und Studien gemacht wurden (Alonso et al., 2012; Greve et al., 2007; Hue et al., 2007; Ku et al., 2012), bei

denen die Meisten darauf hinweisen und belegen, dass die Haltungskontrolle zum Teil sehr stark von der Körpergröße, Körpergewicht und somit auch vom errechneten BMI abhängig ist. Der Body-Mass-Index wurde in dieser Arbeit nicht berücksichtigt und könnte in weiterführenden Untersuchungen für die Altersklasse über 50-Jährige interessant sein. Dabei könnte man die Stichprobenzusammensetzung in mehrere BMI-Klassen unterteilen und somit einen wahrscheinlich höheren Zusammenhang zwischen den Messparametern und der Haltungskontrolle überprüfen.

Während es bei den statischen Messwerten aller Probanden zwischen Körpergröße und den COPT-Werten niedrig positive Zusammenhänge gibt, sind diese Zusammenhänge zwischen den dynamisch gemessenen Werten bei Testung fünf und sechs mittel positiv ($r = 0,437^{**}$; $r = 0,467^{**}$) mit einem hohen Signifikanzniveau ($p < 0.001$; $p < 0.001$) und der Zusammenhang der Messwerte von Testung sieben und acht sind dahingehend wieder signifikant niedrig ($r = 0,278^*$, $p = 0.019$; $r = 0,285^*$, $p = 0.0016$). Das heißt, dass vor allem auf instabilem Untergrund die Körpergröße und das Körpergewicht einen Einfluss auf die Bewegungsdistanz als Strecke haben. Des Weiteren wurde auch in dieser Untersuchung aufgezeigt, dass vor allem beim Fehlen des visuellen Inputs, die Körpergröße eine wichtige Rolle spielt (Messungen zwei stat., close; $p = 0.002$ und vier stat., foam, close; $p = 0.010$), was die Ergebnisse von Alonso et al. (2015) sichert. Hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen Körpergröße und den ROM-Messwerten, stellen sich die Ergebnisse so dar, dass ein zumindest niedriger Zusammenhang zwischen dem Parameter Körpergröße und den ROM-Werten aller Probandinnen und Probanden besteht. Hierbei bestätigen diese Ergebnisse das Resultat der Untersuchung von Alonso et al. (2012) und der Aussage von Greve et al. (2007), dass die Körpergröße einen großen Einfluss auf die Haltungskontrolle hat.

Diese Erhebung zeigt weiterhin auf, dass ein höheres Körpergewicht einen direkten Einfluss auf die Messergebnisse der COPT- und ROM-Werte hat. Für alle acht Messungen besteht ein zumindest niedriger Zusammenhang zwischen dem Körpergewicht und den COPT-Messwerten. Einen mittleren Zusammenhang ($r = 0,511^{**}$; $r = 0,586^{**}$) gibt es in den ersten zwei dynamischen Messungen ohne Schaumstoffmatte (dyn., open; dyn., close). Die Irrtumswahrscheinlichkeit der Zusammenhänge liegt bei der zweiten statischen Messung (stat., close) lediglich bei $p = 0.003$. In den ersten zwei dynamischen Messungen ohne Schaumstoffmatte (dyn., open; dyn., close) ist das Signifikanzniveau hoch ($p < 0.001$; $p < 0.001$) zwischen den zu untersuchenden Parameterwerten. Signifikant ($p = 0.001$) ist auch der niedrige Zusammenhang ($r = 0,376^{**}$) zwischen dem Körpergewicht und den COPT-Werten in Messung acht (dyn., foam, close). Insgesamt kann man also davon ausgehen, dass ein höheres Körpergewicht

sehr wohl die Haltungskontrolle negativ beeinflusst, so wie es z.B. Hue et al. in ihrer Studie aus 2007 schon aufgezeigt hat. Bezüglich der ROM-Messwerte sind in allen statischen Messungen leichte Zusammenhänge zwischen dem Körpergewicht und den ROM-Werten zu erkennen. Bei den dynamischen Messungen gibt es niedrige ($r = 0,358^{**}$; $r = 0,289^*$; $r = 0,351^{**}$) und mittlere (dyn., close; $r = 0,482^{**}$) Zusammenhänge, welche alle signifikant ($p = 0.002$; $p = 0.015$; $p = 0.003$) und hochsignifikant (dyn., close; $p < 0.001$) sind.

Ferner ist anzunehmen, dass die Ergebnisse der Untersuchungen dieser Referenzwerterhebung darauf hindeuten, dass wenn eines der Systeme, welche die posturale Kontrolle beeinflussen, gestört oder beeinträchtigt ist, die Haltungskontrolle auf statischen Bedingungen durch Kompensation eines anderen Teilsystems einigermaßen aufrechterhalten werden kann. Die Resultate der Auswertungen hinsichtlich dynamischer Testbedingungen legen nahe, dass diese Kompensationsfähigkeit in dem Moment, wo die Messplattform instabil wird, nicht mehr ausreichend sind, um den Körperschwerpunkt auszubalancieren und ruhig zu kontrollieren.

