



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Statische versus dynamische Posturographie bei jungen, gesunden Erwachsenen – Referenzdatenerhebung und quantitative Analyse zweier ausgewählter Parameter“

verfasst von / submitted by

Dominik Marksteiner

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfillment of the requirements for the degree of

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2016 / Vienna 2016

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 482 406

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

UF Bewegung und Sport
UF Mathematik

Betreut von / Supervisor:

Univ.- Prof. Mag. Dr. Harald Tschan

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen Personen bedanken, die mich im Laufe meines gesamten Studiums begleitet und unterstützt haben.

Ein ganz besonderer Dank gebührt meinen Eltern, Andrea und Roland, welche mich in allen Lebensbereichen stets unterstützt haben und mir dieses Studium ermöglicht haben. Auf eure Unterstützung konnte ich immer zählen.

Weiters danke ich meiner Freundin Elisabeth, sowie all meinen Freund(inn)en und Studienkolleg(inn)en für die vielen unvergesslichen Momente, die ich während meiner gesamten Studienzeit erleben durfte.

Für die Erstellung dieser Diplomarbeit möchte ich mich ganz herzlich bei Herrn Univ.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan für dessen kompetente Betreuung bedanken. In diesem Zusammenhang darf ich mich beim gesamten Team der Abteilung für Trainingswissenschaft, insbesondere bei Herrn Univ.-Ass. Christoph Triska, für die tatkräftige Unterstützung bei der Organisation, Durchführung und Auswertung meiner Testungen bedanken.

Zu guter Letzt bedanke ich mich auch bei allen Probandinnen und Probanden für das Mitwirken an dieser Studie und den reibungslosen Ablauf der Tests.

Abstract

Deutsche Version

Posturale Kontrolle ist bei allen täglichen Bewegungen von essenzieller Bedeutung, um den Körper gegen die Schwerkraft im Gleichgewicht zu halten bzw. dieses bei Verlust der posturalen Stabilität rasch wieder herstellen zu können. Um die Qualität der Haltungskontrolle einer Person messbar machen zu können, kommt das Verfahren der Posturographie zum Einsatz.

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist die Haltungskontrolle bei jungen, gesunden Erwachsenen mit Hilfe des Diagnosegeräts Sense wave medical® posturografisch, im Hinblick auf das visuelle, somatosensorische und vestibuläre System, zu erfassen und die Unterschiede zwischen festem und labilem Untergrund zu untersuchen. Dazu wurde ein standardisierter Test mit 8 Einzelmessungen, bestehend aus 4 statischen (Augen offen/geschlossen bzw. Augen offen/geschlossen auf einer 40mm dicken Schaumstoffmatte) und 4 dynamischen Tests im aufrechten bipedalen Stand, durchgeführt. Insgesamt wurden 114 gesunde Probandinnen und Probanden im Alter von 18 bis 35 Jahren getestet, die Referenzwerte zweier Parameter (Centre of Pressure Track = COPT; Range of Motion = ROM) erhoben und mittels Statistiksoftware SPSS auf Zusammenhänge und Unterschiede überprüft.

Hinsichtlich der anthropometrischen Parameter gibt es insbesondere bei den dynamischen Messungen geringe bis mittlere Zusammenhänge zwischen der Körpergröße bzw. des Körpergewichts und den Parametern COPT bzw. ROM. Je labiler die Testbedingungen werden, desto höher unterscheiden sich die absoluten wie auch körpergrößenbereinigten Werte der männlichen und weiblichen Testpersonen. Männer weisen diesbezüglich vor allem mit geschlossenen Augen viel höhere Werte auf. Beim Vergleich statisch vs. dynamisch lassen sich – mit Ausnahme des Vergleichs der Messungen 3 und 7 bei den Frauen – erwartungsgemäß Unterschiede in den Mittelwerten des COPT bzw. ROM feststellen. Allerdings zeigen sich keine nennenswerten Zusammenhänge zwischen der statischen und dynamischen Haltungskontrolle einer Person. Was die posturalen Teilsysteme betrifft, scheint das Wegfallen des visuellen Feedbacks auf labilem Untergrund eine große Rolle zu spielen. Das Stehen auf einer Schaumstoffmatte und die damit verbundene Verminderung somatosensibler Afferenzen beeinflusst die Parameter vor allem auf fixierter Standfläche. Insgesamt machen sich hohe lineare Zusammenhänge zwischen den Parametern COPT und ROM bemerkbar.

Schlüsselwörter: Posturale Kontrolle, Posturographie, junge Erwachsene, Referenzwerte

Abstract

English Version

Postural control is essential for many daily activities to maintain posture and to regain balance rapidly if postural stability is lost, respectively. To assess postural control qualitatively, computerized posturography systems are used.

The current diploma thesis aims to assess postural stability in young healthy adults using computerized posturography in static and dynamic conditions. 114 subjects (68 male and 46 female, aged 18-35 years) performed four static and four dynamic posturographic measurements using two-legged stance in different test conditions (eyes open vs. eyes closed and with and without foam pads, respectively). Vertical pressure fluctuations beneath the two heels and toes were recorded by a piezoelectric sensor platform (Sense wave medical®, Vienna, Austria). Measurement parameters included the sway of centre of pressure track (COPT) and range of motion (ROM). Reference data were established for these parameters and correlations and differences were assessed using statistical procedures (SPSS).

The measurements show moderate correlations between anthropometric parameters (height, weight) and the parameters COPT and ROM, especially during the dynamic posturographic measurements. The more labile the test conditions are, the higher the absolute, as well as the body-adjusted values of the male and female test persons differ. The results indicate that men have much higher values, especially with closed eyes. When comparing static vs. dynamic conditions, differences in the mean values of the COPT or ROM can be found, with exception of the comparison of the measurements 3 and 7 for the women. However, there are no significant correlations between a person's static and dynamic postural control. With regard to the postural subsystems, the omission of visual feedback on a labile surface seems to play an important role. Standing on a foam mat seems to influence the parameters mainly on a fixed surface. Overall, the analysis revealed high linear correlations between the parameters COPT and ROM.

Keywords: postural control, posturography, young adults, reference values

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
2	Theoretische Grundlagen.....	11
2.1	Gleichgewicht.....	11
2.1.1	Begriffsklärung Gleichgewicht	11
2.1.2	Formen des motorischen Gleichgewichts.....	13
2.1.3	Bedeutung der sensomotorischen Gleichgewichtskontrolle im Sport.....	15
2.2	Das posturale System	16
2.2.1	Posturale Kontrolle.....	17
2.2.2	Teilsysteme des posturalen Systems	19
2.3	Posturographie.....	24
2.3.1	Statische und dynamische Erfassung der posturalen Kontrolle	25
2.3.2	Vergleich aktueller Messverfahren	27
2.4	Aktueller Forschungsstand	31
2.4.1	Studien zum Einfluss der Anthropometrie auf die posturale Kontrolle.....	31
2.4.2	Studien über Zusammenhänge zwischen statischer und dynamischer posturaler Kontrolle	32
2.4.3	Studien zum Einfluss des visuellen Systems auf die Haltungskontrolle	32
2.4.4	Studien zum Einfluss des somatosensorischen Systems auf die posturale Kontrolle	33
3	Forschungsfragen	34
3.1	Fragen zum Einfluss der Anthropometrie	34
3.2	Fragen zu Unterschiede bzw. Zusammenhänge zwischen statischer und dynamischer posturaler Stabilität	34
3.3	Fragen zum Einfluss des visuellen Systems.....	35
3.4	Fragen zum Einfluss des somatosensorischen Systems	35
4	Methodik	36
4.1	Probandinnen und Probanden.....	36
4.2	Ein- und Ausschlusskriterien	37
4.3	Messdatenerhebung	38
4.4	Aufbau einer Messreihe	39
4.5	Ablauf einer Messreihe.....	40
4.6	Messparameter	44
4.6.1	Strecke des Druckmittelpunkts (COPT).....	47
4.6.2	Bewegungsfläche (ROM)	49

4.7	Statistische Auswertung der Daten.....	49
5	Ergebnisse.....	52
5.1	Deskriptive Statistik.....	52
5.1.1	Anthropometrische Daten der Probandinnen und Probanden	52
5.1.2	Absolute Referenzwerte des Centre of Pressure Track.....	52
5.1.3	Absolute Referenzwerte des Range of Motion	56
5.2	Einfluss der Anthropometrie	59
5.2.1	Zusammenhang zwischen Körpergröße und COPT	59
5.2.2	Zusammenhang zwischen Körpergröße und ROM.....	61
5.2.3	Zusammenhang zwischen Körpergewicht und COPT	63
5.2.4	Zusammenhang zwischen Körpergewicht und ROM.....	65
5.3	Geschlechtsspezifische Unterschiede	67
5.3.1	Vergleich der absoluten Referenzwerte.....	67
5.3.2	Vergleich der körpergrößenbereinigten Referenzwerte	69
5.4	Unterschiede / Zusammenhänge statisch und dynamisch.....	71
5.5	Einfluss des visuellen Systems	73
5.6	Einfluss des somatosensorischen Systems.....	74
5.7	Zusammenhänge zwischen COPT und ROM.....	75
6	Diskussion	77
7	Zusammenfassung	82
8	Literaturverzeichnis.....	84
9	Abbildungsverzeichnis	90
10	Tabellenverzeichnis	92
	Lebenslauf.....	93
	Eidesstaatliche Erklärung	95

1 Einleitung

Die Fähigkeit den eigenen Körper im Gleichgewicht zu halten bzw. verlorenes Gleichgewicht rasch wiederzuerlangen, stellt bei sportlichen Betätigungen sowie bei sämtlichen Alltagsbewegungen eine unverzichtbare Grundvoraussetzung dar. Auch wenn die Kontrolle des Gleichgewichts, beispielsweise beim aufrechten Stand, auf den ersten Blick simpel erscheinen mag, so handelt es sich tatsächlich um eine sehr komplexe Aufgabe für den gesamten Körper samt Muskeln, Sehnen und Gelenken, sowie das Gehirn (Behrens et al., 2016; Mancini & Horak, 2010).

Weil es sich beim menschlichen Körper nicht um einen starren Körper handelt, ist dieser permanent auf seine Muskelkraft angewiesen, um der Schwerkraft entgegenzuwirken und eine aufrechte Haltung zu garantieren. Da aufgrund der Atmung und des Herzschlags kontinuierlich wechselnde innere Kräfte wirken, wird das Gleichgewicht stets leicht gestört. Deshalb sind zahlreiche kleinere oder größere Ausgleichsbewegungen mithilfe der Bein- und Rumpfmuskulatur notwendig, damit ein möglichst stabiler Gleichgewichtszustand gewährleistet werden kann (Olivier & Rockmann, 2003).

Um die Gleichgewichtsleistung einer Person im ruhigen beidbeinigen Stand erfassen zu können, steht vor allem im therapeutischen Bereich ein modernes Testverfahren zur Verfügung, welches im Allgemeinen als Posturographie bezeichnet wird. Mithilfe der Posturographie ist es möglich die Körperschwankungen im aufrechten Stand (beidbeinig oder einbeinig) mittels Kraftmessplatte oder ähnlicher Technologie zu registrieren und so das Gleichgewichtsverhalten einer Person exakt zu quantifizieren (De Marées, 2003).

Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich mit der posturographischen Testung junger, gesunder Erwachsener im Alter von 18 bis 35 Jahren. Dabei soll herausgefunden werden, inwiefern sich die Gleichgewichtsfähigkeit, insbesondere die posturale Kontrolle, von männlichen und weiblichen Testpersonen auf festem Untergrund (statische Posturographie) bzw. beweglichem Untergrund (dynamische Posturographie), sowie mit offenen/geschlossenen Augen unterscheidet bzw. ob Zusammenhänge erkennbar sind. Durch eine statistische Auswertung mittels SPSS soll eruiert werden, ob gewisse Parameter miteinander in Beziehung stehen. Darüber hinaus gilt es herauszufinden, ob es Zusammenhänge gibt zwischen anthropometrischen Parametern und der posturalen Kontrolle eines Menschen bzw. ob sich die Daten der weiblichen Probandinnen gegenüber jenen der männlichen Probanden signifikant voneinander unterscheiden.

Das zentrale Ziel dieser Arbeit ist die Erhebung von Referenzdaten einer statischen und dynamischen posturographischen Messreihe. Mithilfe eines standardisierten

Testverfahrens werden Zusammenhänge und Unterschiede statistisch überprüft und interpretiert. Es werden die beiden Parameter „Strecke des Druckmittelpunkts“ (Centre of Pressure Track) und „Bewegungsfläche“ (Range of Motion) bei insgesamt acht Einzelmessungen (vier statische und vier dynamische) erhoben. Ein Großteil der Daten wird analysiert und dient als Grundlage für weitere wissenschaftliche Forschungszwecke.

Nach der Durchführung der Testungen und der Auswertung der Daten sollen folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

- Gibt es Zusammenhänge zwischen anthropometrischen Parametern (Größe, Gewicht) und der statischen bzw. dynamischen posturalen Stabilität, dargestellt anhand der Parameter Strecke des Druckmittelpunkts und Bewegungsfläche?
- Wie unterscheidet sich die statische von der dynamischen posturalen Kontrolle, dargestellt anhand der oben angeführten Parameter?
- Wie wirkt sich das Wegfallen von visueller Information (also bei Tests mit offenen bzw. geschlossenen Augen) auf die statische und dynamische posturale Kontrolle aus?
- Wie beeinflusst das Stehen auf weichem Untergrund die statische und dynamische Haltungskontrolle?

Die Gliederung dieser Arbeit ist folgendermaßen aufgebaut: Im Theorieteil in Kapitel 2 werden zunächst die wesentlichen Begriffe zu den Themen Gleichgewicht, posturale Kontrolle, Posturographie etc. erläutert. Darüber hinaus wird auch der aktuelle Forschungsstand dargelegt. Anhand dieser Thematik werden dann im 3. Kapitel die Forschungsfragen dieser Diplomarbeit konkreter formuliert.

Das 4. Kapitel beschreibt die gesamte Methodik dieser Arbeit. Es wird näher auf die Probandinnen und Probanden eingegangen und es werden die Ein- und Ausschlusskriterien festgelegt. Es folgt eine Beschreibung des Messgeräts „Sense wave medical“, des Ablaufs einer Messung, sowie der einzelnen Messparameter. Schließlich wird in diesem Kapitel auch erklärt, wie die statistische Datenauswertung erfolgt.

Im Kapitel 5 werden die Ergebnisse der Studie präsentiert. Es werden Zusammenhänge bzw. Unterschiede zwischen den Einzelmessungen und deren Parametern beschrieben.

Weiters werden im 6. Kapitel die Ergebnisse anhand der einzelnen Forschungsfragen ausführlich diskutiert und gegebenenfalls mit anderen bereits durchgeführten Studien verglichen. Abschließend gilt es die zentralen Ergebnisse im Kapitel 7 noch einmal übersichtlich zusammenzufassen und einen kleinen Ausblick für weitere Forschungszwecke zu geben.

2 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel werden in erster Linie jene wesentlichen Begriffe definiert und erläutert, welche hinsichtlich der Testergebnisse relevant erscheinen. Anfangs wird das übergeordnete Thema dieser Diplomarbeit näher erläutert. Dabei spielt das Gleichgewicht, insbesondere der Begriff der posturalen Kontrolle, eine wichtige Rolle. In diesem Zusammenhang wird auch auf den Begriff Sensomotorik, sowie auf das visuelle, vestibuläre und somatosensorische System näher eingegangen. Es wird auch erklärt, worum es sich bei der Posturographie handelt bzw. welche Testgeräte in der Forschung verwendet werden. Zu guter Letzt soll dieses Kapitel dazu dienen, einen kleinen Überblick über den aktuellen Forschungsstand zu geben.

2.1 Gleichgewicht

Zu Beginn gilt es den Begriff Gleichgewicht, welcher in dieser empirischen Arbeit eine wesentliche Rolle spielt, näher zu erklären. In weiterer Folge werden einige in der Literatur übliche Formen des Gleichgewichts, insbesondere des motorischen Gleichgewichts, sowie dessen Bedeutung im Sport näher erläutert.

2.1.1 Begriffsklärung Gleichgewicht

Laut Definition im Duden (2016) wird das Wort *Gleichgewicht* einerseits als „Zustand eines Körpers“ bezeichnet, „in dem die entgegengesetzt wirkenden Kräfte einander aufheben.“ Synonyme Begriffe wären auch Ausgewogenheit und Stabilität. Andererseits kann man das Wort Gleichgewicht auch als „innere, seelische Ausgeglichenheit“ bezeichnen.

Fetz (1990) untergliedert das Gleichgewicht in ein physikalisches Gleichgewicht und ein motorisches Gleichgewicht (Abb. 1). Obwohl es viele unterschiedliche Definitionen und Bedeutungen in den Naturwissenschaften und anderen Wissenschaften gibt, liegen die Wurzeln des Gleichgewichts eines Körpers in der physikalischen Betrachtungsweise. In der Physik beschreibt man das Gleichgewicht als „mechanischen Zustand, in dem sich alle an einem Körper angreifenden Kräfte gegenseitig aufheben, das heißt, die Resultierende aller Kräfte ist null.“ (Fetz, 1990, S. 10)

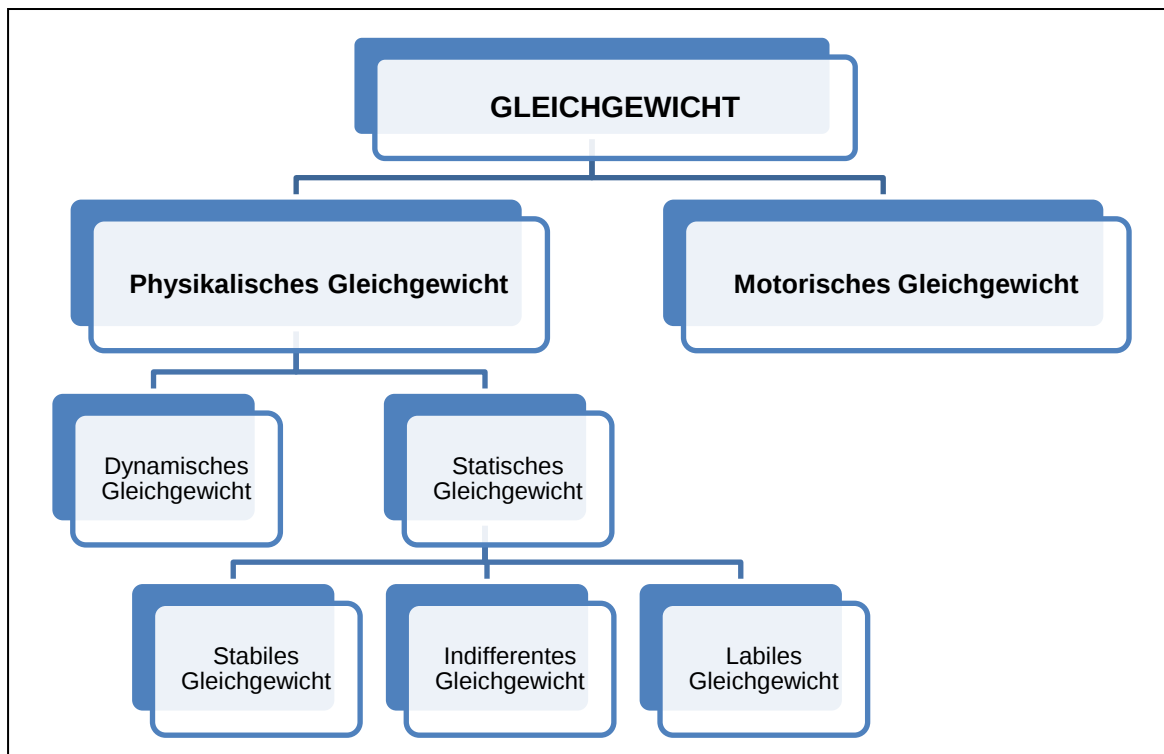


Abb. 1: Schematische Gliederung des Gleichgewichts (mod. n. Fetz, 1990, S. 11)

Diese Zustände, in der sich die Kräfte gegenseitig aufheben, sind sowohl bei ruhenden, als auch bei bewegten Körpern möglich. Hinsichtlich einer Unterteilung des statischen Gleichgewichts beschreibt Fetz (1990) die stabile, die indifferente, sowie die labile Gleichgewichtslage (Abb. 2). Wird ein Körper leicht verschoben, so kann dieser wieder in die ursprüngliche Lage zurückkehren (stabil), in der verschobenen Lage bleiben (indifferent), oder er entfernt sich weiter aus der Ruhelage (labil).

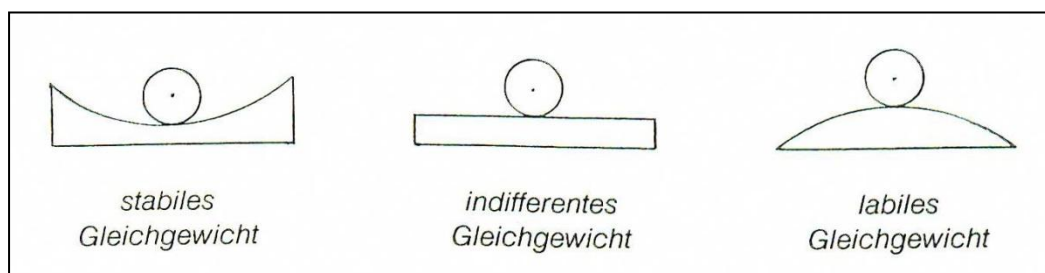


Abb. 2: Unterteilung des statischen Gleichgewichts (Fetz, 1990, S. 11)

Für die Erhaltung des Gleichgewichts eines Menschen betont Fetz (1990, S. 11) vor allem die große Bedeutung des motorischen Gleichgewichts: „Die oben geschilderte Differenzierung des statischen Gleichgewichts in der Physik kann nicht unverändert auf das motorische Gleichgewicht übertragen werden.“

Fetz (1990) begründet dies damit, dass bei höher organisierten Lebewesen stets innere Kräfte auftreten, welche mit Spannungsveränderungen und damit verbundenen aktiven Bewegungen zusammenhängen, um das Gleichgewicht am jeweiligen Ort zu erhalten.

Im Kontext von Bewegung und Sport wird die Fähigkeit des Gleichgewichthaltens zwangsläufig mit dem Überbegriff *Koordination* verbunden. Dieser Begriff kann vereinfacht gesagt als das „Zusammenwirken von Zentralnervensystem und Skelettmuskulatur innerhalb eines gezielten Bewegungsablaufes“ beschrieben werden (Hollmann & Strüder, 2009, S. 140).

Viele Autoren, darunter Schnabel, Harre und Krug (2011), zählen die *Gleichgewichtsfähigkeit* neben der Orientierungs-, Rhythmisierungs-, Reaktions-, Differenzierungs-, Kopplungs- und Umstellungsfähigkeit zu den koordinativen Fähigkeiten. Diese Kategorisierung hat sich auch bei anderen Standardwerken in der Sportwissenschaft (Weineck, 2010; Meinel & Schnabel, 2015) etabliert.

Meinel und Schnabel (2015, S. 225) wählen die folgende Definition: „Unter Gleichgewichtsfähigkeit wird die Fähigkeit verstanden, den gesamten Körper im Gleichgewichtszustand zu halten oder während und nach umfangreichen Körperverschiebungen diesen Zustand beizubehalten beziehungsweise wiederherzustellen.“

Fetz (1990) nennt neben der Gleichgewichtsfähigkeit auch eine Vielzahl anderer gebräuchlicher Begriffe, wie zum Beispiel Balancieren, Balancefähigkeit oder sensomotorisches Gleichgewicht. Im englischen Sprachgebrauch sind vor allem die Begriffe Balance und Equilibrium gängig, als Fachbegriffe werden Steadiness und Stability häufig gebraucht.

2.1.2 Formen des motorischen Gleichgewichts

Die Erscheinungsformen der motorischen Gleichgewichtsfähigkeit in der sportlichen Praxis sind sehr vielfältig. Fetz (1990) unterteilt das motorische Gleichgewicht in das Gleichgewicht des eigenen Körpers, sowie in das Gleichgewicht von Objekten (Abb.3). Ersteres spielt vor allem für diese Diplomarbeit eine zentrale Rolle. Es kann auch hier wieder eine Unterteilung in statisches bzw. dynamisches Körpergleichgewicht (static bzw. dynamic balance) getroffen werden. Obwohl sich der Körper beim statischen motorischen Gleichgewicht stets am selben Ort befindet, ist dieser permanent organischen Schwankungen, Muskelspannungen und feinsten Vibrationen ausgesetzt, weshalb dieses Gleichgewichtsverhalten oftmals als „quasistatisch“ bezeichnet wird (Fetz, 1990).

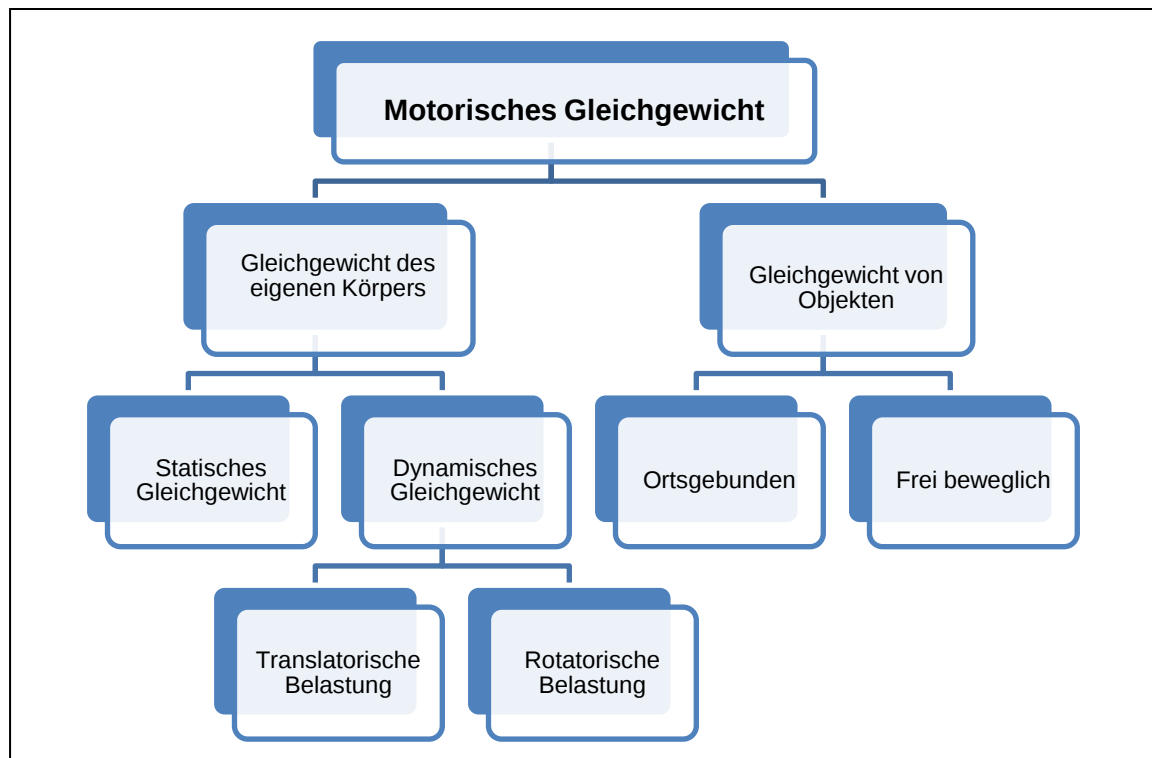


Abb. 3: Untergliederung des motorischen Gleichgewichts (mod. n. Fetz, 1990, S. 23)

Hirtz, Hotz und Ludwig (2005) wählen eine genauere Unterteilung in vier Arten des Körpergleichgewichts: das Standgleichgewicht, das Balanciergleichgewicht, das Drehgleichgewicht und das Fluggleichgewicht (Tab.1).

Tab. 1: Arten des Körpergleichgewichts

Stand- gleichgewicht	Balancier- gleichgewicht	Dreh- gleichgewicht	Flug- gleichgewicht
beidbeinig, einbeinig	auf stabiler Unterlage	um die Längsachse	während kürzerer oder länger- dauernder (stützloser) Flugphasen
auf stabiler Unterlage	auf begrenzter Unterlage	um die Breitenachse	
auf begrenzter Unterlage	auf labiler Unterlage	um die Tiefenachse	
auf labiler Unterlage	mit Richtungs- und Geschwindigkeits- änderung	um verschiedene Achsen	
nach äußeren Störungen	auf „körperverbundenen“ Geräten		

Quelle: mod. n. Hirtz, Hotz & Ludwig (2005, S. 55)

Am relevantesten, hinsichtlich der Thematik dieser Diplomarbeit, ist das Standgleichgewicht, welches als „Erhalt und Wiederherstellung des Körpergleichgewichts bei Bewegungen ohne Ortsveränderung“ bezeichnet werden kann. Einfache Beispiele dafür wären das aufrechte Sitzen sowie der beidbeinige (bipedale) bzw. einbeinige Stand auf stabiler, begrenzter oder labiler Unterlage, beispielsweise am Boden, am Schwebebalken oder auf einem Kippbrett (Hirtz, Hotz & Ludwig, 2005, S. 55).

Das Balanciergleichgewicht bezieht sich auf translatorische Bewegungen, also auf Bewegungen, bei denen es zu einer Ortsveränderung kommt, wie es z. B. beim Gehen, Laufen, Radfahren, etc. der Fall ist. Wenn bei oder nach einer Drehbewegung das Körpergleichgewicht erhalten bzw. wiederhergestellt wird, spricht man vom Drehgleichgewicht. Dazu zählen zum Beispiel Drehungen im Stand beim Tanzen, beim Eiskunstlauf, aber auch Drehungen beim Wasserspringen oder beim Springen auf dem Trampolin. Die vierte Komponente des Körpergleichgewichts bildet das Fluggleichgewicht, welches vor allem bei stützlosen Flugphasen benötigt wird (Hirtz, Hotz & Ludwig, 2005).

2.1.3 Bedeutung der sensomotorischen Gleichgewichtskontrolle im Sport

Wie bereits oben erwähnt, spielt das sensomotorische Gleichgewicht eine besonders wichtige Rolle. Es dient als Grundlage für nahezu alle Bewegungen im Sport (Fetz, 1990).

Laut Diemer und Sutor (2011) verfügt der Mensch über mehrere Systeme und Strategien (Sprunggelenks-, Hüftgelenks- und Schutzschrittstrategie), um das Körpergleichgewicht gegen die Schwerkraft innerhalb der Unterstützungsfläche halten zu können (postural control). Die folgende Abbildung beschreibt die Systeme der Gleichgewichtskontrolle:

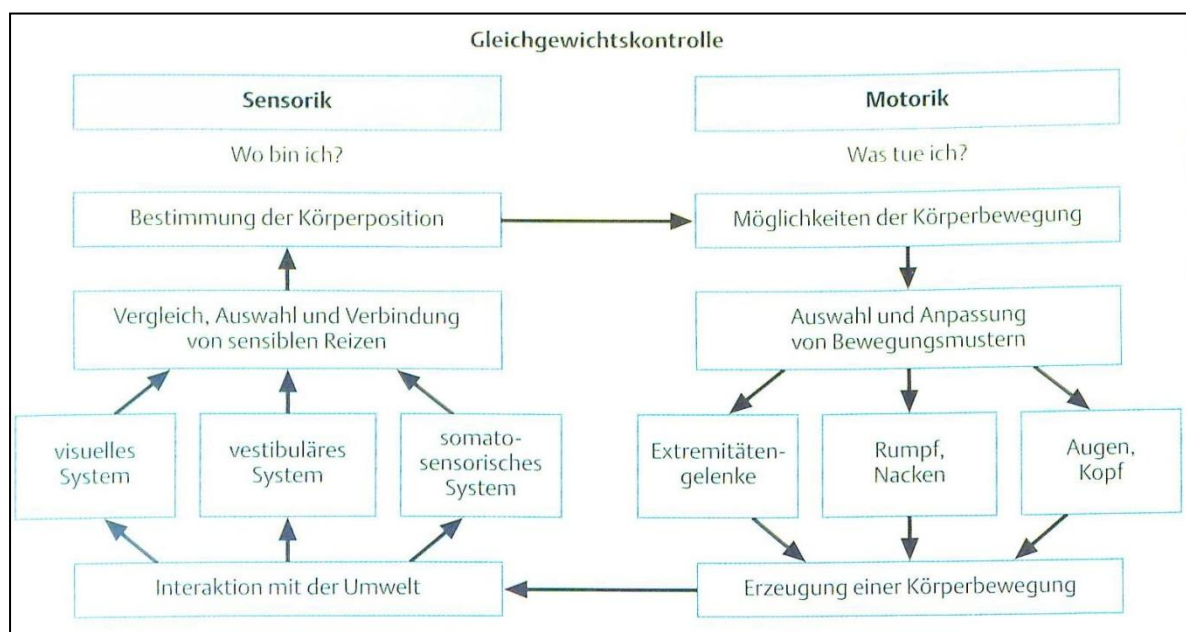


Abb. 4: Systeme der Gleichgewichtskontrolle (Diemer & Sutor, 2011, S. 89)

Anhand der von Oltmanns (2007, S. 5) sehr vereinfachten Beschreibung des Begriffs *Sensomotorik* werden die Funktionen der beiden Systeme schnell deutlich: „Die Fähigkeit sich zu bewegen, wird als Motorik bezeichnet, während die Wahrnehmung als Sensorik benannt wird. Die Sensomotorik befasst sich mit der Steuerung und Kontrolle der Bewegung aufgrund von Sinnesrückmeldungen.“

Durch diesen Prozess ist der menschliche Körper in der Lage gezielt Bewegungen auszuführen und dabei das Gleichgewicht zu erhalten bzw. möglichst schnell wiederzuerlangen. Dies ist sowohl bei äußerlich erkennbaren Bewegungen, als auch bei ruhenden Positionen möglich. Durch ein sensomotorisches Training (SMT) kann die gesamte Bewegungskoordination verbessert werden und man kommt in weiterer Folge auch mit ungewohnten, neuen Situationen besser zurecht (Oltmanns, 2007).

Mithilfe des sensomotorischen Trainings können laut Stehle (2009) in folgenden drei Anwendungsbereichen große Wirkungen erzielt werden: SMT fördert die Gelenkstabilität bei der Rehabilitation nach Gelenksverletzungen, es optimiert die statische und dynamische posturale Kontrolle und es verbessert sich die Leistungsfähigkeit hinsichtlich Bewegungskoordination und Kraft bei Willkürbewegungen.

Der zentrale Fokus dieser Diplomarbeit wird, wie bereits zu Beginn erwähnt, auf die posturale Kontrolle gelegt, welche im folgenden Kapitel näher beschrieben wird.

2.2 Das posturale System

Das posturale System ist verantwortlich für die aufrechte Haltung des Menschen, beispielsweise für die Haltungskontrolle beim aufrechten Stand. Die Bezeichnung leitet sich ab vom englischen Wort „posture“, das so viel bedeutet wie „Haltung“. Balasubramaniam und Wing (2002) bezeichnen die Haltung allgemein als das geometrische Verhältnis des gesamten Körpers zur Umgebung, insbesondere zur Unterstützungsfläche. Die aufrechte Haltung eines Menschen äußert sich im Speziellen dadurch, dass die Gelenkwinkel der einzelnen Körpersegmente (z. B. Sprunggelenk und Kniegelenk) stets in einem Verhältnis zueinander stehen. Für die Einnahme einer bestimmten Haltung ist u.a. aufgrund der Wirkung äußerer Kräfte stets ein aktiver Prozess im Körper verantwortlich.

Für Meinel und Schnabel (2015) stellt das aufrechte, beidbeinige Stehen insofern einen aktiven Prozess dar, da man allein durch die Körperatmung permanent zu kleinen Ausgleichsbewegungen gezwungen ist. Man bezeichnet diese Ausgleichsbewegungen auch als posturale Synergien.

2.2.1 Posturale Kontrolle

Für die Erhaltung des motorischen Gleichgewichtszustandes hat sich vor allem der Begriff der *posturalen Kontrolle* weitestgehend etabliert (Diemer & Sutor, 2011).