Mittels Fourier-Analyse kann der Einfluss der verschiedenen posturalen Subsysteme (F1 visuell; F 2-4 peripher – vestibulär; F 5-6 somatosensorisch; F 7-8 zentral, zerebellär-nigrostriatal) auf die Haltungskontrolle überprüft werden (Schwesig et al., 2006). Das Posturographiegerät sense wave medical kann auch die niedrigen bis hohen Frequenzen der Bewegungen aufnehmen und messen. Dadurch werden Daten geliefert, welche auch für zukünftige Untersuchungen von Interesse sein könnten.

7 Zusammenfassung

Die hauptsächliche Intention zu dieser Arbeit bestand darin, Referenzwerte für eine bestimmte Zielgruppe (ältere Erwachsene) zu erheben. Durch die unterschiedlichen Testbedingungen (statisch - dynamisch; Augen offen - geschlossen; ohne - mit 40mm Schaumstoffmatte) wurden mittels statischer und dynamischer Posturographie von insgesamt 71 Personen (40 Frauen – 31 Männer) Werte ermittelt, über die eine Bewertung der Haltungskontrolle der Zielgruppe vorgenommen werden konnte. Hierbei waren vor allem die Messwerte Bewegungsstrecke als Strecke (COPT – center of pressure track) und der Bewegungsumfang als Fläche (ROM – range of motion) von Interesse.

Insgesamt kann man davon ausgehen, dass vor allem bei den standardisierten, dynamischen Messungen ein zumindest niedriger bis mittlerer, positiver Zusammenhang zwischen den Messwerten des COPT bzw. ROM und den anthropometrischen Parametern Körpergewicht und -größe besteht. Diese Zusammenhänge sind zumeist hoch Signifikant. Besonders auffällig ist, dass dies vor allem der Fall ist, wenn man sich die Messergebnisse der Testungen anschaut, bei denen das visuelle Feedbacksystem ausgeschaltet war.

Interessant ist weiterhin, dass die Abweichungen zwischen den Absolutwerten beiderlei Geschlechts vor allem bei den letzten vier dynamischen Messbedingungen eindeutig ersichtlich sind. Frauen haben im Durchschnitt niedrigere COPT- und ROM-Messwerte als Männer. Wobei man nicht davon ausgehen kann, dass dies auf die im Durchschnitt niedrigere Körperhöhe zurückzuführen ist. Weitere Erhebungen und Analysen könnten in Zukunft der These nachgehen, ob Frauen im Vergleich zu Männern generell niedrigere COPT- und ROM-Messwerte bei der Ermittlung der Funktionsfähigkeit der Gleichgewichtsregulation aufweisen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung weisen zumindest daraufhin.

Wie zu erwarten war, sind bei beiden Geschlechtern die jeweiligen COPT- und ROM-Messwerte zwischen den statischen und dynamischen Bedingungen unterschiedlich. Bis auf die ROM-Messwerte zwischen Testung drei und sieben sind alle Unterschiede hoch signifikant.