Turbanski und Schmidbleicher (2010, S. 123) bezeichnen die posturale Kontrolle als „die kontinuierliche Aufrechterhaltung und die Wiedererlangung des motorischen Gleichgewichts, wenn durch einen Störimpuls kurzfristig die posturale Stabilität gefährdet ist oder verloren geht.“

Auch Becker et al. (2010, S. 16) wählen eine ähnliche Definition, sie beschreiben die posturale Kontrolle als die „Funktionsfähigkeit des Körpers, seine aufrechte Position im Raum zu erhalten.“

Mit dem Begriff der posturalen Kontrolle kann sowohl ein statischer Zustand (Stehen), als auch ein dynamischer Zustand (Gehen, Laufen etc.) beschrieben werden. Bertram und Laube (2008) sprechen in diesem Zusammenhang auch von der sogenannten *Stützensomotorik*. Diese steht für die vielen „aktiven statischen und/oder dynamischen Sicherungs-, Stabilisierungs- und Kompensationsreaktionen im Dienst des Gleichgewichts.“ (Bertram & Laube, 2008, S. 21)

Die beiden Autoren betonen in diesem Zusammenhang, dass das statische Gleichgewicht, welches in der kindlichen Entwicklung relativ schnell und sicher beherrscht werden kann, nicht ohne Trainingsreize auf komplexere dynamische Anforderungen, wie beispielsweise das Balancieren über einen Balken, übertragen werden kann (Bertram & Laube, 2008).

Die Begriffe zur Haltungskontrolle werden in der englischsprachigen Literatur unterschiedlich gewählt. Im allgemeinen Sprachgebrauch ist oftmals von „postural control“ oder „postural balance“ die Rede (Baltich, Von Tscharnier, Zandiyeh & Nigg, 2014; Fukunaga et al., 2014; Karimi, Ebrahimi, Kahrizi & Torkaman, 2008).

Chaudhry, Bukiet, Ji und Findley (2011) wählen für die statische Haltungskontrolle im ruhigen, aufrechten Stand den Begriff der „postural steadiness“ und für die dynamische Haltungsregulation ist der Begriff „postural stability“ gebräuchlich.

Horak (2006) verwendet in seinem Artikel die Begriffe „postural orientation“ und „postural equilibrium“. Die posturale Orientierung beinhaltet die aktive Ausrichtung des Körpers, dies betrifft vor allem den Rumpf und den Kopf. Dabei gilt es die Schwerkraft, die Unterstützungsfläche, die visuelle Umgebung und die Integration der sensorischen Informationen zu berücksichtigen. Diese Inputs werden vom visuellen, vestibulären und somatosensorischen System geliefert und sind je nach Ziel einer Bewegungsaufgabe

unterschiedlich gewichtet. Unter dem Begriff „postural equilibrium“ versteht man das Koordinieren sämtlicher Bewegungsstrategien, um den Körperschwerpunkt nach äußeren oder selbstinitiierten Störungen wieder zu stabilisieren.

Der posturalen Kontrolle liegen laut Taube (2013) zwei verschiedene Modi zugrunde, nämlich der „Feedback-Modus“ und der „antizipative Modus“:

„Im ‚Feedback-Modus‘ reagiert das posturale System auf den Verlust des Gleichgewichts und versucht, das Gleichgewicht durch geeignete Kompensationsreaktionen wiederzuerlangen. Im ‚antizipativen Modus‘ werden Störeinflüsse gedanklich vorweggenommen, die posturale Kontrolle wird im Sinne einer Feedforward-Regelung darauf eingestellt. Dies spielt z.B. bei selbst initiierten Willkürbewegungen eine große Rolle, bei welchen destabilisierende Auswirkungen exakt vorhergesehen werden können.“ (Taube, 2013, S. 56)

Betrachtet man statische Situationen hinsichtlich der Haltungskontrolle, so dominiert der antizipative Modus, während bei dynamischen Situationen die Feedback-Mechanismen, welche vorwiegend auf Reflexen beruhen, dominant sind. Beide Strategien sind aber stets an der Haltungsregulation beteiligt und bedingen teilweise einander (Turbanski & Schmidtbleicher, 2010).

Der beidbeinige, aufrechte Stand des Menschen stellt an das Gehirn viel höhere Anforderungen dar, als dies beispielsweise beim vierbeinigen Stand eines Tieres der Fall ist. Der Körperschwerpunkt (KPS) liegt beim aufrechten Stehen viel höher, die Unterstützungsfläche ist relativ klein und auch die „Steifigkeit“ im Fußgelenk ist niedriger. Nichtsdestotrotz erscheint der ruhige, beidbeinige Stand im Alltag eines gesunden Menschen relativ banal. Selten ist man sich darüber bewusst, um welche anspruchsvolle sensomotorische Leistung es sich eigentlich dabei handelt (Taube, 2013).

Wie bereits im Kapitel 2.1.3 erwähnt, verfügt der Körper über mehrere Strategien, um den Gleichgewichtszustand aufrecht zu erhalten. Ray, Horvat, Croce, Mason und Wolf (2008) nehmen in ihrem Artikel Bezug auf die *Sprunggelenksstrategie* sowie auf die *Hüftgelenksstrategie*, welche in Abbildung 5 veranschaulicht werden.

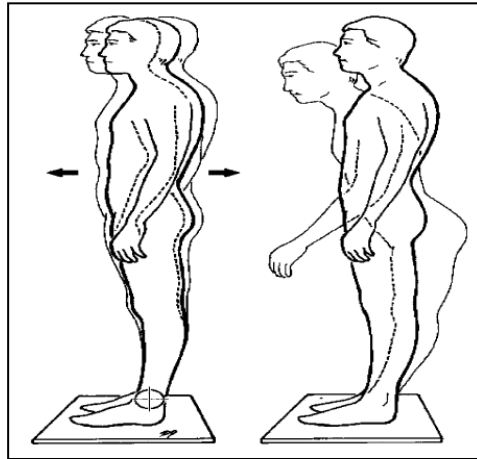


Abb. 5: Sprunggelenks- und Hüftgelenksstrategie (Ray et al., 2008, S. 60)

Erstere dient vor allem zum Ausgleichen von geringen Körperschwankungen auf ebenem Untergrund mithilfe der beiden Sprunggelenke. Die Hüftgelenksstrategie kommt bei höherer Instabilität zum Einsatz. Falls die Sprunggelenksstrategie nicht mehr ausreichend ist, wird im Hüftgelenk eine Ausgleichbewegung durchgeführt. Somit kann das Standgleichgewicht weiterhin erhalten werden (Diemer & Sutor, 2011).

Horak, Nashner und Diener (1990) stellten die Vermutung auf, dass zur Ausführung der Sprunggelenksstrategie in erster Linie die Einflüsse des somatosensorischen Systems verantwortlich sind, während man bei der Hüftgelenksstrategie offenbar auf die vestibulären Inputs angewiesen ist.

Wie komplex das gesamte System der posturalen Kontrolle bzw. posturalen Stabilität tatsächlich ist, wird erst dann deutlich, wenn die Beschaffenheit des Untergrunds schwieriger wird bzw. wenn es zu Einbußen hinsichtlich der Funktionalität aufgrund von pathologischen Prozessen kommt (Taube, 2013).

2.2.2 Teilsysteme des posturalen Systems

In einer Vielzahl an wissenschaftlichen Artikeln wird in der Einleitung die Charakteristik der Haltungskontrolle u.a. auf folgende Art und Weise beschrieben:

„Maintaining an upright posture requires the nervous system to integrate information from the somatosensory, visual and vestibular systems.” (Baltich et al., 2014, S. 327)

Fransson, Johannsson, Hafström und Magnusson (2000) bezeichnen das gesamte posturale System als „dynamisches Feedback-Kontrollsystem“, das aus den drei bereits oben genannten Teilsystemen, nämlich aus dem visuellen, vestibulären und somatosensorischen System, besteht. Diese drei Teilsysteme arbeiten in einem

komplexen, dynamischen Prozess zusammen, bei dem deren Rezeptoren stets die Körperschwankungen registrieren. Das visuelle, das vestibuläre, sowie das somatosensorische System werden im Folgenden etwas genauer beschrieben.

Das *visuelle System* – bestehend aus Auge, Sehnerv und verarbeitende Zentren im Gehirn – ist laut De Marées (2003) jenes Sinnesorgan, das 90% aller Umwelteindrücke aufnimmt. Es hat nicht nur bei allen täglichen Bewegungshandlungen (z. B. Gehen, Laufen) eine hohe Bedeutung, sondern gerade bei komplexen Sportspielen bzw. Rückschlagspielen ist es nahezu unverzichtbar. Im täglichen Leben ist vor allem die statische Sehschärfe gefragt, um bestimmte Details „scharf“ sehen zu können. Darüber hinaus verfügt der Mensch auch über ein dynamisches Sehvermögen (u.a. über die sakkadische Ortungsgeschwindigkeit), dessen Trainierbarkeit mehrmals nachgewiesen worden ist und gerade bei Sportarten mit hohen Ball- bzw. Aktionsgeschwindigkeiten unverzichtbar ist (De Marées, 2003).

Beim *vestibulären System* handelt es sich umgangssprachlich um das sogenannte Gleichgewichtssystem (De Marées, 2003). Vereinfacht gesagt bekommt man mithilfe dieses Organs Auskunft über die Lage des Kopfes im Schwerfeld der Erde, denn es können die Bewegungen des Kopfes bezüglich der Richtung und der Beschleunigung erfasst werden (Meinel & Schnabel, 2015). In der Fachsprache wird jenes Organ, welches sich im Innenohr des menschlichen Körpers befindet, als Vestibularapparat bezeichnet (Olivier & Rockmann, 2003). Dieser sehr komplexe Apparat besteht insgesamt aus zwei Maculaorganen und drei Bogengangsorganen (Abb. 6).

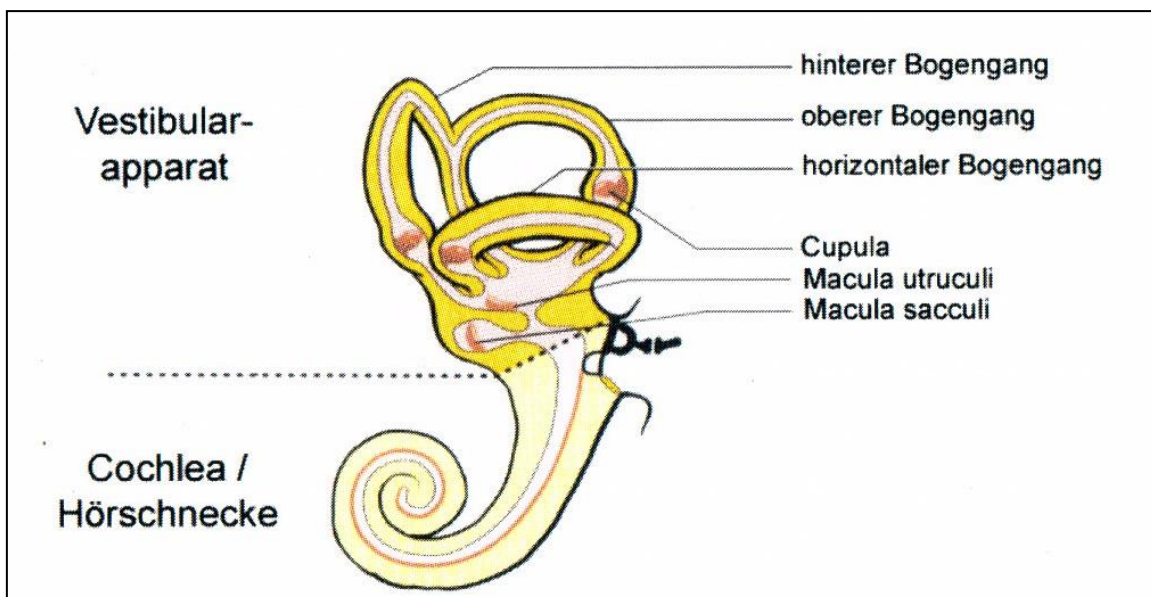


Abb. 6: Der Vestibularapparat (Olivier & Rockmann, 2003, S. 108)

Die Maculaorgane (Macula utriculi, Macula sacculi) erfassen die Translationsbeschleunigungen des Kopfes, die Bogengangsorgane (oberer, hinterer und horizontaler Bogengang) die Rotationsbeschleunigungen des Kopfes. Je nach Beschleunigungsart kommt es in den jeweiligen Organen zur Auslenkung von Haarzellen, welche in elektrische und chemische Signale umgewandelt werden und über den Vestibularis-Nerv an das Gehirn weitergeleitet werden (Olivier & Rockmann, 2003).

Das *somatosensorische System* wird in der Literatur durch mehrere verschiedene Teilsysteme und durch teilweise unterschiedliche Bezeichnungen beschrieben. In so manchen Standardwerken (Schmidt & Thews, 1997; Lang, 2000) ist die Rede vom somato-viszeralem sensorischen System, welches größtenteils für die Wahrnehmung des eigenen Körpers verantwortlich ist. Dieses komplexe System erfasst die auftretenden Reize mittels Rezeptoren, welche sich in der Haut, im Bewegungsapparat sowie in den inneren Organen befinden. Es besteht im Wesentlichen aus den folgenden Rezeptoren:

- Mechano- (Druck-), Thermo- (Temperatur-) und Schmerzrezeptoren (in der Haut)
- Tiefensensibilität (in den Muskeln, Sehnen und Gelenken)
- Viszerale Sensibilität (in den Organen)

Laut Olivier und Rockmann (2003), welche den Fachbereich der Bewegungswissenschaft genauer beleuchten, kann die Somatosensorik auch als Körperwahrnehmung bezeichnet werden. Beim somatosensorischen System beschreiben die Autoren v.a. die *Propriozeption*, die das sogenannte Muskellängensystem, das Sehnenspannungssystem und das Gelenkstellungssystem enthält.

Dieses System wird auch als *Tiefensensibilität* bezeichnet, deren Reizrezeptoren direkt in den Muskeln, Sehnen und Gelenken zu finden sind. Im Wesentlichen besteht die Tiefensensibilität aus den Muskelspindeln innerhalb eines Muskels, den Golgi-Sehnenorganen im Muskel-Sehnenübergang sowie aus den Gelenkrezeptoren in der Gelenkkapsel (Lang, 2000). Dabei handelt es sich um äußerst sensible und leistungsfähige Rezeptoren. Diese registrieren „die Winkelstellungen der Gelenke, die Bewegungsrichtung und -geschwindigkeit der Glieder sowie die zur Ausführung der Bewegung oder Erhaltung der Stellung benötigten Kräfte.“ (Birklbauer, 2006, S. 32)

Wollny (2007, S. 79) bezeichnet die Tiefensensibilität auch als „Stellungssinne der Körperperipherie“, welche in den Muskeln, Sehnen und Gelenkkapseln eingebettet und sehr bewegungsempfindlich sind: „Diese erfassen den Widerstand gegen eine motorische Handlung, die passive und aktive Veränderung der Muskellänge und der Geschwindigkeit der Längenänderung, die Muskel- und Sehnenspannung oder die aktuelle Position der Gliedmaßen und ihre räumliche Stellung zueinander.“

Meinel und Schnabel (2015) beschreibt die sensorischen Systeme des Menschen allgemein als Analysatoren. Hinsichtlich des somatosensorischen Systems werden die Hauptrezeptoren in den Muskeln, Sehnen und Gelenken dementsprechend als Propriozeptoren angeführt. Diese bilden laut Ansicht der Autoren den sogenannten *kinästhetischen Analysator*, welcher umgangssprachlich auch „bewegungsempfindender“ Analysator genannt wird. Da die Rezeptoren direkt in den Bewegungsorganen liegen und deren Leitungsbahnen sich durch eine sehr hohe Leitungsgeschwindigkeit auszeichnen, ist der kinästhetische Analysator den anderen Analysatoren oftmals überlegen, da diese meist erst auf größere Bewegungsausschläge ansprechen (Meinel & Schnabel, 2015).

Auch Schmidt und Thews (1997, S. 224) verwenden als Synonym für die Propriozeption die Begriffe „Tiefensensibilität“ bzw. „kinästhetische Sensibilität“ und verstehen darunter „die Wahrnehmung der Stellung und Bewegung unseres Körpers.“ Sie zeichnet sich nach Ansicht der Autoren durch drei Qualitäten aus, nämlich durch den Stellungssinn (Stellung der Gelenke), den Bewegungssinn (Wahrnehmung der Gelenkbewegungen) und den Kraftsinn (Wahrnehmung der auftretenden Kräfte).

Schmidt und Thews (1997) betonen, dass bei der Propriozeption auch vielfältige Mechanorezeptoren in der Haut, sowie das Vestibularorgan mitwirken. Das menschliche Gehirn nutzt also alle verfügbaren Informationen, indem im zentralen Nervensystem die Meldungen der einzelnen Systeme integriert werden. Dieser komplexe Vorgang ermöglicht es, die jeweilige Stellung der Körperteile wahrnehmen zu können (Abb.7).

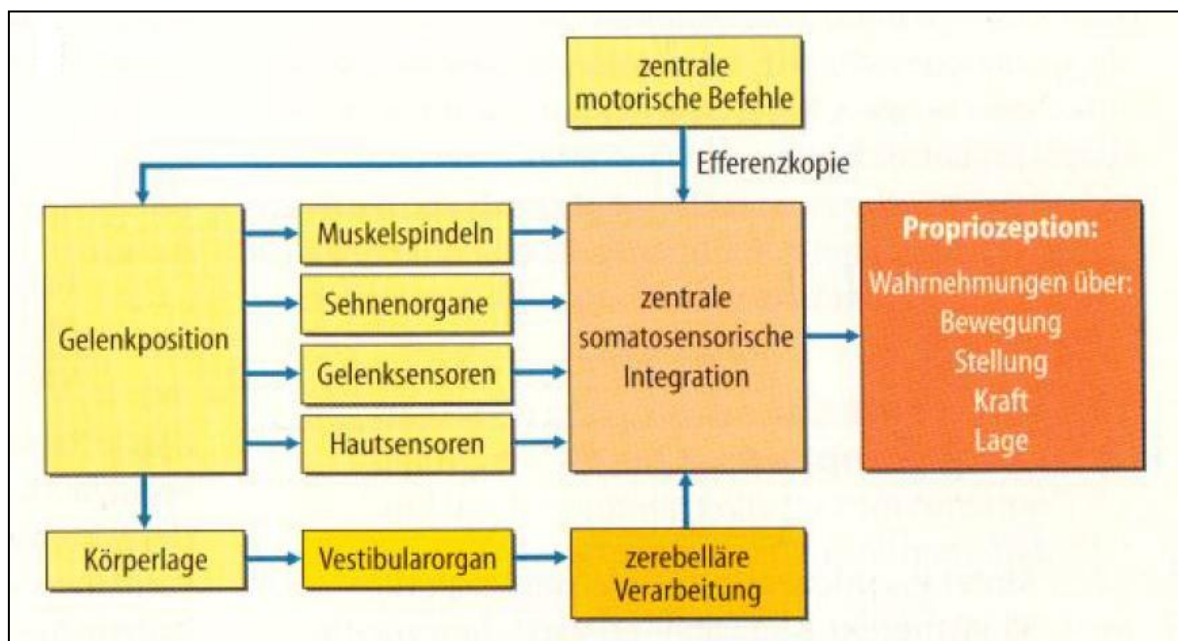


Abb. 7: Übersicht über das Zusammenwirken einzelner Systeme bei den bewusst werdenden Vorgängen der Propriozeption (Schmidt & Thews, 1997, S. 223)

Wie soeben angedeutet, lassen sich die drei oben beschriebenen posturalen Systeme niemals unabhängig voneinander betrachten. Olivier und Rockmann (2003) veranschaulichen die Verbindung der einzelnen posturalen Systeme und deren Komplexität beim aufrechten Stand folgendermaßen:

„Im Stand führt die (translatorische) Erdbeschleunigung zur Auslösung spezifischer Signale beider Maculaorgane. Diese Information über die Lage des Kopfes im Raum wird ergänzt durch visuelle Information und Information der Propriozeption der Hals- und Rumpfmuskeln sowie der Muskeln der Extremitäten. So ist eine ständige Haltungskontrolle gewährt.“

(Olivier & Rockmann, 2003, S. 109)

Diemer und Sutor (2011) sind der Ansicht, dass beim ruhigen, aufrechten Stehen vor allem das somatosensorische und das visuelle System gefragt sind. Das vestibuläre System ist bei statischen Situationen ebenfalls beteiligt, allerdings ist es nicht sensibel genug, um kleinste Veränderungen registrieren zu können. Bei dynamischen Situationen, bei denen der Körper sowie der Kopf in Bewegung gesetzt werden, hat das vestibuläre System einen größeren Anteil am Erhalt des Gleichgewichts.

Horak (2006) führt an, dass bei gesunden Personen beim Stehen auf festem Untergrund die einzelnen Teilsysteme zu folgenden Anteilen zum Einsatz kommen: 70 Prozent entfallen auf das somatosensorische System, 20 Prozent auf das vestibuläre, sowie 10 Prozent auf das visuelle System. Falls die Personen jedoch auf einer instabilen Oberfläche stehen, verändert sich das Verhältnis. Dem vestibulären und visuellen System kommt nun mehr Bedeutung zu, während die Abhängigkeit der somatosensorischen Inputs geringer wird.

Laut Taube (2013, S. 57) erscheint eine relative Gewichtung der einzelnen Teilsysteme sehr schwierig, da die sensorischen Eindrücke stets in engen Verbindungen miteinander stehen. Der Autor teilt die Ansicht, dass dennoch „störrispezifische Präferenzen“ aufgezeigt werden können. Beispielsweise hat das somatosensorische System eine dominierende Funktion „bei der Kompensation von schnellen Richtungsänderungen der Unterstützungsfläche“, wohingegen das vestibuläre System überwiegend langsame Schwankungen (unter ca. 1 Hz) gut zu kontrollieren vermag.

2.3 Posturographie

Die derzeit modernste Möglichkeit, die posturale Kontrolle einer Person zu testen, liefert das Verfahren der sogenannten *Posturographie*, welches seit ca. 20 Jahren Verwendung findet. Mit diesem Messverfahren ist es möglich, die Bewegungen des Körperdruckpunktes zu messen: „Bewegungen werden dabei mithilfe von Dehnungsmessstreifen oder piezoelektrischen Widerständen aufgezeichnet. Dies geschieht über die auf die Kraftmessplatte einwirkenden vertikalen Kräfte.“ (Bauer, Gröger, Rupprecht, Tibesku & Gaßmann, 2010, S. 245)

Die ersten wissenschaftlichen Tests, welche sich mit dem Standgleichgewicht eines Menschen beschäftigten, werden laut Bös (2001) zurückgeführt auf den sogenannten Romberg-Test, welcher im Jahr 1853 von Romberg entwickelt worden ist. Im Zuge dieses Tests, welcher ausschließlich aus einer subjektiven Beurteilung heraus durchgeführt wird und damit nicht den heutigen wissenschaftlichen Gütekriterien entspricht, wurden Patienten im aufrechten, beidbeinigen Stand mit nach vorne ausgestreckten Händen und mit geschlossenen Augen getestet. Dabei bekam die Testperson die Anweisung, so ruhig wie möglich stehen zu bleiben. Dieser Test war vor allem dazu geeignet, um Einschränkungen in der posturalen Balance einer Person feststellen zu können, falls diese extremen Körperschwankungen ausgesetzt war bzw. zum Stürzen tendierte. Ein weiteres Beispiel, um die Gleichgewichtsfähigkeit einer Person auf subjektive Art und Weise abschätzen zu können, wäre der Einbeinstand mit offenen und geschlossenen Augen. Bei diesen und vielen weiteren Tests dieser Art handelt es sich um nicht-apparative Verfahren (Bös, 2001).

Die ersten objektiven Messgeräte wurden erst mehr als hundert Jahre später entwickelt, als zum ersten Mal apparative Verfahren in Form von Kraftmessplatten zum Einsatz kamen, um beispielsweise beim Romberg-Test die Körperschwankungen quantifizieren zu können (Bös, 2001).

Browne und O'Hare (2001) treffen bei der Beurteilung der Standbalance mithilfe posturographischer Untersuchungen eine Einteilung in zwei Kategorien: Die beiden Autoren unterscheiden zwischen „Functional Assessment of Standing Balance“ und „Physiological Assessment of Balance“. Erstere sind einfacher durchzuführen und man benötigt geringen finanziellen Aufwand. Einige Beispiele wären neben dem Einbeinstand mit geschlossenen Augen auch der Functional Reach Test und der Berg Balance Test, welche vor allem bei älteren, sturzgefährdeten Personen, sowie bei erkrankten Personen (z. B. Parkinson) Verwendung finden, um deren Sturzrisiko einschätzen zu können.

Weitaus genauer und in der Durchführung und Auswertung wesentlich komplexer sind allerdings jene Testverfahren, welche zur Kategorie „Physiological Assessment of Balance“ gehören. Dazu zählen Browne und O'Hare (2001) beispielsweise die „static force platforms“ und die „dynamic force platforms“, welche es in den unterschiedlichsten Ausführungen gibt. Letztere können die spontanen Körperschwankungen messen und Auskunft geben, zu welchen Anteilen die posturalen Teilsysteme zum Einsatz kommen.

Mittlerweile gibt es also eine Vielzahl an posturographischen Messgeräten, welche allesamt unterschiedliche Messparameter berechnen können. Einer der bekanntesten Parameter der Posturographie ist der sogenannte „Centre of Pressure Track“ (COPT). Moderne Geräte zeichnen mittels Drucksensoren die spontanen Körperschwankungen auf, indem die Projektion des Druckmittelpunkts auf die Standfläche kontinuierlich registriert wird. Das endgültige Resultat ist also der gesamte Schwankungsweg. In diesem Zusammenhang lässt sich auch die Schwankungsfläche der Trajektorie, welche der Druckmittelpunkt während der Testung beschreibt, berechnen (Timmann-Braun, 2012).

Dieser Parameter wird im Zuge der vorliegenden Diplomarbeit auch als „Range of Motion“ (ROM) bzw. Bewegungsfläche bezeichnet, welcher die äußeren Konturen des COPT beschreibt (Sense Product, 2016).

Des Weiteren können laut Timmann-Braun (2012) u.a. auch die Vorzugsrichtung der Körperschwankungen, der Frequenzbereich (mittels Fourieranalyse) sowie die mittlere Geschwindigkeit der Körperschwankungen bestimmt werden. Diese zuletzt genannten Parameter besitzen im Hinblick auf die vorliegende Diplomarbeit allerdings keine Relevanz. Der Fokus dieser Arbeit wird ausschließlich auf den COPT bzw. auf den ROM gelegt.

2.3.1 Statische und dynamische Erfassung der posturalen Kontrolle

Während bei ärztlichen Untersuchungen älterer Personen meist ausschließlich klinische Tests durchgeführt werden, wie z. B. der „Romberg-Test“, kommen in der Wissenschaft und bei Untersuchungen von Athletinnen und Athleten biomechanische Messgeräte zum Einsatz, wie Turbanski und Schmidtbleicher (2010, S. 123) näher ausführen:

„In der Regel kommt hier die Posturographie zur Anwendung, die über sensible Kraftsensoren in den Eckpunkten der Standfläche den Verlauf des Druckmittelpunktes (COP = Centre of Pressure) auf der Unterstützungsfläche registriert. Im klinischen und therapeutischen Alltag sowie in zahlreichen Studien und Publikationen erfolgt somit die Quantifizierung der posturalen Kontrolle über die Analyse in einer statischen Messbedingung, in der die Probanden über einen

definierten Zeitraum ohne externe Störgrößen so ruhig wie möglich in einer standardisierten Standposition (ein- oder beidbeinig) verharren.“

In diesem Zusammenhang unterscheidet Timmann-Braun (2012) zwischen der *statischen und dynamischen Posturographie*. Bei der statischen Posturographie können die spontanen Körperschwankungen im ruhigen, aufrechten Stand erfasst werden. Die Messung findet auf einem Untergrund statt, welcher fest und unbewegt ist. Die dynamische Posturographie hingegen ermöglicht eine Messung der Körperschwankungen auf einer beweglichen Plattform.

Das Wort „statisch“ bezieht sich also nur auf das Fehlen von äußeren Störgrößen. Selbstverständlich handelt es sich beim ruhigen Stehen auf einer unbeweglichen Plattform ebenso um einen dynamischen Prozess, da der Körper stets kleinen Körperschwankungen ausgesetzt ist, die er versucht – sowohl bewusst, als auch unbewusst – auszugleichen (Turbanski & Schmidtbleicher, 2010).

Laut Timmann-Braun (2012) ist es bei posturographischen Messungen oft üblich verschiedene Testsituationen unterschiedlicher Schwierigkeitsgrade herzustellen. Eine Testung kann beispielsweise im aufrechten Stand bei offenen bzw. geschlossenen Augen durchgeführt werden, um den Einfluss des visuellen Systems zu untersuchen. Diese beiden Bedingungen gelten als Standardbedingungen der statischen Posturographie. Weiters kann aber auch die Bodenbeschaffenheit verändert werden, z. B. durch den Einsatz einer Schaumstoffmatte:

„Durch den Vergleich ‚Stehen auf festem Untergrund‘ und ‚auf Schaumstoff‘ kann der Einfluss somatosensibler Afferenzen erfasst werden. Beim Stehen auf Schaumstoff wird der Einfluss somatosensibler Afferenzen auf die Standsicherheit vermindert. Durch zusätzlichen Augenschluss können somatosensible und visuelle Afferenzen nicht mehr verlässlich zur Stabilisation genutzt werden. Die Standsicherheit hängt unter dieser Bedingung von der Funktion des vestibulären Systems ab.“ (Timmann-Braun, 2012, S. 114)

2.3.2 Vergleich aktueller Messverfahren

Um wissenschaftliche Erkenntnisse zur posturalen Kontrolle und deren Parameter zu gewinnen, wurden bereits viele Studien durchgeführt, bei denen mit unterschiedlichen Messverfahren gearbeitet wurde. Ein paar dieser Messverfahren werden nun näher vorgestellt.

Tetrax®

Das posturographische Messgerät Tetrax® wurde zur Testung der statischen Haltungskontrolle entwickelt. Mithilfe dieses Geräts können die vertikalen Druckschwankungen sowie die visuellen, vestibulären und somatosensorischen Inputs gemessen werden (Akkaya et al., 2015).

Akkaya et al. (2015) führen außerdem an, dass eine Testreihe insgesamt aus acht verschiedenen Einzelmessungen mit unterschiedlichen Bedingungen besteht. Eine Einzelmessung dauert 40 Sekunden, dabei stehen die Probandinnen und Probanden im aufrechten, beidbeinigen Stand auf einer gekennzeichneten Standplattform (Abb. 8), welche sich nicht bewegt. Alle acht Testbedingungen unterscheiden sich voneinander (offene / geschlossene Augen, Kopfhaltung gerade / zur Seite / nach unten gebeugt, etc.). Mithilfe eines Computers können die an sich zuverlässigen Daten aufgezeichnet und verglichen werden.



Abb. 8: Tetrax Static Posturography (Akkaya et al., 2015, S. 896)

Biodex Stability System®

Eine weitere Möglichkeit, um die posturale Stabilität einer Person zu testen und gegebenenfalls eine Gleichgewichtsstörung zu quantifizieren, stellt das Biodex Stability System® dar (Strobel, 2009).



Abb. 9: Biodex Stability System (Strobel, 2009, S. 7 & 14)

Im Gegensatz zu anderen Geräten, welche über Kraftmessplatten verfügen, stehen die Probandinnen und Probanden bei diesem Gerät auf einer kreisförmigen Plattform, welche in der anterior-posterioren und medial-lateralen Richtung frei beweglich ist (Arnold & Schmitz, 1998).

Auf dem Biodex Stability System kann die dynamische posturale Balance sowohl im beidbeinigen, als auch im einbeinigen Stand getestet bzw. trainiert werden. Die Stabilität der Plattform kann variiert werden, somit können verschiedene Schwierigkeitsgrade bestimmt werden. Insgesamt verfügt das Gerät über acht verschiedene Schwierigkeitsstufen. Stufe 1 stellt die höchste Schwierigkeitsstufe dar, während Stufe 8 die höchste Stabilität aufweist. Die Plattform lässt eine Neigung bis zu 20° zu. In einer Testperiode von 20 Sekunden müssen die Testpersonen versuchen, ihren Centre of Pressure innerhalb einer bestimmten Balancezone auf dem Monitor des Systems zu halten. Als Testergebnis werden drei verschiedene Stabilitätsindizes (MLSI = medial-lateral stability index; APSI = anterior-posterior stability index; OSI = overall stability index) berechnet (Karimi et al., 2008).

NeuroCom EquiTest®

Die statische bzw. dynamische Posturographie hat sich vor allem im klinischen Kontext zu einem wichtigen Instrument entwickelt, um verschiedene Aspekte der Standsicherheit einer Person messbar machen zu können (Timmann-Braun, 2012).

Auf dem EquiTest® Balance Master der Firma NeuroCom® kann u. a. ein sogenannter Sensory Organisation Test (SOT) durchgeführt werden, bei dem Auskunft über den Einfluss des visuellen, vestibulären und somatosensorischen Systems auf die Standsicherheit gegeben werden soll. Der Computer berechnet dabei nach jeder Messung einen „Gesamtscore“ (equilibrium score), der die Qualität der Gleichgewichtsleistung widerspiegelt (Chaudhry et al., 2004).

Der SOT besteht aus sechs Testbedingungen, bei denen auf einer Kraftmessplatte die einwirkenden vertikalen Kräfte gemessen werden können. Jede der sechs Testbedingungen wird jeweils dreimal mit einer Testdauer von je 20 Sekunden durchgeführt (Ray et al., 2008).



Abb. 10: NeuroCom EquiTest System (Chaudhry et al., 2011, S. 84)

Wie in Abbildung 10 ersichtlich, stehen die Probandinnen und Probanden im aufrechten Stand auf einer Plattform und haben ihren Blick auf die künstliche Umgebungsfläche gerichtet. Sie werden ebenfalls mit offenen bzw. geschlossenen Augen getestet. Darüber hinaus können sowohl die Standfläche, als auch die künstliche Umgebungsfläche beweglich gemacht werden. Durch das Bewegen der Umgebungsfläche, welche den spontanen Körperschwankungen entsprechen, können die somatosensorischen Inputs ausgeschaltet werden. Diese Testbedingung entspricht in etwa dem Stehen auf einer Schaumstoffmatte (Timmann-Braun, 2012).

Sense wave medical®

Seit August 2015 wird ein Gerät mit dem Namen Sense wave medical® in der Abteilung für Trainingswissenschaft am Zentrum für Sportwissenschaft und Universitätssport in 1150 Wien, Auf der Schmelz, betrieben, welches es in Zukunft möglich macht Tests hinsichtlich der statischen und dynamischen posturalen Stabilität durchzuführen, um möglichst objektive und zuverlässige Ergebnisse zu generieren. Darüber hinaus verfügt das Gerät auch über einen Trainingsmodus, bei dem in verschiedenen Schwierigkeitsstufen die posturale Stabilität verbessert werden kann.



Abb. 11: Sense wave medical (Sense Product, 2016)

Im Gegensatz zu den oben angeführten Geräten verfügt dieses Testgerät über eine etwas andere Messtechnologie. Weitere Details zur Technologie sowie zu den Parametern COPT und ROM, welche im Zuge der Auswertung der Tests für diese Diplomarbeit herangezogen worden sind, werden im Kapitel 4 näher vorgestellt.

2.4 Aktueller Forschungsstand

Speziell im englischsprachigen Raum wurden bereits viele Studien veröffentlicht, welche mithilfe unterschiedlichster posturographischer Messverfahren durchgeführt wurden. Einige dieser Studien werden im Folgenden näher vorgestellt. Daraus ergeben sich die Forschungsfragen dieser Diplomarbeit.

2.4.1 Studien zum Einfluss der Anthropometrie auf die posturale Kontrolle

In einigen Studien verschiedener Autoren wurden Zusammenhänge zwischen Parametern der posturalen Stabilität und anthropometrischen Faktoren, z.B. Körpergewicht, Körpergröße und Body-Mass-Index, festgestellt.

Alonso et al. (2012) testeten bei ihren posturographischen Untersuchungen jeweils 50 männliche und 50 weibliche Personen im Alter von 20 bis 40 Jahren und konnten feststellen, dass vor allem die Körpergröße die posturale Balance am meisten beeinflusst.

In ihren weiteren Untersuchungen versuchten Alonso et al. (2015) Zusammenhänge zwischen sensorischen und anthropometrischen Variablen im ruhigen, aufrechten Stand festzustellen. Sie kamen zum Ergebnis, dass vor allem beim Wegfallen der visuellen Information die Körpermaße eine erheblichere Rolle spielen. Insbesondere wird die posturale Balance – wie bereits oben erwähnt – am meisten von der Körpergröße beeinflusst, während die Körperzusammensetzung (z.B. Körperfettanteil) bei geschlossenen Augen weniger Einfluss hat.

Hue et al. (2007) haben bei ihren Untersuchungen 59 männliche Personen mit einem BMI im Bereich von 17,4 bis 63,8 kg/m² getestet, um herauszufinden, ob es Zusammenhänge zwischen Körpergewicht und posturaler Stabilität gibt. In ihren Ergebnissen zeigte sich, dass sich mit zunehmendem Körpergewicht die posturale Stabilität signifikant verschlechtert.