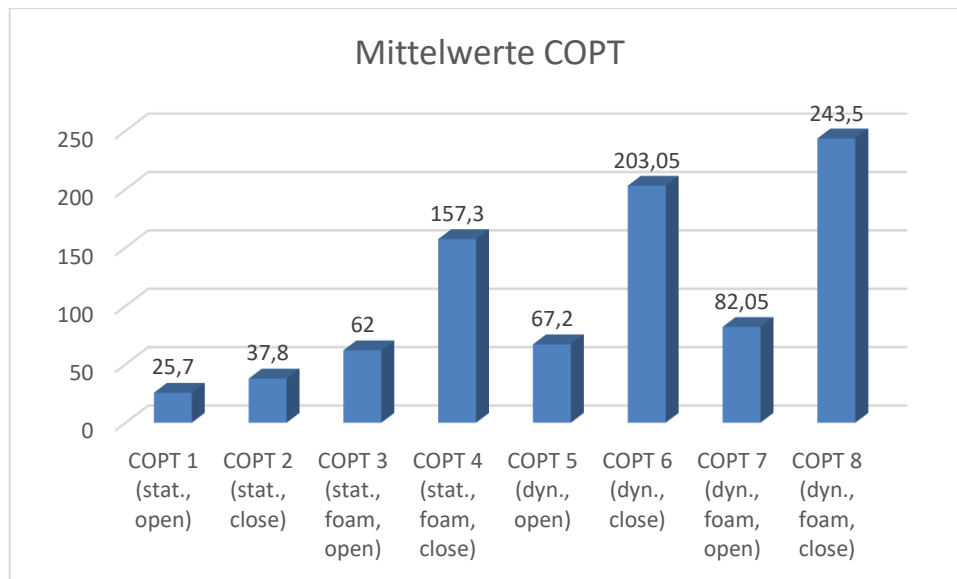


Abbildung 77: Balkendiagramm Mittelwerte COPT

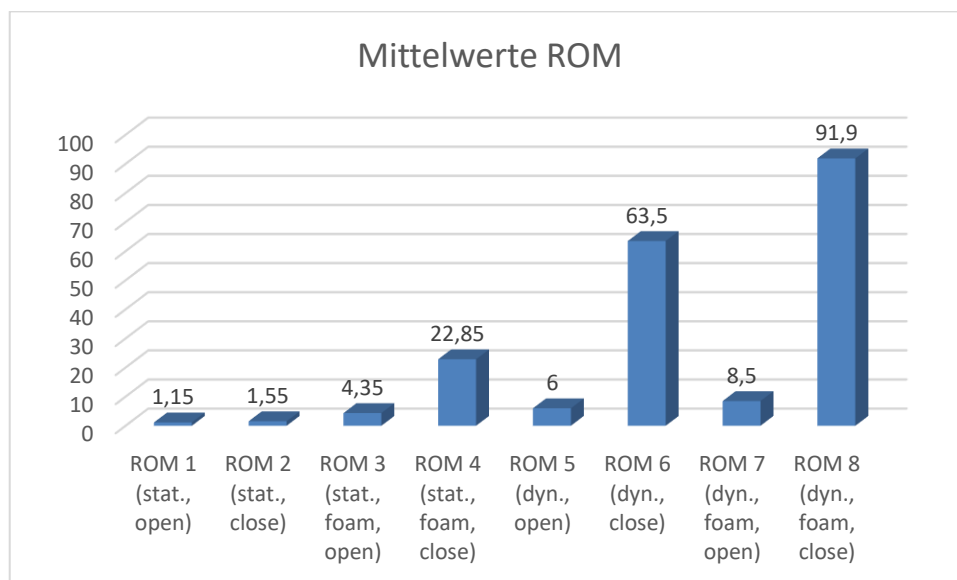


Abbildung 78: Balkendiagramm Mittelwerte ROM

Unter statischen Bedingungen (Messung 1 bis 4) werden die Mittelwerte der COPT- und ROM-Messwerte von Messung zu Messung immer größer, während unter dynamischen Bedingungen die Mittelwerte zwischen Messung sechs und sieben wieder kleiner werden. Schaltet man also das somatosensorische System aus bzw. beeinflusst es und macht die Bedingungen für das System durch die instabile Messplatte herausfordernder, scheint der optische Sinn einen wesentlich größeren Einfluss auf die

Zu guter Letzt kann als zentrales Ergebnis dieser empirischen Arbeit ein hoher linearer Zusammenhang zwischen der Strecke des Druckmittelpunkts und der Bewegungsfläche festgehalten werden.

Insgesamt dienen die erhobenen Referenzwerte in erster Linie der wissenschaftlichen Forschung, um eine Vergleichbarkeit mit anderen Zielgruppen herstellen zu können. Innerhalb der Zielgruppe „junge Erwachsene“ lässt sich anhand der Parameter COPT und ROM nur bedingt eine Aussage über die Qualität der posturalen Kontrolle einer Person treffen, da ein höherer COPT bzw. ROM nicht per se schlecht sein muss. Hierbei handelt es sich aber bloß um eine Vermutung, deshalb bedarf es in Zukunft einer Analyse weiterer Parameter, welche mithilfe dieses Testgeräts erhoben werden können.

Literaturverzeichnis

- Ahmaidi, S., David, P., Doutrelot, P.-L. & Lelard, Th. (2010). Effects of a 12-Week Tai Chi Chuan Program Versus a Balance Training Program on Postural Control and Walking Ability in Older People. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 91(1), 9-14.
- Alonso, A. C., Luna, N. M. S., Mochizuki, L., Barbieri, F., Santos, S. & Greve, J. M. D. (2012). The influence of anthropometric factors on postural balance: the relationship between body composition and posturographic measurements in young adults. *Clinics*, 67(12), 1433-1441. [http://doi.org/10.6061/clinics/2012\(12\)14](http://doi.org/10.6061/clinics/2012(12)14)
- Alonso, A. C., Mochizuki, L., Silva Luna, N. M., Ayama, S., Canonica, A. C. & Greve, J. M. D. (2015). Relation between the Sensory and Anthropometric Variables in the Quiet Standing Postural Control: Is the Inverted Pendulum Important for the Static Balance Control? *BioMed Research International*, 2015, Article-ID 985312, 1-5. <http://doi.org/10.1155/2015/985312>
- Bacellar, S., Daniel, F., Dantas, E. & Vale, R. (2010). Effects of a physical activity program on static balance and functional autonomy in elderly women. *Macedonian Journal of Medical Sciences*, 3(1), 21-26.
- Baltich, J., Von Tscharnner, V., Zandiyeh, P. & Nigg, B. M. (2014). Quantification and reliability of center of pressure movement during balance tasks of varying difficulty. *Gait & Posture*, 40(2), 327-332.
- Becker, C., Kron, M., Loy, S., Nikolaus, Th. & Sturm, E. (2003). Risk indicators for falls in institutionalized frail elderly. *American Journal of Epidemiology*, 158(7), 645-653.
- Bertram, A.M. & Laube, W. (2008). *Sensomotorische Koordination. Gleichgewichtstraining auf dem Kreisel*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- Bischops, K. & Gerards, H.-W. (2001). *Koordinationstraining. Beweglich – fit – vital – ein Leben lang*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Bonfá, E., Madureira, M. M., Pereira, R. M. R. & Takayama, L. (2010). A 12-month randomized controlled trial of balance training in elderly women with osteoporosis: Improvement of quality of life. *Maturitas*, 66(2), 206-211.
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer.
- Bös, K. (2001). *Handbuch motorische Tests*. Göttingen: Hogrefe-Verlag.