Greve, Alonso, Bordini und Camanho (2007) konnten in ihrer Studie zeigen, dass sich ein erhöhter BMI negativ auf die posturale Haltung auswirkt. Dies wurde bei männlichen Probanden im einbeinigen Stand untersucht. Ebenso konnte bei weiterführenden Studien gezeigt werden, dass es neben dem BMI auch moderate Zusammenhänge hinsichtlich der Körpergröße gibt (Greve, Cuğ, Dülgeroğlu, Brech & Alonso, 2013).

Hinsichtlich Body-Mass-Index kamen Ku, Abu Osman, Yusof und Wan Abas (2012) zu dem Schluss, dass der BMI Einfluss auf die posturale Balance beim einbeinigen und beidbeinigen Stehen hat.

2.4.2 Studien über Zusammenhänge zwischen statischer und dynamischer posturaler Kontrolle

Bei den Untersuchungen von Karimi und Solomonidis (2011) absolvierten die Probandinnen und Probanden sowohl einen Test im ruhigen Stand, als auch einen Test mit dynamischen Elementen. Die Autoren konnten in ihren Untersuchungen keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den Parametern der statischen und dynamischen Stabilität feststellen.

Auch Sell (2012) ist der Meinung, dass es keine signifikanten Zusammenhänge zwischen statischer und dynamischer posturaler Stabilität gibt.

Turbanski und Schmidbleicher (2010) versuchten ebenfalls statische und dynamische Messbedingungen miteinander zu vergleichen. Sie fanden heraus, dass Probandinnen und Probanden, welche gute Ergebnisse beim statischen Test aufwiesen, keine vergleichbar guten Ergebnisse bei einer dynamischen Testsituation erzielen konnten. Somit scheint es keine Übertragbarkeit von statische auf dynamische Messsituationen zu geben, weshalb die beiden Autoren auch die Aussagekraft der statischen Posturographie, insbesondere hinsichtlich des Sturzrisikos einer älteren Person, anzweifeln. Für die Ermittlung des Sturzrisikos sind daher dynamische Messbedingungen zu bevorzugen.

2.4.3 Studien zum Einfluss des visuellen Systems auf die Haltungskontrolle

Redfern, Yardley und Bronstein (2001) sind der Ansicht, dass dem visuellen System eine besonders hohe Bedeutung für die Aufrechterhaltung der Haltungskontrolle zukommt. Beispielsweise konnten Bouchard und Tétreault (2000) allgemein festhalten, dass bei Kindern im Alter von 8 bis 13 Jahren, welche unter einer Beeinträchtigung des Sehvermögens leiden, eine verschlechterte Balancefähigkeit, speziell das Halten der Standposition betreffend, festgestellt werden konnte.

Palm, Strobel, Achatz, von Luebken und Friemert (2009) testeten in ihrer Studie 23 Testpersonen auf dem Biodex Stability System. Sie betrachteten u.a. die Unterschiede beim aufrechten, bipedalen Stand mit offenen bzw. geschlossenen Augen. Dabei konnten sie signifikante Unterschiede hinsichtlich der Stabilitätsindizes feststellen. Während bei der Testung mit offenen Augen die Indizes OSI, APSI und MLSI sehr geringe Werte (2,2; 1,6; 1,1) annahmen, waren die Werte bei der Testung mit geschlossenen Augen ca. dreimal so hoch.

Zu einem interessanten Ergebnis kamen auch Lee und Scudds (2003) in ihrer durchgeführten Studie mit 66 älteren Personen, bei der die Balancefähigkeit von Personen mit bzw. ohne visuelle Beeinträchtigung überprüft wurde. Darin konnte gezeigt werden, dass mit erhöhter Beeinträchtigung des visuellen Systems, insbesondere der Sehschärfe, eine erheblichere Verschlechterung der Haltungskontrolle einher geht.

Ray et al. (2008) haben in ihrem Artikel ebenfalls die Auswirkungen des Verlusts des Sehvermögens auf die posturale Stabilität mithilfe des Sensory Organisation Tests untersucht. Sie kamen zum Ergebnis, dass Personen mit beeinträchtigtem Sehvermögen ein wesentlich schlechteres Gesamtergebnis hinsichtlich der posturalen Stabilität erzielten. Während es auf festem Untergrund keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen gibt, beziehen sich die Unterschiede vor allem auf jene Testsituationen, bei denen der Untergrund frei beweglich ist. Die Studie zeigt sehr eindeutig, dass Personen mit eingeschränktem Sehvermögen auf beweglichem Untergrund nicht in der Lage sind den Ausfall des visuellen Systems mithilfe der anderen beiden Systeme zu kompensieren und dass diese in weiterer Folge verstärkt die Hüftgelenksstrategie einsetzen, um die posturale Stabilität aufrecht zu erhalten.

Auch Hafström, Fransson, Karlberg, Ledin und Magnusson (2002) konnten zeigen, dass durch das Fehlen des visuellen Feedbacks, zum Beispiel durch geschlossene Augen oder Dunkelheit, viel höhere Körperschwankungen im aufrechten, ruhigen Stand registriert wurden.

2.4.4 Studien zum Einfluss des somatosensorischen Systems auf die posturale Kontrolle

Neben dem visuellen und vestibulären System hat auch das somatosensorische System einen wesentlichen Einfluss auf die Haltungskontrolle. Laut Grace Gaerlan, Alpert, Cross, Louis und Kowalski (2012) kann durch gezieltes Training dieses System gestärkt werden. Dies hat zur Folge, dass die posturale Kontrolle bis ins höhere Alter bzw. auch unter herausfordernden Situationen länger aufrechterhalten werden kann.

Bei den Untersuchungen von Baltich et al. (2014) wurde u.a. eine Testung mit offenen Augen auf hartem Untergrund sowie auf einem Untergrund mit Schaumstoffmatte durchgeführt. Es zeigten sich signifikante Unterschiede hinsichtlich der Werte der Strecke des Druckmittelpunkts. Bei der Verwendung der Schaumstoffmatte, welche die somatosensiblen Afferenzen reduziert, konnten deutlich höhere COPT-Werte festgestellt werden. Dies unterstreicht die Wichtigkeit der Sensoren in den Fußgelenken.

3 Forschungsfragen

Die Auswertung der gesamten Daten bietet zahlreiche Möglichkeiten, um qualitativ hochwertige und zuverlässige Aussagen zu treffen. Dementsprechend groß ist auch die Anzahl möglicher Fragestellungen, die zu dieser Thematik formuliert werden können. Hinsichtlich der vier Kapitel des aktuellen Forschungsstands ergeben sich für diese Diplomarbeit die folgenden vier Unterkapitel zur Formulierung der konkreten Forschungsfragen.

3.1 Fragen zum Einfluss der Anthropometrie

Wie bereits in der Einleitung erwähnt stellt sich die Frage, ob es Zusammenhänge gibt zwischen anthropometrischen Parametern und jenen Parametern, welche Auskunft über die statische bzw. dynamische posturale Stabilität geben. Diesbezüglich werden die folgenden vier Forschungsfragen formuliert:

- Gibt es einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Körpergewicht und der Strecke des Druckmittelpunkts (COPT)?
- Gibt es einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Körpergewicht und der Bewegungsfläche (ROM)?
- Besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen Körpergröße und COPT?
- Besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen Körpergröße und ROM?

3.2 Fragen zu Unterschiede bzw. Zusammenhänge zwischen statischer und dynamischer posturaler Stabilität

Da bei der gesamten Testmethodik zunächst vier statische und gleich darauf vier dynamische Messungen durchgeführt wurden, gilt es in diesem Kapitel die Unterschiede bzw. Zusammenhänge zwischen diesen beiden Messbedingungen zu überprüfen. Die konkreten Fragestellungen lauten dazu folgendermaßen:

- Gibt es Unterschiede hinsichtlich der Werte des COPT bei Messung 1 (statisch, Augen offen) und bei Messung 5 (dynamisch, Augen offen)? Wie unterscheiden sich die Werte der Messungen 2 und 6, 3 und 7 sowie 4 und 8?
- Gibt es Unterschiede hinsichtlich der Werte des ROM bei Messung 1 und 5, 2 und 6, 3 und 7 sowie 4 und 8?

- Besteht ein linearer Zusammenhang hinsichtlich COPT zwischen Messung 1 und Messung 5?
- Besteht ein linearer Zusammenhang hinsichtlich ROM zwischen Messung 1 und Messung 5?

3.3 Fragen zum Einfluss des visuellen Systems

In weiterer Folge werden die Werte jener statischen bzw. dynamischen Testsituation miteinander verglichen, bei denen die Probandinnen und Probanden mit offenen bzw. geschlossenen Augen auf der Standplattform des Geräts stehen. Die passenden Forschungsfragen lauten dazu folgendermaßen:

- Gibt es Unterschiede hinsichtlich der Werte des COPT bei Messung 1 (statisch, Augen offen) und bei Messung 2 (statisch, Augen geschlossen)?
- Gibt es Unterschiede hinsichtlich der Werte des ROM bei den Messungen 1 und 2?
- Unterscheiden sich die Werte des COPT bei Messung 5 (dynamisch, Augen offen) von den Werten des COPT bei Messung 6 (dynamisch, Augen geschlossen)?
- Unterscheiden sich die Werte des ROM bei Messung 5 von den Werten des ROM bei Messung 6?

3.4 Fragen zum Einfluss des somatosensorischen Systems

Zu guter Letzt soll geklärt werden, ob bzw. wie sich die Werte des COPT bzw. ROM durch das Stehen auf einer 40mm dicken Schaumstoffmatte verändern. Folgende Forschungsfragen ergeben sich daraus:

- Gibt es Unterschiede hinsichtlich der Werte des COPT bei Messung 1 (statisch, Augen offen) und bei Messung 3 (statisch, weicher Untergrund, Augen offen)?
- Gibt es Unterschiede hinsichtlich der Werte des ROM bei den Messungen 1 und 3?
- Unterscheiden sich die Werte des COPT bei Messung 5 (dynamisch, Augen offen) von den Werten des COPT bei Messung 7 (dynamisch, weicher Untergrund, Augen offen)?
- Unterscheiden sich die Werte des ROM bei Messung 5 von den Werten des ROM bei Messung 7?

4 Methodik

Im Folgenden wird die Methodik dieser vorliegenden Studie ausführlich beleuchtet. Dabei wird auf die Auswahl der Probandinnen und Probanden näher eingegangen sowie auf deren Ein- und Ausschlusskriterien. Danach erfolgt eine Gerätebeschreibung des Messgeräts „Sense wave medical“ und dessen genaue Funktionsweise. Außerdem wird der Ablauf einer Messung genauer beschrieben. Es folgt eine Erklärung der einzelnen Messparameter, welche durch „Sense wave medical“ berechnet werden können. Im abschließenden Teil der Methodik wird über die statistische Datenauswertung mittels SPSS Auskunft gegeben.

4.1 Probandinnen und Probanden

Insgesamt wurden 114 Probandinnen und Probanden getestet, davon 68 Probanden und 46 Probandinnen, und für die Auswertung herangezogen.

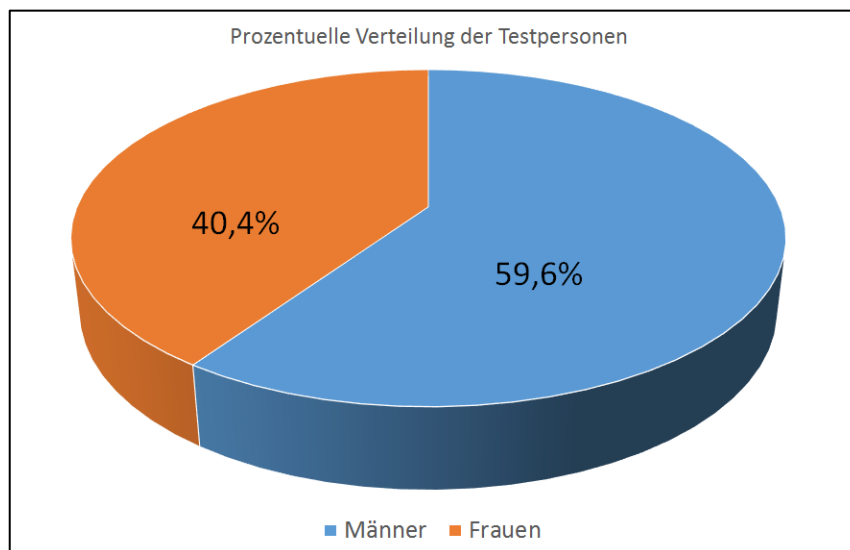


Abb. 12: Prozentuelle Verteilung der Testpersonen

Bei allen Probandinnen und Probanden handelt es sich um junge, gesunde Personen. Unter ihnen befinden sich 31 Sportstudentinnen und 58 Sportstudenten, welche gerade ein Studium am Zentrum für Sportwissenschaften und Universitätssport in Wien absolvieren.

Die folgende Tabelle soll einen Überblick über die anthropometrischen Daten der Probandinnen und Probanden geben:

Tab. 2: Anthropometrische Daten der Testpersonen

Männlich (n=68)	Mittelwert	±Std	Min	Max
Alter (Jahre)	24,1	3,5	19	35
Größe (cm)	180,1	6,4	163	199
Gewicht (kg)	75,1	7,7	58,0	92,0
Weiblich (n=46)	Mittelwert	±Std	Min	Max
Alter (Jahre)	22,3	3,5	18	33
Größe (cm)	165,5	5,8	151	176
Gewicht (kg)	59,4	6,1	48	72

Alle Testpersonen hatten freiwillig an der Studie teilgenommen. Sie wurden vor Testbeginn ausführlich über den Sinn und Zweck der Studie sowie über den Ablauf der Testung informiert.

4.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Grundvoraussetzung für die Teilnahme an der Testung war, dass die Probandinnen und Probanden in gesundem, ausgeschlafenen und unbelastetem Zustand erschienen, sowie ein Mindestalter von 18 Jahren.

Jeder junge Erwachsene im Alter von 18 bis 35 Jahren konnte an den Testungen teilnehmen, vorausgesetzt, dass zum Zeitpunkt der Testung keine akute Verletzung bzw. Krankheit vorlag. Jede Person musste am Tag der Testung voll belastbar, also ohne physische und psychische Probleme bzw. Einschränkungen, sein. Außerdem wurden keine stark übergewichtigen Personen für die Testung ausgewählt. Der Body-Mass-Index der Probandinnen und Probanden durfte den Wert 30 nicht übersteigen.

Um für die Auswertung herangezogen zu werden, mussten alle acht Einzelmessungen fehlerfrei durchgeführt werden. Bei schwerwiegenden Gleichgewichtsstörungen wurde die Testung abgebrochen. Dies war insbesondere dann der Fall, wenn eine der acht Einzelmessungen, aufgrund von Balanceverlust bzw. Verlassen der Standplattform, zweimal hintereinander abgebrochen wurde.

4.3 Messdatenerhebung

Wie bereits erwähnt, erfolgte die Messdatenerhebung mithilfe des Geräts Sense wave medical®, welches im Labor der Abteilung für Trainingswissenschaft am Zentrum für Sportwissenschaft und Universitätssport von der Firma Sense Product® zur Verfügung gestellt wurde. Bei diesem Gerät handelt es sich um ein topmodernes Standgerät, welches laut Hersteller die Daten folgendermaßen erhebt:

„Eine dreidimensional bewegliche, schwebende (statisch/dynamisch) Sensorplattform, die mit über 5300 hochsensiblen Drucksensoren ausgestattet ist, misst die Druckpunkte an der Sohle und visualisiert diese in Echtzeit.“ (Sense Product, 2016)



Abb. 13: Aufbau der Technologie des Geräts (Sense Product, 2016)

Die Steuerung des Geräts erfolgt über einen Touchscreen-Monitor (Abb. 14). Zu Beginn gibt der Testleiter die Nummer der Testperson ein, welche bereits im Online-Fragebogen zugewiesen wurde. Danach öffnet sich ein Testprogramm, mit welchem die Testung in einem standardisierten Ablauf durchgeführt werden kann. Für den Testleiter lassen sich somit gezielt die Messungen starten, er bekommt Rückmeldung, wann die Messung aktiv bzw. beendet ist und es werden auch immer die notwendigen Pausenzeiten angezeigt. Vor jeder Einzelmessung wird die genaue Testbedingung (statisch/dynamisch, Augen offen/geschlossen, mit/ohne Schaumstoffmatte) angezeigt. Während einer Messung bekommt der Testleiter lediglich Informationen über die Standposition der Testperson. Dabei sieht man in Echtzeit, welches Bein bzw. welcher Bereich der Fußsohle am meisten belastet wird. Sämtliche andere Parameter können erst im vollständigen Testbericht,

welcher vom Gerät automatisch an den Computer gesendet wird, herausgelesen und interpretiert werden.



Abb. 14: Die Software des Geräts (Sense Product, 2016)

4.4 Aufbau einer Messreihe

Eine Messreihe besteht insgesamt aus acht fehlerfrei durchgeführten Messungen mit unterschiedlichen Messbedingungen, davon entfallen vier Messungen auf die statische und vier Messungen auf die dynamische Posturographie (Tab.3).

Bei den vier statischen Einzelmessungen wurde die Standplattform mit Hilfe von Kipphebel fixiert. Dadurch wurde das beidbeinige Stehen auf festem Untergrund garantiert. Die vier dynamischen Einzelmessungen wurden durch das Lösen der Kipphebel auf einer nun in allen Richtungen beweglichen Standplattform durchgeführt.

Tab. 3: Beschreibung der acht Einzelmessungen

	Beschreibung der Einzelmessung	Abkürzung
1.Messung	Statisch, harter Untergrund, Augen offen	Stat., open
2.Messung	Statisch, harter Untergrund, Augen geschlossen	Stat., closed
3.Messung	Statisch, 40mm-Schaumstoff, Augen offen	Stat., foam, open
4.Messung	Statisch, 40mm-Schaumstoff, Augen geschlossen	Stat., foam, closed
5.Messung	Dynamisch, harter Untergrund, Augen offen	Dyn., open
6.Messung	Dynamisch, harter Untergrund, Augen geschlossen	Dyn., closed
7.Messung	Dynamisch, 40mm-Schaumstoff, Augen offen	Dyn., foam, open
8.Messung	Dynamisch, 40mm-Schaumstoff, Augen geschlossen	Dyn., foam, closed

4.5 Ablauf einer Messreihe

Der Ablauf einer gesamten Referenzmessung gestaltete sich folgendermaßen: Zu Beginn wurden die Daten der Probandinnen und Probanden in einem standardisierten Online-Fragebogen der Firma Sense Product aufgenommen. Darin wurden das Geburtsdatum, das Körpergewicht, die Körpergröße und die Schuhgröße notiert. Das Körpergewicht und die Körpergröße wurden mithilfe des Messgeräts „Seca“ ermittelt. Des Weiteren mussten die Probandinnen und Probanden anhand genauer Fragestellungen bestätigen, dass zum Zeitpunkt der Messung keinerlei Störungen bzw. Krankheiten vorlagen. Ebenfalls musste bestätigt werden, dass keine Medikamente eingenommen wurden, welche Einfluss auf die posturale Kontrolle haben könnten. Schließlich wurde auf die Bewegungsbiographie und auf sämtliche weitere Eigenschaften und Erfahrungen, wie z. B. Dominanz einer Hand, Dominanz eines Beins, Erfahrung mit Balanceübungen, etc., eingegangen, welche für die Auswertung dieser Arbeit jedoch nicht berücksichtigt wurden.

Danach begann das Kennenlernen und Ausprobieren des Testgeräts, indem sich die Testpersonen ca. 30 Sekunden lang auf die fixierte Standplattform stellen konnten. Während die Probandinnen und Probanden auf der Standplattform des Geräts standen, wurde erklärt wie lange eine Messung jeweils dauert bzw. wie der Ablauf der einzelnen Messungen erfolgt.

Schließlich wurden die acht Einzelmessungen durchgeführt. Jede Einzelmessung dauerte jeweils 30 Sekunden. Nach jeder Einzelmessung mussten die Probandinnen und Probanden kurz die Standplattform verlassen und eine kurze Pause einlegen. Die Pause zwischen den Einzelmessungen dauerte jeweils 15 Sekunden. In dieser kurzen Phase wurde vom Testleiter die jeweilige nächste Testbedingung vorbereitet.

Als Ausgangsstellung mussten die Probandinnen und Probanden möglichst zentral auf der Messplattform eine aufrechte Standposition einnehmen. Insbesondere war bei dieser Ausgangsstellung von zentraler Bedeutung, dass sich die Fußballen vor der Mittellinie der Sensorplatte und die Fersen hinter der Mittellinie befinden (Abb. 15), da während einer Messung die Druckverteilung getrennt für den Vorfußbereich und Fersenbereich beider Füße erfasst wird. Jede Person stand bequem und ohne Schuhe im hüftbreiten, bipedalen Stand. Die Fußspitzen sollten sich auf einer Höhe befinden. Es wurde auch darauf geachtet, dass die Arme und Hände locker neben dem Körper Richtung Boden hängen und auch die Schultern möglichst locker bleiben. Die Knie sollten weder überstreckt noch abgewinkelt sein. Als Aufgabenstellung wurde vom Testleiter vorgegeben, während der 30-Sekunden-Testung möglichst ruhig auf der Standplattform stehen zu bleiben.



Abb. 15: Standposition während einer Testung (Sense Product, 2016)

Während einer Einzelmessung durfte die Standposition nicht mehr verändert werden. Es durften die Arme, der Oberkörper und der Kopf nicht aktiv bewegt werden. Der Kopf musste aufrecht gehalten werden und der Blick richtete sich geradeaus an die ca. zwei Meter entfernte Wand. An dieser Wand sollte ein gedachter Punkt anvisiert werden. Während der Testung durfte nicht gesprochen werden. Es wurde darüber hinaus auch darauf geachtet, dass Hintergrundgeräusche im Untersuchungsraum auf ein Minimum reduziert wurden.

Unmittelbar nach der 4. Messung, also der letzten statischen Testbedingung, wurden die Kipphebel (Abb. 16) an der Außenseite der Standplattform gelöst und damit wurde eine dynamische Testbedingung hergestellt, da nun die Sensorplatte dreidimensional beweglich gemacht wurde. Diese Testbedingung wurde in weiterer Folge für die Messungen 5 bis 8 beibehalten.



Abb. 16: Fixierungsvorrichtung der Sensorplattform (links: Kipphebel eingerastet, rechts: Kipphebel gelöst) (Sense Product, 2016, eigene Darstellung)

Wie in Tabelle 3 bzw. Abbildung 17 ersichtlich, kam bei den Messungen 3 und 4 bzw. 7 und 8 eine 40mm dicke Schaumstoffmatte zum Einsatz. Diese wurde vom Testleiter jeweils in den Pausen nach der 2. Messung bzw. 6. Messung mittig auf die Standplattform platziert.



Abb. 17: Verwendung einer Schaumstoffmatte bei den Messungen 3 und 4 bzw. 7 und 8 (Sense Product, 2016)

Folgende Grafik soll den Ablauf einer gesamten Messreihe genauer veranschaulichen:

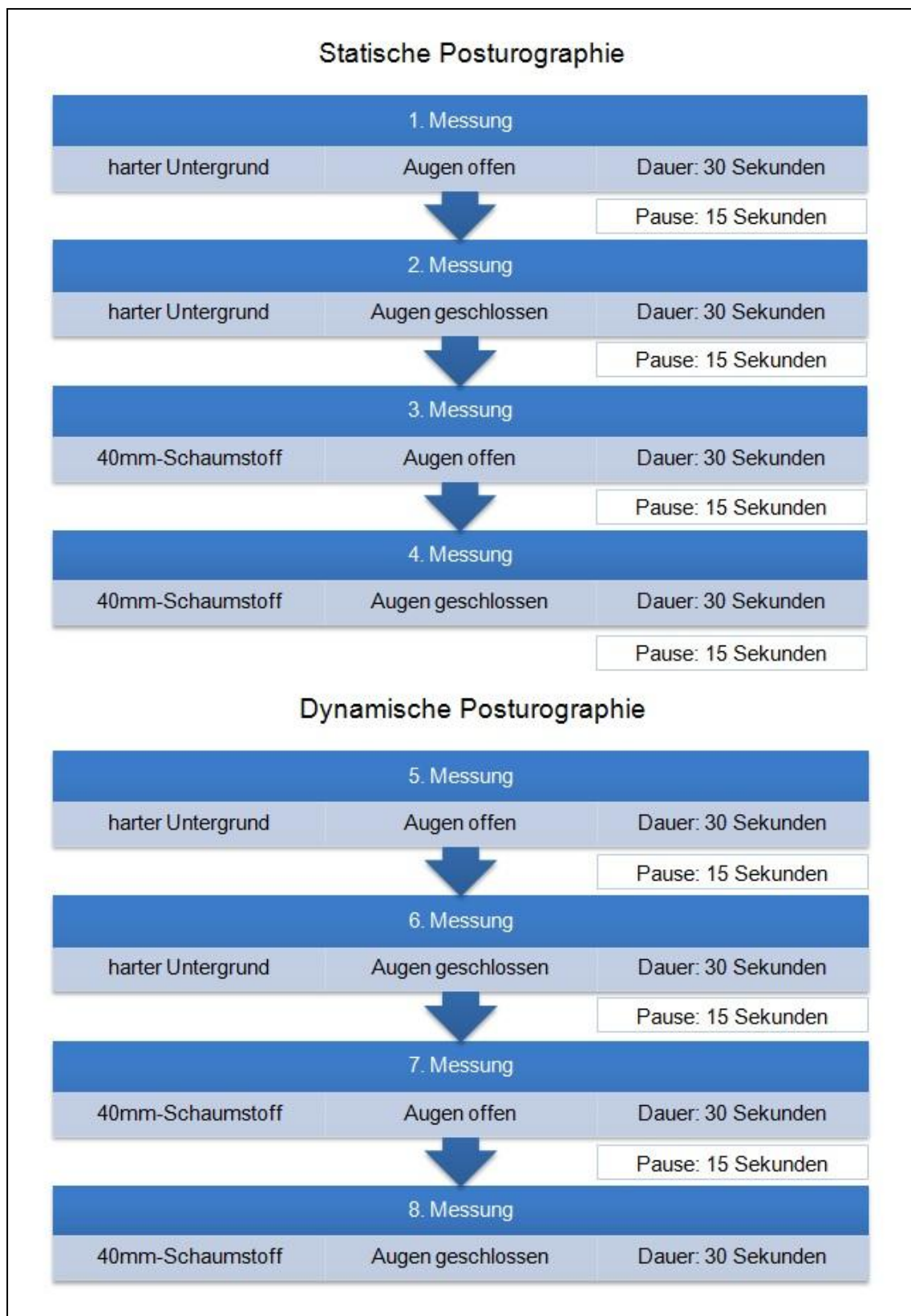


Abb. 18: Ablauf der gesamten posturographischen Messreihe

4.6 Messparameter

Das mögliche Spektrum der Messparameter, welche ausgewertet werden können, ist mittlerweile relativ groß. Anhand der folgenden Auflistung wird ersichtlich, dass mithilfe des posturographischen Diagnosegeräts „Sense wave medical“ u.a. diese Parameter berechnet werden können:

- Strecke des Druckmittelpunkts (COPT)
- Bewegungsfläche (ROM)
- Stabilitätsenergie (STEI)
- Harmonie (RQ)
- Bewegungskontrolle (zentralgesteuert/reflexgesteuert)
- Feedbackpfade der Wahrnehmung (visuell, vestibulär, somatosensorisch)
- Gewichtsverteilung (WD)

Anhand der Abbildungen 19 und 20 wird gezeigt, wie die Daten mithilfe modernster Computertechnologie ausgewertet, bzw. welche Parameter mithilfe des Testgeräts „Sense wave medical“, sowohl bei der statischen als auch bei der dynamischen Testreihe, bestimmt und graphisch dargestellt werden können.

Die darauffolgenden Unterkapitel widmen sich den beiden Parametern COPT sowie ROM, welche im Zuge der Testungen und Auswertungen für diese Diplomarbeit herangezogen werden. Neben einer kurzen Beschreibung dieser Parameter wird auch der aktuelle Stellenwert in der Wissenschaft dargelegt.

Die Ergebnisse der ersten vier statischen Testsituationen, bei denen die Kipphebel fixiert wurden und die Probandinnen und Probanden also auf festem Untergrund stehen konnten, werden vom Testgerät im folgenden Ausgabedokument angezeigt.

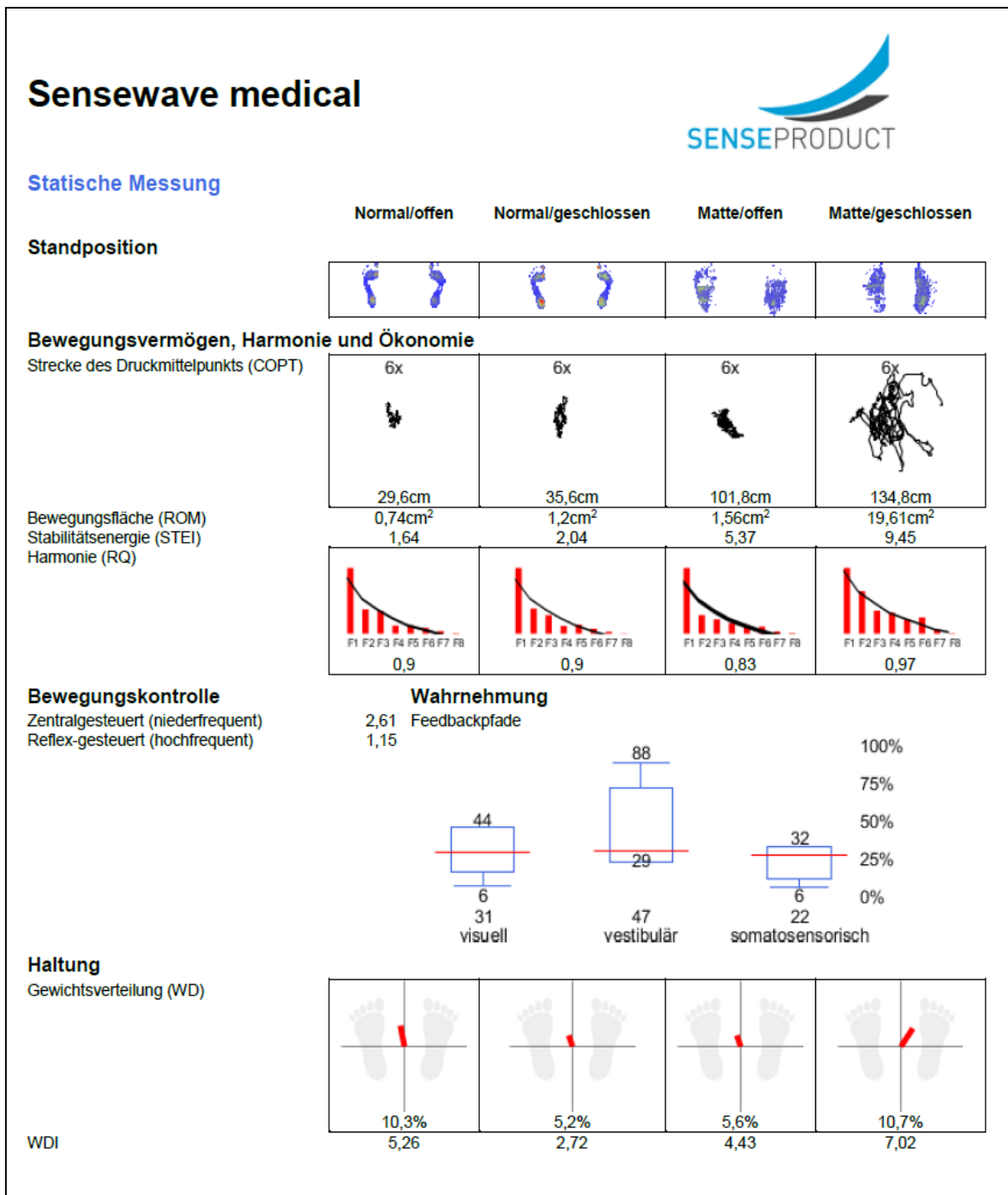


Abb. 19: Beispielhafte Auswertung einer statischen Messung (Sense wave Ausgabedokument, Sense Product, 2016, eigene Darstellung)

Die Abbildung 20 zeigt eine beispielhafte Auswertung für die vier oben beschriebenen dynamischen Testbedingungen, bei welchen die Kipphebel gelöst wurden. Kurz gesagt wurde bei diesen Messungen das Standgleichgewicht auf labilem Untergrund mit offenen bzw. geschlossenen Augen und ohne bzw. mit einer 40mm-Schaumstoffmatte getestet.

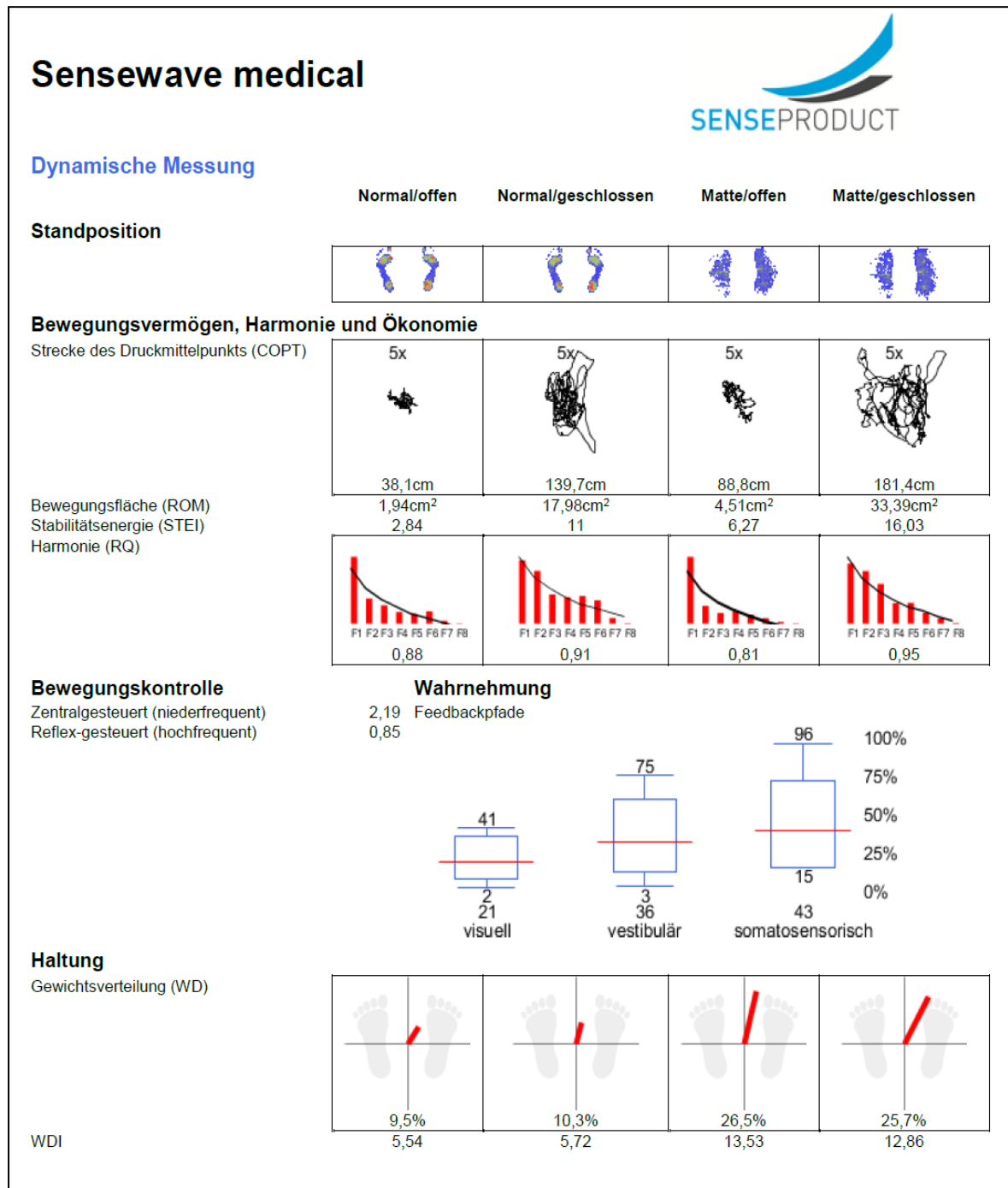


Abb. 20: Beispielhafte Auswertung einer dynamischen Messung (Sense wave Ausgabedokument, Sense Product, 2016, eigene Darstellung)

4.6.1 Strecke des Druckmittelpunkts (COPT)

Einer der wohl bekanntesten Parameter in der Posturographie ist der sogenannte *Centre of Pressure Track* (COPT), welcher – wie bereits in Kapitel 2.3 erwähnt – die Strecke des Druckmittelpunkts angibt. In der englischsprachigen Literatur wird dieser Parameter meist nur als *Centre of Pressure* (COP) bezeichnet. Doyle, Hsiao-Wecksler, Ragan und Rosengren (2007, S. 166) beschreiben in der Einleitung ihres Artikels den Stellenwert des COP in der Posturographie folgendermaßen:

„One of the most common assessment tools used to examine balance is the force platform. Balance performance as assessed by these devices is most often expressed using some form of quantification of the fluctuations in the center of pressure (COP). The COP is the single point location of the ground reaction force vector. It is a summary measure representing the movements of all of the body segments while an individual attempts to remain upright.”