- Bös, K., Hänsel, F. & Schott, N. (2004). *Empirische Untersuchungen in der Sportwissenschaft*. Hamburg: Czwalina.
- Bouchard, D. & Tétreault, S. (2000). The motor development of sighted children and children with moderate low vision aged 8-13. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 94(9), 564-573.
- Browne, J., O'Hare, N., O'Hare, G., Finn, A. & Colin, J. (2002). Clinical Assessment of the Quantitative Posturography System. *Physiotherapy*, 88(4), 217-223.
- Bühl, A. (2008). *SPSS 16. Einführung in die moderne Datenanalyse*. München: Pearson Studium.
- Buttler, G. (2003). Steigende Lebenserwartung – was verspricht die Demographie. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 36(2), 90-94.
- Chaudhry, H., Bukiet, B., Ji, Z. & Findley, T. (2011). Measurement of balance in computer posturography: Comparison of methods – A brief review. *Journal of Bodywork & Movement Therapies*, 15(1), 82-91.
- Cho, S.I. & An, D.H. (2014). Effects of a Fall Prevention Exercise Program on Muscle Strength and Balance of the Old-old Elderly. *Journal of Physical Therapy Science*, 26(11): 1771-1774. doi: 10.1589/jpts.26.1771
- Coll-Planas, L., Kron, M., Sander, S., Rissmann, U., Becker, C. & Nikolaus, T. (2006). Accidental falls among community-dwelling older adults: improving the identification process of persons at risk by nursing staff. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 39(4): 277-282.
- Diemer, F. & Sutor, V. (2007). *Praxis der medizinischen Trainingstherapie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- Doyle, T. L., Newton, R. U. & Burnett, A. F. (2005). Reliability of Traditional and Fractal Dimension Measures of Quiet Stance Center of Pressure in Young, Healthy People. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86(10), 2034-2040.
- Duarte, M. & Freitas, S.M.S.F. (2010). Revision of posturography based on force plate for balance evaluation. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 14(3), 183-192. Zugriff am 17. Februar 2016 unter http://www.scielo.br/pdf/rbfis/v14n3/en_03.pdf
- Fisher, S. T. (2010). *The intra-session and inter-session reliability of centre-of-pressure based measure of postural sway within a normal population*. Auckland: Unitec Institute of Technology.
- Fukunaga, J.Y., Quitschal, R.M., Doná, F., Ferraz, H.B., Gananc, M.M. & Caovilla, H.H. (2014). Postural control in Parkinson's disease. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 80(6), 508-514.

- Ga Eun Lee, M. D., Hasuk Bae, M. D., Tae Sik Yoon, M. D., Joo Sup Kim, M. D., Tae Im Yi, M. D. & Jun Sung Park, M. D. (2012). Factors that Influence Quiet Standing Balance of Patients with Incomplete Cervical Spinal Cord Injuries. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 36, 530-537.
- Gaerlan, M. G., Alpert, P. T., Cross, Ch. & Louis, M. (2012). Postural balance in young adults: The role of visual, vestibular and somatosensory systems. *Journal of the American academy of Nurse Practitioners* 24(6), 375-381.
- Giannoulis, D., Calori, G.M. & Giannoudis, P.V. (2016). Thirty-day mortality after hip fractures: has anything changed? *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology*, doi: 10.1007/s00590-016-1744-4
- Gillespie, L.D., Gillespie, W.J., Robertson, M.C., Lamb, S.E., Cumming, R.G. & Rowe, B.H. (2003). Interventions for preventing falls in elderly people. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, (4), CD000340.
- Greve, J., Alonso, A., Bordini, A. C. & Camanho, G. L. (2007). Correlation between body mass index and postural balance. *Clinical Science*, 62(6), 717-720.
- Greve, J. M. D., Cuğ, M., Dülgeroğlu, D., Brech, G. C. & Alonso, A. C. (2013). Relationship between Anthropometric Factors, Gender, and Balance under Unstable Conditions in Young Adults. *BioMed Research International* 2013(1). <https://doi.org/10.1155/2013/850424>
- Goldman, R. L., Luther, S. L., Nelson, A., Perell, K. L., Prieto-Lewis, N. & Rubenstein, L. Z. (2001). Fall risk assessment measures: an analytic review. *Journal of Gerontology. Biological Sciences and Medical Sciences*, 56A(12), M761-M766.
- Hafström, A., Fransson, P. A., Karlberg, M., Ledin, T. & Magnusson, M. (2002). Visual influence on postural control, with and without visual motion feedback. *Acta Otolaryngologica*, 122(4), 392-397.
- Heller, M. (2011, März). *Sportmotorik*. Folien zur Vorlesung Einführung in die Bewegungswissenschaft Universität Wien.
- Hirtz, P. (1985). *Koordinative Fähigkeiten im Schulsport: vielseitig – variationsreich – ungewohnt* (1. Aufl.). Berlin: Volk und Wissen.
- Hirtz, P. (1994). Koordinative Fähigkeiten. In G. Schnabel, D. Harre & A. Borde (Hrsg.), *Trainingswissenschaft: Leistung, Training, Wettkampf* (1. Auflage). Berlin: Sportverlag.
- Hirtz, P. (2002). Was sind koordinative Fähigkeiten? Begriffs- und Wesensbestimmung. In B. Ludwig & G. Ludwig (Hrsg.), *Koordinative Fähigkeiten – koordinative*

Kompetenz (S. 39-43). Kassel: Univ. Gesamthochsch., Fachbereich 03 – Fachrichtung Psychologie.

Hohmann, D. & Uhlig, R. (Hrsg.) (2005). *Orthopädische Techniken* (9., überarb. und neu gestaltete Aufl.). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

Hollmann, W. & Strüder, H. (2009). *Sportmedizin. Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin* (5., völlig neu bearb. und erweiterte Aufl.). Stuttgart: Schattauer.

Hue, O., Simoneau, M., Marcotte, J., Berrigan, F., Doré, J., Marceau, P., Marceau, S., Tremblay, A. & Teasdale, N. (2007). Body weight is a strong predictor of postural stability. *Gait & Posture*, 26(1), 32-38.

Jansenberger, H. (Hrsg.) (2011). *Sturzprävention in Therapie und Training*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.

Jendrusch, G. & Brach, M. (2003). Sinnesleistungen im Sport. In H. Mechling & J. Munzert (Hrsg.), *Handbuch Bewegungswissenschaft – Bewegungslehre* (Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport Bd. 141, S. 175-196). Schorndorf: Hofmann.

Karimi, M. T. & Solomonidis, S. (2011). The relationship between parameters of static and dynamic stability tests. *Journal of Reserch in Medical Sciences: The Official Journal of Isfahan University of Medical Sciences*, 16(4), 530-535.

Kelsey, J. L., Link, B., Nevitt, M. C. & Northridge, M. E. (1995). Home hazards and falls in the elderly: the role of health and functional status. *American Journal of Public Health*, 85(4), 509-515.

Kong, S.W., Jeong, Y.W. & Kim, J.Y. (2015). Correlation between balance and gait according to pelvic displacement in stroke patients. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(7): 2171-2174. doi: 10.1589/jpts.27.2171

Ku, P. X., Abu Osman, N. A., Yusof, A. & Wan Abas, W. A. B. (2012). Biomechanical evaluation oft he relationship between postural control and body mass index. *Journal of Biomechanics*, 45(9), 1638-1642.

Lafond, D., Corriveau, H., Hébert, R. & Prince, F. (2004). Intrasession reliability of center of pressure measures of postural steadiness in healthy elderly people. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85(6), 896-902.

Laube, W. (2004). Das sensomotorische System, die Bewegungsprogrammierung und die sensomotorische Koordination beim Gesunden und Verletzten. *Österreichische Zeitschrift für Physikalische Medizin und Rehabilitation*, 14(1), 35-49.

- Laube, W. (2009). *Sensomotorisches System. Physiologisches Detailwissen für Physiotherapeuten*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- Lee, H. & Scudds, R. (2003). Comparison of balance in older people with and without visual impairment. *Age and Ageing*, 32(6), 643-649.
- Marufu, T.C., White, S.M., Griffiths, R., Moonesinghe, S.R. & Moppett, I.K. (2016). Prediction of 30-day mortality after hip fracture surgery by the Nottingham Hip Fracture Score and the Surgical Outcome Risk Tool. *Anaesthesia*, doi: 10.1111/anae.13418
- Medical Expo (2016). *Stabilometrische Plattform System™ SD Biodex Rehab*. Zugriff am 16. Februar 2016 unter [Stabilometrische Plattform - System™ SD - BIODEX Rehab](#)
- Medical Expo (2016). *Stabilometrische Plattform Sense Product®*. Zugriff am 16. Februar 2016 unter [Stabilometrische Plattform - Sense Product](#)
- Meinel, K. & Schnabel, G. (2007). *Bewegungslehre Sportmotorik. Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt* (11., überarbeitete und erweiterte Auflage). Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Natus Medical Incorporated (Hrsg.). (2015). *NeuroCom® Balance Manager® Systems*. Zugriff am 02. Februar 2016 unter [NeuroCom Balance Family - Natus Medical - PDF Catalogs | Technical Documentation](#)
- Nevitt, M.C., Cummings, S.R., Kidd, S. & Black, D. (1989). Risk factors for recurrent nonsyncopal falls. A prospective study. *The Journal of the American Medical Association*, 261(18), 2663-2668.
- Palm, H. G., Strobel, J., Achatz, G., von Luebken, F. & Friemert, B. (2009). The role and interaction of visual and auditory afferents in postural stability. *Gait & Posture*, 30(3), 328-333.
- Pai, Y.C., Bhatt, T., Wang, E., Espy, D. & Pavol, M.J. (2010). Inoculation against falls: rapid adaptation by young and older adults to slips during daily activities. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 91(3), 452-459. doi: 10.1016/j.apmr.2009.10.032
- Pickerill, M. L. & Harter, R. A. (2011). Validity and Reliability of Limits-of-Stability Testing: A Comparison of 2 Postural Stability Evaluation Devices. *Journal of Athletic Training*, 46(6), 600-606.
- Piirtola, M. & Era, P. (2006). Force platform measurements as predictors of falls among older people – a review. *Gerontology*, 52(1), 1-16.