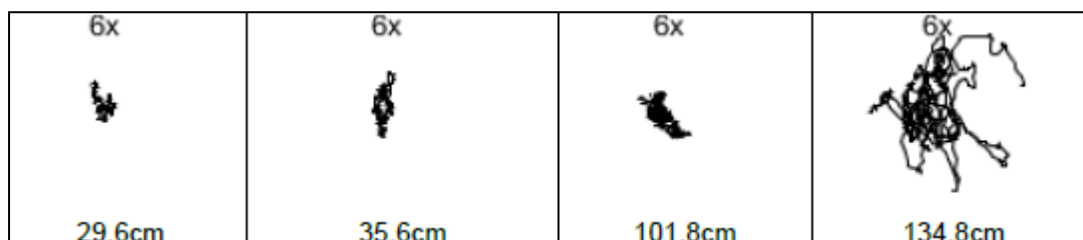


Abb. 21: Beispielhafte Auswertung des COPT der statischen Messungen mittels Testgerät *Sense wave medical* (Sense Product, 2016, eigene Darstellung)

In zahlreichen Studien (Chaudhry et al., 2011; Doyle et al., 2007; Duarte & Freitas, 2010; Lafond, Corriveau, Hébert & Prince, 2004; Santos, Delisle, Larivière, Plamondon & Imbeau, 2008) werden unterschiedliche Parameter hinsichtlich des COPT genauer beschrieben und zur Auswertung herangezogen, da vor allem die technischen Voraussetzungen der einzelnen Messsysteme variieren können. Es werden u.a. die folgenden Parameter angeführt:

- Path of COP (cm)
- Standard deviation of COP
- Mean velocity of COP (mm/s)
- Range of COP (mm)
- Sway area (mm²)
- 95% confidence ellipse area of COP

Bei den Untersuchungen von Chaudhry et al. (2011) ist oftmals die Rede von der sog. „excursion length“, dies bedeutet übersetzt, dass die Länge der Auslenkungen des Druckmittelpunkts gemessen wird. Je mehr eine Person schwankt, desto höher sind üblicherweise die unterschiedlichen Parameter des COPT.

Der COPT wird im Zuge systematischer Untersuchungen oftmals in anterior-posteriorer und in medio-lateraler Richtung gemessen (Browne, O'Hare, O'Hare, Finn & Colin, 2002). Falls der rechte bzw. linke Fuß jeweils auf einer Kraftmessplatte steht, kann der COPT auch separat für den rechten bzw. linken Fuß bestimmt werden. Falls die Probandinnen und Probanden allerdings auf einer gesamten Plattform stehen, muss der sog. kombinierte COPT herangezogen werden (Chaudhry et al., 2011).

Chaudhry et al. (2011) konnten zeigen, dass der COPT bei drei durchgeführten Messungen derselben Testbedingung oftmals schwankt. Aufgrund dieser Tatsache sind die Autoren der Ansicht, dass die alleinige Erhebung des COPT noch keine spezifischen Rückschlüsse zur Ermittlung der posturalen Kontrolle einer Person zulässt.

Im Allgemeinen scheint es also laut aktuellem Stand der Literatur keine etablierten und zuverlässigen Parameter bezüglich COPT zu geben. Das folgende Zitat unterstreicht die Schwierigkeit bei der quantitativen Analyse des COPT:

„It is also not clear from the COP studies as to which parameter(s), i.e., area, velocity, total distance, or frequency should be used to quantitatively assess balance. However, COP displacements can be used to compare balance between two different groups, such as the young and the elderly, fallers and non-fallers. Those having higher magnitudes of any of the above parameters are considered less stable.“ (Chaudhry et al., 2011, S. 84)

Auch bezüglich Reliabilität und Validität dieses Parameters ist man sich in der Forschung nicht einig. Doyle, Newton und Burnett (2005) kommen in ihren Untersuchungen zum Ergebnis, dass die traditionellen Parameter des COP mit Vorsicht betrachtet werden müssen, da deren Reliabilität nicht immer vorausgesetzt werden kann. Ebenso sind auch Santos et al. (2008) im Zuge der Einleitung ihres Artikels der Ansicht, dass es bei den Ergebnissen bezüglich Reliabilität der COP-Parameter in der Literatur oftmals Abweichungen gibt.

Die Vorstellung, wonach sich die allgemeine Gleichgewichtsfähigkeit im Sport bloß in der „Minimierung von Schwankungen über einer Unterstützungsfläche“ ausdrückt, besitzt nach Ansicht von Jendrusch und Brach (2003, S. 184) nur einen begrenzten Erklärungswert. Die beiden Autoren begründen dies anhand mehrerer Beispiele, unter anderem dass oftmals Schwankungen sogar gesucht bzw. gezielt in Kauf genommen

werden, wie dies beispielsweise beim Windsurfen der Fall ist. Darüber hinaus können Schwankungen des COPT beim aufrechten Stehen in gewisser Weise auch positiv betrachtet werden, da dies zu einem Ausloten der Stabilitätsgrenzen führt.

4.6.2 Bewegungsfläche (ROM)

Wie bereits in Kapitel 2.3 kurz beschrieben, handelt es sich beim *Range of Motion* (ROM) um die Bewegungsfläche bzw. Schwankungsfläche, die der äußeren Kontur des COPTs entspricht (Timmann-Braun, 2012).

Für diesen Parameter werden im englischsprachigen Raum u. a. auch die Begriffe „sway area“ bzw. „total area of COP“ verwendet (Doyle et al., 2005; Lafond et al., 2004). In anderen Publikationen (Fisher, 2010) wird dieser Parameter auch als „Area of COP path“ beschrieben. Im Zuge dieser Diplomarbeit wird der ROM in der Einheit Quadratzentimeter (cm²) angegeben.

4.7 Statistische Auswertung der Daten

Die gesamte statistische Datenauswertung wurde mithilfe des Statistikprogramms SPSS für Windows (Version 23.0) durchgeführt. Je nach Skalenniveau der Parameter und Testvoraussetzungen wurden dafür unterschiedliche *Signifikanztests* zur exakten Auswertung herangezogen. Sie sollen Auskunft geben, ob sich gewisse Parameter voneinander unterscheiden bzw. ob es zwischen den Parametern lineare Zusammenhänge gibt. Zur Gewährleistung von Qualität und Vergleichbarkeit wird eine Grenze festgelegt, die das Signifikanzniveau (bzw. die Irrtumswahrscheinlichkeit) für eine Testung beschreibt. Als Signifikanzniveau wird der konventionelle Wert $\alpha = 0,05$ gewählt. Je kleiner dieser Wert ist, desto höher ist die Qualität der Information (Bortz & Schuster, 2010).

Bühl (2008) bezeichnet ein Ergebnis als *signifikant*, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit p unter 0,05 liegt. Falls diese sogar unter 0,01 liegt, wird das Ergebnis als *sehr signifikant* (bzw. hochsignifikant) eingestuft. Der Computer symbolisiert dies mit einem oder zwei Sternchen (Die Symbolisierung * bedeutet signifikant, die Symbolisierung ** bedeutet sehr signifikant).

Je nach Fragestellung wurde versucht jenen statistischen Test auszuwählen, mit welchem eine möglichst hohe Aussagekraft erzielt werden kann. Wenn man untersuchen möchte, ob sich zwei Stichproben, beispielsweise der COPT 1 und der COPT 2 voneinander unterscheiden, kommt der sog. *t-Test* zum Einsatz:

„Der t-Test vergleicht die Mittelwerte einer intervallskalierten Variablen aus zwei Stichproben, um zu entscheiden, ob sich diese statistisch signifikant (bedeutsam) voneinander unterscheiden.“ (Rockmann & Bömermann, 2006, S. 193)

Das Grundprinzip, das hinter diesem Prüfverfahren steckt, lässt sich folgendermaßen erklären:

„Je größer die Differenz der Mittelwerte, je größer die Stichproben und je kleiner die Standardabweichung ist, umso geringer ist die Schnittmenge der beiden Stichproben und umso wahrscheinlicher ist es, dass sie sich unterscheiden. Je mehr Daten in die Berechnung eingehen, umso wahrscheinlicher wird es, dass auch kleine Differenzen in den Mittelwerten Bedeutung haben, sich also die Mittelwerte signifikant unterscheiden.“ (Rockmann & Bömermann, 2006, S. 194)

Rockmann und Bömermann (2006) fügen hinzu, dass der t-Test nur dann zum Einsatz kommen darf, wenn bei den Variablen in ihrer Grundgesamtheit eine Normalverteilung vorliegt. Allerdings kann auch bei Abweichungen von dieser Annahme ein t-Test verwendet werden. Voraussetzung dafür ist eine Stichprobengröße von $n_1 \approx n_2 > 30$ und ähnliche Gruppengrößen (Rasch, Frieze, Hofmann & Naumann, 2010).

Es wurde daher in der vorliegenden Diplomarbeit bei den anthropometrischen Parametern sowie den Parametern COPT und ROM nicht auf Normalverteilung geprüft, da die Stichprobengröße mit $n = 114$ als groß genug betrachtet werden kann, insbesondere da eine sehr homogene Stichprobe vorliegt. Außerdem ist der t-Test bei Gleichheit der Varianzen und Gruppengrößen relativ robust gegenüber Abweichungen von der Normalverteilung.

Damit man lineare Zusammenhänge zwischen zwei Parametern ermitteln kann, eignet sich für intervallskalierte Variablen der sog. *Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient r nach Pearson*, welcher zwischen -1 und +1 betragen kann. Mithilfe dieser Korrelationsrechnung lässt sich neben der Art des Zusammenhangs (z. B. linear, quadratisch, exponentiell) auch die Stärke des Zusammenhangs berechnen. Je besser sich die Zusammenhangsfunktion einer Geraden annähert, desto stärker ist der Zusammenhang zwischen den beiden Messwertreihen (Abb. 22). Der Wert +1 würde bedeuten, dass ein perfekter positiver Zusammenhang besteht, der Wert -1 verdeutlicht einen perfekten negativen Zusammenhang und der Wert 0 sagt aus, dass es keinen korrelativen Zusammenhang zwischen zwei Parametern gibt (Bös, Hänsel & Schott, 2004).

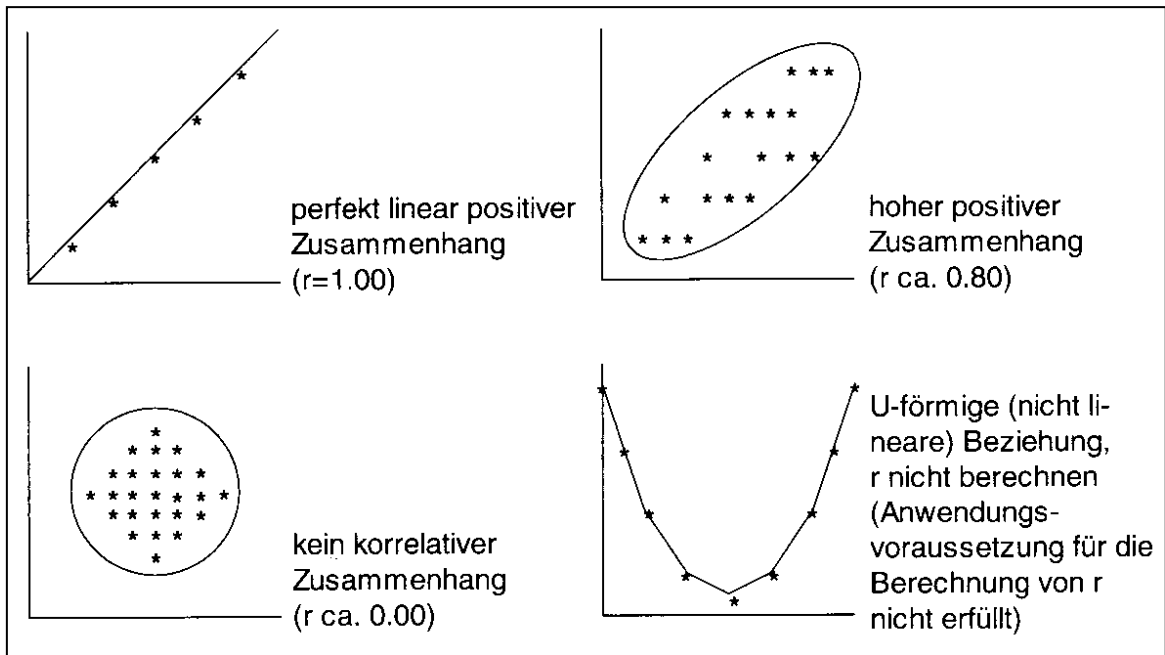


Abb. 22: Darstellung verschiedener Merkmalszusammenhänge (Bös, Hänsel & Schott, 2004, S. 168)

Die folgenden Werte für den Korrelationskoeffizienten r dienen bei Bös, Hänsel und Schott (2004, S. 169) als Interpretationshilfen und werden auch in der vorliegenden Diplomarbeit zur Beschreibung der Zusammenhänge herangezogen:

$r = 0$	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

Außerdem kann neben der Stärke des Zusammenhangs auch die Signifikanz des Zusammenhangs analysiert werden: „Es wird danach gefragt, ob die Art und die Stärke bzw. Höhe des Zusammenhangs auch für die Grundgesamtheit anzunehmen ist. Dazu wird der Korrelationskoeffizient auf seine Signifikanz geprüft.“ (Bös, Hänsel & Schott, 2004, S. 166)

5 Ergebnisse

Der folgende Abschnitt beschäftigt sich mit den umfangreichen Ergebnissen dieser Studie. Diese beziehen sich auf die in Kapitel 3 formulierten Fragestellungen. Es werden darin die Parameter Centre of Pressure Track und Range of Motion mithilfe der zuvor beschriebenen statistischen Testverfahren auf Zusammenhänge bzw. Unterschiede überprüft.

5.1 Deskriptive Statistik

In diesem Kapitel wird die gesamte deskriptive Statistik dieser Studie möglichst übersichtlich dargelegt. Es dient in erster Linie dazu die Referenzwerte des COPT sowie des ROM zu bestimmen, um die Daten beispielsweise mit anderen Zielgruppen vergleichbar zu machen. Dazu wurde eine Unterteilung der Testpersonen in männliche bzw. weibliche Probandinnen und Probanden getroffen. Es werden zunächst die absoluten Referenzwerte der beiden Parameter angegeben. Im Kapitel 5.3.2 werden auch die auf das Körpergewicht bezogenen relativen Werte berechnet.

5.1.1 Anthropometrische Daten der Probandinnen und Probanden

Wie bereits in Tabelle 2 dargestellt, wurden insgesamt 68 männliche Probanden und 46 weibliche Probandinnen im Alter von 18 bis 35 Jahren getestet. Das Durchschnittsalter der Männer beträgt 24,1 Jahre, das der Frauen beträgt 22,3 Jahre. Der Mittelwert der Körpergröße aller männlichen Testpersonen liegt bei 180,1 cm, jener Mittelwert der weiblichen Testpersonen liegt bei 165,5 cm. Auch bezüglich des Körpergewichts gibt es Unterschiede zwischen den getesteten Männern und Frauen. Während die Männer einen Mittelwert von 75,1 kg aufweisen, haben die Frauen hinsichtlich des Körpergewichts einen Mittelwert von 59,4 kg.

5.1.2 Absolute Referenzwerte des Centre of Pressure Track

Um einen Überblick der Referenzwerte des COPT bei allen acht Einzelmessungen zu erhalten, werden in Tabelle 4 und 5 die Werte der männlichen bzw. weiblichen Testpersonen getrennt voneinander aufgelistet. Bereits hier lassen sich erste Trends erkennen, ob es Unterschiede in den Geschlechtern gibt und wie groß diese Unterschiede zwischen den einzelnen Messungen im Durchschnitt sind.

Tab. 4: Absolute Referenzwerte des COPT der männlichen Probanden

COPT 1-8 (cm) männlich (n=68)	Mittelwert	95%-Konfidenz Untergrenze	95%-Konfidenz Obergrenze
COPT 1 (Stat., open)	26,9	25,0	28,8
COPT 2 (Stat., closed)	36,0	33,2	38,6
COPT 3 (Stat., foam, open)	77,6	70,6	84,5
COPT 4 (Stat., foam, closed)	122,5	113,9	131,1
COPT 5 (Dyn., open)	65,0	60,3	69,6
COPT 6 (Dyn., closed)	213,8	200,6	227,0
COPT 7 (Dyn., foam, open)	93,2	85,5	101,0
COPT 8 (Dyn., foam, closed)	244,0	226,6	261,4

Tab. 5: Absolute Referenzwerte des COPT der weiblichen Probandinnen

COPT 1-8 (cm) weiblich (n=46)	Mittelwert	95%-Konfidenz Untergrenze	95%-Konfidenz Obergrenze
COPT 1 (Stat., open)	26,6	24,3	28,8
COPT 2 (Stat., closed)	32,2	28,8	35,6
COPT 3 (Stat., foam, open)	77,5	68,0	86,9
COPT 4 (Stat., foam, closed)	107,7	96,2	119,2
COPT 5 (Dyn., open)	47,4	43,0	51,8
COPT 6 (Dyn., closed)	153,6	141,0	166,2
COPT 7 (Dyn., foam, open)	83,1	74,0	92,2
COPT 8 (Dyn., foam, closed)	176,5	162,7	190,4

Betrachtet man die ersten drei statischen Testbedingungen, so lässt sich erkennen, dass der Unterschied der Mittelwerte hinsichtlich des COPT zwischen männlichen und weiblichen Testpersonen relativ gering ist, während dieser ab der 4. Messung (Stat., foam, closed) etwas größer wird. Es zeigt sich, dass die Frauen im Durchschnitt einen etwas niedrigeren COPT aufweisen als die Männer. Speziell bei den vier dynamischen Testbedingungen konnten die weiblichen Testpersonen durchschnittlich geringere COPT-Werte erzielen als die männlichen Probanden. Ob diese Unterschiede hinsichtlich der Mittelwerte auch in ihrer Grundgesamtheit signifikant sind, wird im Kapitel 5.3 näher untersucht.