- Prieto, T. E., Myklebust, J. B., Hoffmann, R. G., Lovett, E. G. & Myklebust, B. M. (1996). Measures of postural steadiness: differences between healthy young and elderly adults. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 43(9), 956-966.
- Rasch, B., Frieze, M., Hofmann, W. & Naumann, E. (2010). *Quantitative Methoden – Band 1: Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer.
- Ray, C. T., Horvat, M., Croce, R., Mason, R. C. & Wolf, S. L. (2008). The impact of vision loss on postural stability and balance strategies in individuals with profound vision loss. *Gait & Posture*, 28(1), 58-61.
- Redfern, M. S., Yardley, L. & Bronstein, A. M. (2001). Visual influences on balance. *Journal of Anxiety Disorders*, 15(1), 81-94.
- Resch, J. E., May, B., Tomporowski, P. D. & Ferrara, M. S. (2011). Balance Performance With a Cognitive Task: A Continuation of the Dual-Task Testing Paradigm. *Journal of Athletic Training*, 46(2), 170-175.
- Rockmann, U. & Börnermann, H. (2006). *Grundlagen der sportwissenschaftlichen Forschungsmethoden und Statistik*. Schorndorf: Hofmann.
- Roth, K. (2003). Wie lehrt man schwierige geschlossene Fertigkeiten? In N. Dreiling (Hrsg.), *Methoden im Sportunterricht: ein Lehrbuch in 14 Lektionen* (4. Auflage, S. 27-47). Schorndorf: Hofmann.
- Santos, B. R., Delisle, A., Larivière, C., Plamondon, A. & Imbeau, D. (2008). Reliability of centre of pressure summary measures of postural steadiness in healthy young adults. *Gait & Posture*, 27(3), 408-415.
- Schaller, H.-J. & Wernz, P. (2015). *Koordinationstraining für Senioren. Besser orientieren – schneller reagieren – sicher stehen und gehen* (4. Auflage). Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Schnabel, G., Harre, H.-D. & Krug, J. (Hrsg.). (2011). *Traininglehre – Trainingswissenschaft. Leistung – Training – Wettkampf* (2. aktualisierte Auflage). Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Schwesig, R., Lauenroth, A., Müller, A., Becker, S. & Hottenrott, K. (2006). Parametrisierung posturaler Subsysteme mit Posturografie. *Manuelle Medizin*, 44(5), 376-384. doi: 10.1007/s00337-006-0457-x

- Sell, T. C. (2012). An examination, correlation, and comparison of static and dynamic measures of postural stability in healthy, physically active adults. *Physical Therapy in Sport*, 13(2), 80-86.
- Sense Product (2016). Produktfolder. Zugriff am 17. Februar 2016 unter [SENSE WAVE - PRODUKTFOLDER.pdf](#)
- Simonek, J. (2013). Speed and coordination improvement by means of agility training. *Sport Science*, 6(1), 95-98.
- Tetrax FB (2016). Principle. Zugriff am 16. Februar 2016 unter <http://www.tetraxfb.com/tetrax-fb-system/principle/>
- Timmann-Braun, D. (2012). Posturographie. *Das Neurophysiologie-Labor*, 34(3), 113-118.
- Turbanski, S. & Schmidtbleicher, D. (2010). Posturale Kontrolle als situationsabhängige Fertigkeit. *Sportverletzung – Sportschaden*, 24(3), 123-128.
- Van Peppen, R. P., Kortsmit, M., Lindeman, E. & Kwakkel, G. (2006). Effects of visual feedback therapy on postural control in bilateral standing after stroke: a systematic review. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 38(1), 3-9.
- Weineck, J. (2010). *Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtraining*. Balingen: Spitta.
- Wilke, C. (2000). *Sensomotorische Leistungen der unteren Extremitäten, Quantifizierungsmethoden und Training in der Rehabilitation*. Köln: Deutsche Sporthochschule.
- Yu, W., An, C. & Kang, H. (2013). Effects of Resistance Exercise Using Thera-band on Balance of Elderly Adults: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Physical Therapy Science*, 25(11), 1471-1473.
- Zalpour, C. (Hrsg.). (2010). *Springer Lexikon Physiotherapie*. Heidelberg: Springer Verlag.
- Ziganek-Soehlke, F. (2008). *StuBs – Sturzprophylaxe durch Bewegungsschulung. Mehr Bewegungssicherheit im Alltag*. München: Richard Pflaum Verlag.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Piktogramm zum überlassen eines Sitzplatzes (Wiener Linien).....	10
<i>Abbildung 2: Begriffsvielfalt bei koordinativen Fähigkeiten (Roth, 2003, in N. Dreiling (Hrsg.), Methoden im Sportunterricht: ein Lehrbuch in 14 Lektionen).....</i>	<i>14</i>
Abbildung 3: Systeme der Gleichgewichtskontrolle (Diemer & Sutor, 2007, S.89)	19
Abbildung 4: Sensomotorisches System (Laube, 2009, S.44).....	21
Abbildung 5: Tetrax® (Ga Eun Lee et al., 2012, S.532)	24
Abbildung 6: SMART-Balance-Master (Natus Medical Incorporated, 2015, S. 7)	25
Abbildung 7: Sensory Organization Test mit dem SMART-Balance-Master (Resch, J. E. et al., 2011, S. 171)	26
Abbildung 8: Biodex-Balance-System (Medical Expo, Stabilometrische Plattform System™ SD).....	27
Abbildung 9: sense wave medical (Medical Expo, Stabilometrische Plattform)	28
Abbildung 10: Geschlechtsverteilung	34
Abbildung 11: sense wave medical (Sense Product Produktfolder).....	36
<i>Abbildung 12: Kippelement, Sensorplattform und Schaumstoffmatte (20mm) (Sense Product Produktfolder)</i>	<i>36</i>
Abbildung 13: Touchscreen-Monitor, Druckverteilung auf die Füße und Messeinstellungen (Sense Product Produktfolder).....	37
Abbildung 14: schematische Darstellung eines Testablaufs.....	40
Abbildung 15: Beispielhafte Auswertung einer statischen Messung	42
Abbildung 16: Beispielhafte Auswertung einer dynamischen Messung	43
Abbildung 17: beispielhafte graphische Darstellung des COPT bei den vier statischen Messungen 1-4	44
Abbildung 18: beispielhafte Darstellung des ROM bei den vier statischen Messungen 1-4	45
Abbildung 19: absolute Referenzwerte des COPT 1 der statischen Messung nach Geschlecht.....	51
Abbildung 20: absolute Referenzwerte des COPT 2 der statischen Messung nach Geschlecht.....	51

Abbildung 21: absolute Referenzwerte des COPT 3 der statischen Messung nach Geschlecht.....	52
Abbildung 22: absolute Referenzwerte des COPT 4 der statischen Messung nach Geschlecht.....	52
<i>Abbildung 23: absolute Referenzwerte des COPT 5 der dynamischen Messung nach Geschlecht.....</i>	<i>53</i>
Abbildung 24: absolute Referenzwerte des COPT 6 der dynamischen Messung nach Geschlecht.....	54
Abbildung 25: absolute Referenzwerte des COPT 7 der dynamischen Messung nach Geschlecht.....	54
Abbildung 26: absolute Referenzwerte des COPT 8 der dynamischen Messung nach Geschlecht.....	55
Abbildung 27: absolute Referenzwerte des ROM 1 der statischen Messung nach Geschlecht.....	57
Abbildung 28: absolute Referenzwerte des ROM 2 der statischen Messung nach Geschlecht.....	57
<i>Abbildung 29: absolute Referenzwerte des ROM 3 der statischen Messung nach Geschlecht.....</i>	<i>58</i>
Abbildung 30: absolute Referenzwerte des ROM 4 der statischen Messung nach Geschlecht.....	58
Abbildung 31: absolute Referenzwerte des ROM 5 der dynamischen Messung nach Geschlecht.....	59
Abbildung 32: absolute Referenzwerte des ROM 6 der dynamischen Messung nach Geschlecht.....	60
Abbildung 33: absolute Referenzwerte des ROM 7 der dynamischen Messung nach Geschlecht.....	60
Abbildung 34: absolute Referenzwerte des ROM 8 der dynamischen Messung nach Geschlecht.....	61
Abbildung 35: Korrelation zwischen Körpergröße und COPT1	62
Abbildung 36; Korrelation zwischen Körpergröße und COPT2.....	62
Abbildung 37: Korrelation zwischen Körpergröße und COPT3.....	63

Abbildung 38: Korrelation zwischen Körpergröße und COPT4.....	63
Abbildung 39: Korrelation zwischen Körpergröße und COPT5.....	64
Abbildung 40: Korrelation zwischen Körpergröße und COPT6.....	65
Abbildung 41: Korrelation zwischen Körpergröße und COPT7.....	65
Abbildung 42: Korrelation zwischen Körpergröße und COPT8.....	66
Abbildung 43: Korrelation zwischen Körpergröße und ROM1	66
Abbildung 44: Korrelation zwischen Körpergröße und ROM2	67
Abbildung 45: Korrelation zwischen Körpergröße und ROM3	67
Abbildung 46: Korrelation zwischen Körpergröße und ROM4	68
Abbildung 47: Korrelation zwischen Körpergröße und ROM5	69
Abbildung 48: Korrelation zwischen Körpergröße und ROM6	69
Abbildung 49: Korrelation zwischen Körpergröße und ROM7	70
Abbildung 50: Korrelation zwischen Körpergröße und ROM8	70
Abbildung 51: Korrelation zwischen Körpergewicht und COPT1	71
Abbildung 52: Korrelation zwischen Körpergewicht und COPT2	71
Abbildung 53: Korrelation zwischen Körpergewicht und COPT3	72
Abbildung 54: Korrelation zwischen Körpergewicht und COPT4	72
Abbildung 55: Korrelation zwischen Körpergewicht und COPT5	73
Abbildung 56: Korrelation zwischen Körpergewicht und COPT6	73
Abbildung 57: Korrelation zwischen Körpergewicht und COPT7	74
Abbildung 58: Korrelation zwischen Körpergewicht und COPT8	74
Abbildung 59: Korrelation zwischen Körpergewicht und ROM1.....	75
Abbildung 60: Korrelation zwischen Körpergewicht und ROM2.....	76
Abbildung 61: Korrelation zwischen Körpergewicht und ROM3.....	76
Abbildung 62: Korrelation zwischen Körpergewicht und ROM4.....	77
Abbildung 63: Korrelation zwischen Körpergewicht und ROM5.....	77
Abbildung 64: Korrelation zwischen Körpergewicht und ROM6.....	78
Abbildung 65: Korrelation zwischen Körpergewicht und ROM7.....	78

Abbildung 66: Korrelation zwischen Körpergewicht und ROM8.....	79
Abbildung 67: Korrelation zwischen COPT 1 und COPT 5.....	84
Abbildung 68: Korrelation zwischen ROM 1 und ROM 5.....	85
Abbildung 69: Korrelation zwischen COPT 1 und ROM 1	87
Abbildung 70: Korrelation zwischen COPT 2 und ROM 2	88
Abbildung 71: Korrelation zwischen COPT 3 und ROM 3	88
Abbildung 72: Korrelation zwischen COPT 4 und ROM 4	89
Abbildung 73: Korrelation zwischen COPT 5 und ROM 5	89
Abbildung 74: Korrelation zwischen COPT 6 und ROM 6	90
Abbildung 75: Korrelation zwischen COPT 7 und ROM 7	90
Abbildung 76: Korrelation zwischen COPT 8 und ROM 8	91
Abbildung 77: Balkendiagramm Mittelwerte COPT	97
Abbildung 78: Balkendiagramm Mittelwerte ROM	97

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Entwicklungsphasen in der motorischen Ontogenese	17
Tabelle 2: anthropometrische Daten	34
Tabelle 3: absolute Referenzwerte des COPT der weiblichen Probanden	50
Tabelle 4: absolute Referenzwerte des COPT der männlichen Probanden	50
Tabelle 5: absolute Referenzwerte des ROM der weiblichen Probanden	56
Tabelle 6: absolute Referenzwerte des ROM der männlichen Probanden	56
Tabelle 7: Vergleich der absolute Referenzwerte COPT 1 bis 8.....	80
Tabelle 8: Vergleich der absolute Referenzwerte ROM 1 bis 8	81
Tabelle 9: Vergleich der körpergrößenbereinigten Referenzwerte COPT 1 bis 8	81
Tabelle 10: Vergleich der körpergrößenbereinigten Referenzwerte ROM 1 bis 8	82
Tabelle 11: Vergleich der COPT-Mittelwerte statisch vs. dynamisch.....	83
Tabelle 12: Vergleich der ROM-Mittelwerte statisch vs. dynamisch	83
Tabelle 13: Vergleich der COPT-Mittelwerte offene vs. geschlossene Augen	85
Tabelle 14: Vergleich der ROM-Mittelwerte offene vs. geschlossene Augen.....	86
Tabelle 15: Vergleich der COPT-Mittelwerte ohne vs. mit Matte	86
Tabelle 16: Vergleich der ROM-Mittelwerte ohne vs. mit Matte	86

Anhang

Handblatt

Sehr geehrte Dame, sehr geehrter Herr,

vielen Dank, dass Sie sich für eine Messung ihrer Gleichgewichtsfähigkeit interessieren und somit zu einem Teil meiner Masterarbeit an der Universität Wien beitragen können. Die Teilnahme an dieser Messung ist völlig kostenlos und beruht auf freiwilliger Basis.

Verantwortlich für die Durchführung und wissenschaftliche Auswertung ist:

M. B.

Tel.: +43 ...

Die Auswertung wird von der Universität Wien im Rahmen der Masterarbeit betreut.

Die Verantwortlichen tragen dafür Sorge, dass alle erhobenen Daten der Messung streng vertraulich behandelt werden und keine Rückschlüsse in der Auswertung und in der Masterarbeit auf die Identität der Probandinnen und Probanden geschlossen werden können.

Die Messung findet an folgendem Ort statt:

Institut für Sportwissenschaft Universität Wien

Auf der Schmelz 6

1150 Wien

Treffpunkt: Aula vor dem Hörsaal 1 (USZ 1)

Zeitlicher Aufwand: 20 - max. 30 Minuten

Wegbeschreibung (öffentliche Verkehrsmittel siehe Rückseite)

Parkplätze für Autos oder Motorräder finden Sie am besten in der Possinger- oder Wickhoffgasse, sowie am Mareschplatz.

Wegbeschreibung

Am besten erreicht man das Universitätsgebäude mit folgenden öfftl. Verkehrsmitteln:

- Bus 10A: Haltestelle Auf der Schmelz



- U3 Johnstraße + 10A

oder Fußweg (max. 10 Min.)



- Bus 48A: Haltestelle Possingerg./Koppstr.

+ 10A oder Fußweg (max. 10 Min.)