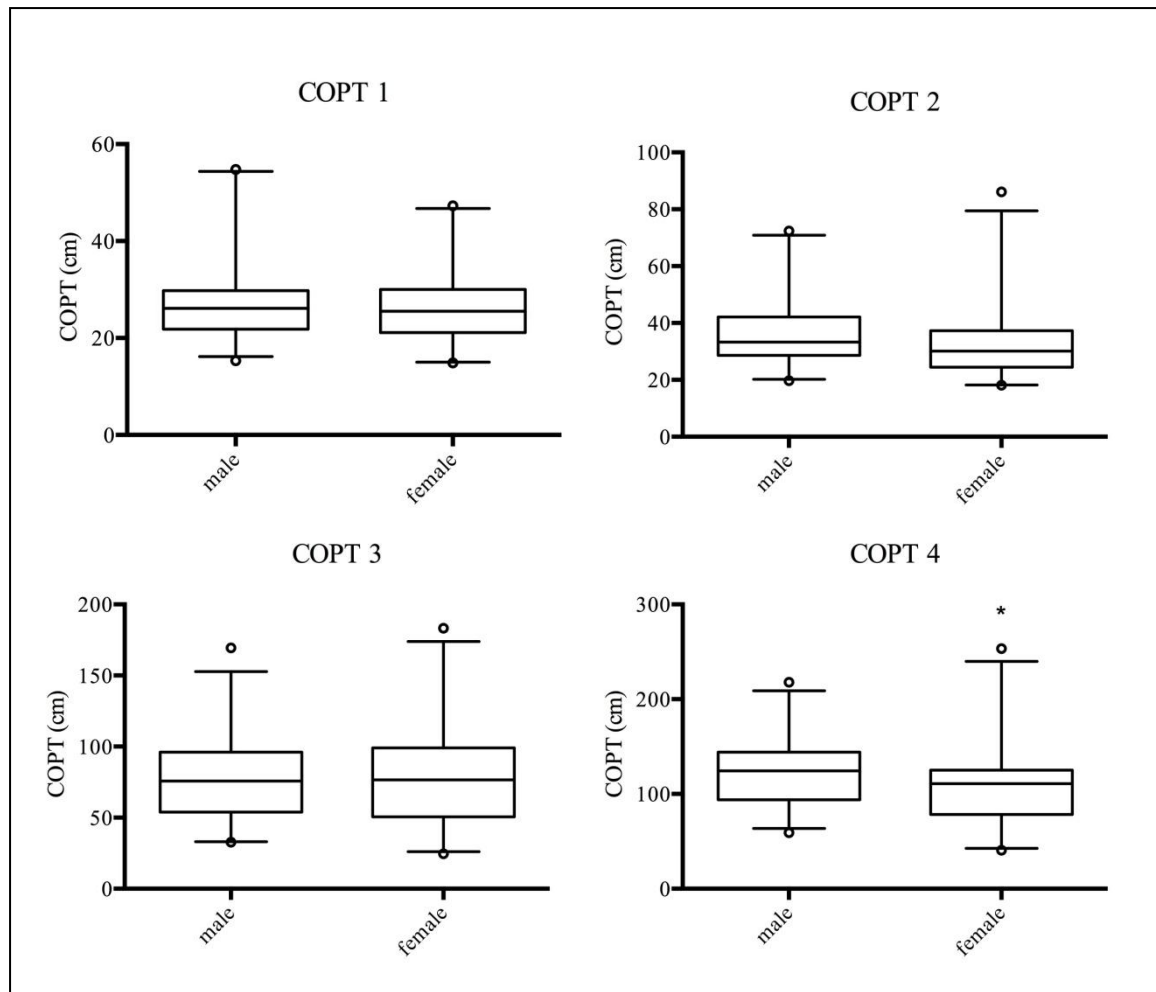


Abb. 23: Absolute Referenzwerte des COPT der vier statischen Messungen

Durch die Boxplots sollen die Werte des COPT sowohl von den ersten vier Einzelmessungen auf fixierter Standplattform (Abb. 23) als auch von den weiteren vier Einzelmessungen auf der beweglichen Standplattform (Abb. 24) im direkten Vergleich männlich-weiblich anschaulich gegenübergestellt werden. Es zeigt sich, dass die Boxplots im geschlechtsspezifischen Vergleich bei den vier statischen posturographischen Messungen eine ähnliche Struktur aufweisen. Bis inklusive der 3. Messung sind die Unterschiede in den Medianen zwischen männlichen bzw. weiblichen Testpersonen sehr gering: Bei der 1. Messung liegt der Median bei 26,1 cm bzw. 25,5 cm, bei der 2. Messung liegt dieser bei 33,1 cm bzw. 30,15 cm und auch in der 3. Messung lassen sich mit 75,7 cm bzw. 76,55 cm nur minimale Unterschiede im Bereich von lediglich einem Zentimeter feststellen. Erst ab der 4. Messung nimmt der Unterschied der beiden Mediane ein etwas größeres Ausmaß an: Der Median beträgt bei den Männern 124,45 cm und bei den Frauen 110,95 cm. Die mittleren 50% liegen bei den ersten beiden Messungen auf hartem Untergrund grob geschätzt zwischen 20 und 40 cm, während ab der 3. bzw. 4.

Messung, also mit Einsatz der Schaumstoffmatte, die mittleren 50% der Probandinnen und Probanden mit ca. 50-100 cm bzw. 80-150 cm wesentlich höher liegen. Dies deutet bereits darauf hin, dass die Verwendung der Schaumstoffmatte im statischen Zustand die posturale Kontrolle wesentlich beeinflusst.

Bei genauerer Betrachtung der dynamischen posturographischen Messreihe fällt schnell auf, dass bei allen vier Einzelmessungen der Median bei den weiblichen Probandinnen deutlich niedriger liegt im Vergleich zu den männlichen Probanden (Abb. 24). Des Weiteren lassen sich anhand eines Vergleichs der COPT-Werte große Unterschiede erkennen zwischen den Testungen mit offenen bzw. geschlossenen Augen. Wie Abbildung 24 zeigt, liegt der Median des COPT 5 (bei Testung mit offenen Augen) bei 63,6 cm bzw. 45,75 cm, während der Median des COPT 6 (bei Testung mit geschlossenen Augen) mit 206,85 cm bzw. 150,8 cm wesentlich höhere Werte annimmt. Ähnlich große Unterschiede lassen sich auch beim Vergleich zwischen COPT 7 und COPT 8, bei deren Erhebung jeweils die Schaumstoffmatte verwendet worden ist, erkennen.

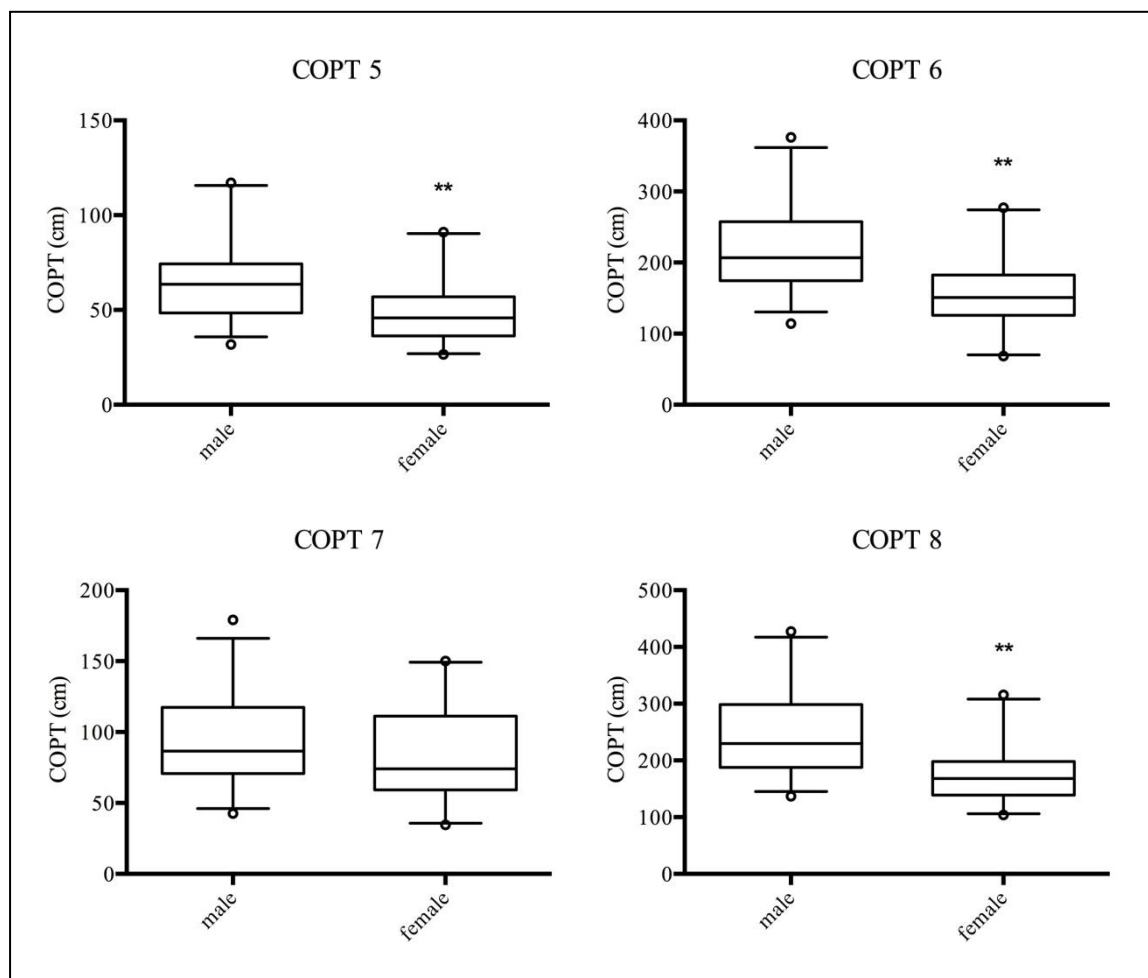


Abb. 24: Absolute Referenzwerte des COPT der vier dynamischen Messungen

5.1.3 Absolute Referenzwerte des Range of Motion

Ebenso werden auch die Referenzwerte des ROM von allen acht Einzelmessungen übersichtlich dargestellt. Die Tabellen 6 und 7 sollen die Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Testpersonen bezüglich Mittelwerte und 95%-Konfidenz Unter- bzw. Obergrenze verdeutlichen.

Tab. 6: Absolute Referenzwerte des ROM der männlichen Probanden

ROM 1-8 (cm ²) männlich (n=68)	Mittelwert	95%-Konfidenz Untergrenze	95%-Konfidenz Obergrenze
ROM 1 (Stat., open)	0,78	0,56	1,00
ROM 2 (Stat., closed)	1,12	0,89	1,35
ROM 3 (Stat., foam, open)	3,84	3,14	4,54
ROM 4 (Stat., foam, closed)	13,41	11,50	15,32
ROM 5 (Dyn., open)	3,55	3,12	3,97
ROM 6 (Dyn., closed)	47,20	41,62	52,77
ROM 7 (Dyn., foam, open)	4,60	3,97	5,23
ROM 8 (Dyn., foam, closed)	65,03	56,60	73,46

Tab. 7: Absolute Referenzwerte des ROM der weiblichen Probandinnen

ROM 1-8 (cm ²) weiblich (n=46)	Mittelwert	95%-Konfidenz Untergrenze	95%-Konfidenz Obergrenze
ROM 1 (Stat., open)	0,88	0,51	1,26
ROM 2 (Stat., closed)	1,08	0,64	1,53
ROM 3 (Stat., foam, open)	2,58	2,18	2,98
ROM 4 (Stat., foam, closed)	9,53	7,21	11,85
ROM 5 (Dyn., open)	2,20	1,83	2,57
ROM 6 (Dyn., closed)	27,66	23,26	32,06
ROM 7 (Dyn., foam, open)	2,98	2,56	3,39
ROM 8 (Dyn., foam, closed)	35,22	28,22	42,23

Auch beim Vergleich dieser beiden Tabellen lässt sich ein ganz klarer Trend erkennen, nämlich dass die getesteten Frauen durchschnittlich wesentlich geringere ROM-Werte aufweisen, als die getesteten Männer. Die größten Mittelwertunterschiede zwischen

Männern und Frauen zeigen sich vor allem in den beiden dynamischen Testsituationen mit geschlossenen Augen (ROM 6 und ROM 8).

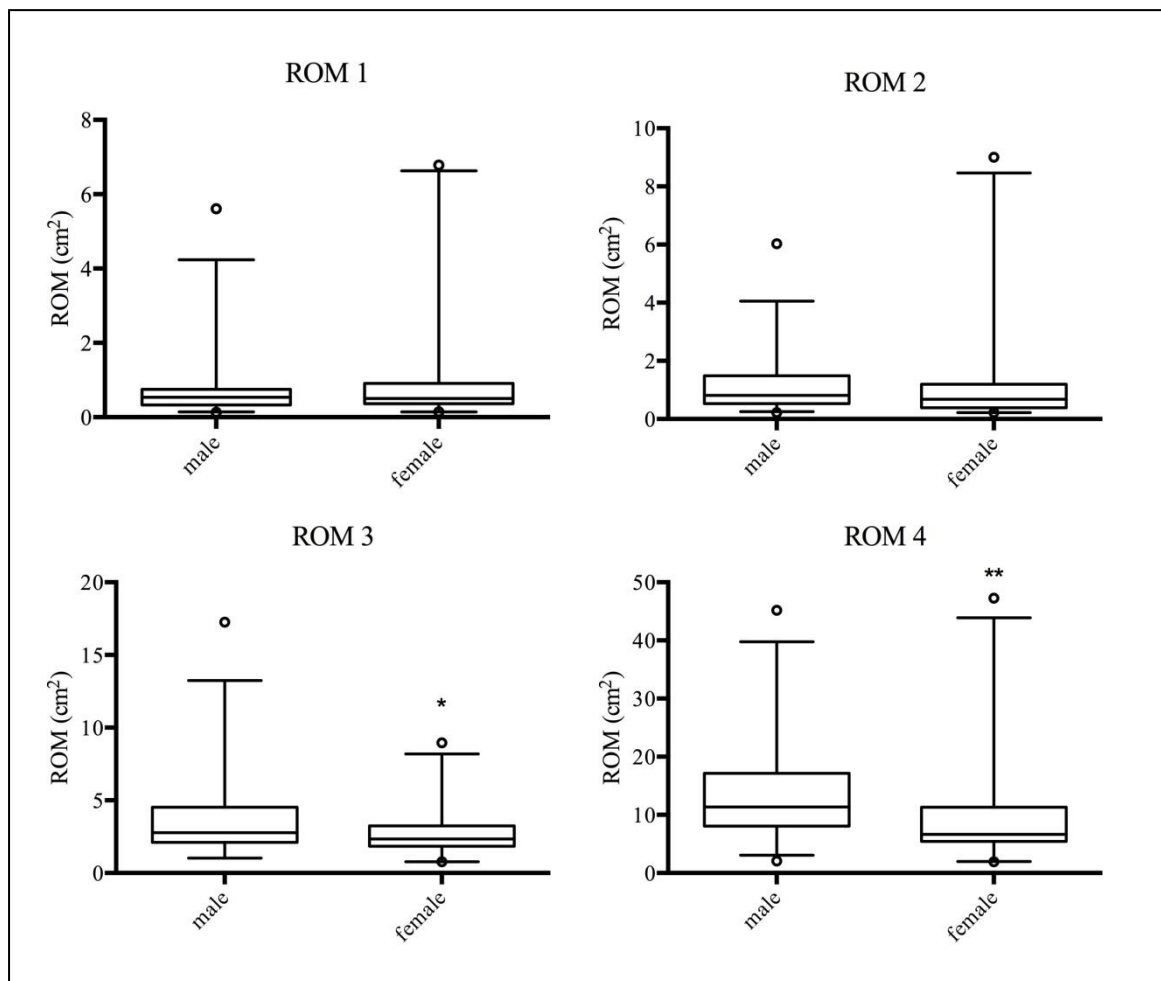


Abb. 25: Absolute Referenzwerte des ROM der vier statischen Messungen

Die Abbildungen 25 und 26 veranschaulichen die Ergebnisse hinsichtlich des ROM aller männlichen und weiblichen Testpersonen. Im Zuge der ersten vier Einzelmessungen sind – ähnlich wie beim COPT – keine bzw. sehr geringe geschlechtsspezifische Unterschiede erkennbar (Abb. 25). Beim Vergleich zwischen ROM 1 (Stat., open) und ROM 2 (Stat., closed) fällt auf, dass der Großteil aller Werte innerhalb einer kleinen Fläche von 2 cm² liegt. Bei der 1. Messung beträgt der Median 0,54 cm² bei den Männern bzw. 0,505 cm² bei den Frauen und bei der 2. Messung beträgt dieser 0,815 cm² bzw. 0,675 cm². Durch den Einsatz der Schaumstoffmatte vergrößert sich auch die Bewegungsfläche um ein Vielfaches. Der mittlere Wert der 3. Messung liegt bei 2,775 cm² bzw. 2,345 cm² und jener der 4. Messung liegt bei 11,35 cm² und 6,64 cm². Bei allen Messungen lässt sich der eine oder andere Ausreißer nach oben erkennen.

Wie auch zuvor bei der Analyse der COPT-Werte zeigen die Boxplots der ROM-Werte in Abbildung 26, dass bei den vier dynamischen Messungen die weiblichen Probandinnen deutlich niedrigere Werte erzielen konnten als die männlichen Probanden.

Ebenfalls lassen sich beim Vergleich zwischen den Einzelmessungen mit offenen bzw. geschlossenen Augen (ROM 5 vs. ROM 6 und ROM 7 vs. ROM 8) beträchtliche Unterschiede in der Größe der Bewegungsfläche feststellen. Vergleicht man die Mediane der Parameter ROM 5 (männlich: 3,14 cm²; weiblich: 1,94 cm²) und ROM 6 (männlich: 44,915 cm²; weiblich: 24,21 cm²) sowie der Parameter ROM 7 (männlich: 3,95 cm²; weiblich: 2,63 cm²) und ROM 8 (männlich: 57,235 cm²; weiblich: 29,11 cm²), so fällt auf, dass sich die Bewegungsfläche beim Stehen auf beweglichem Untergrund mit geschlossenen Augen um mehr als das Zehnfache vergrößert.

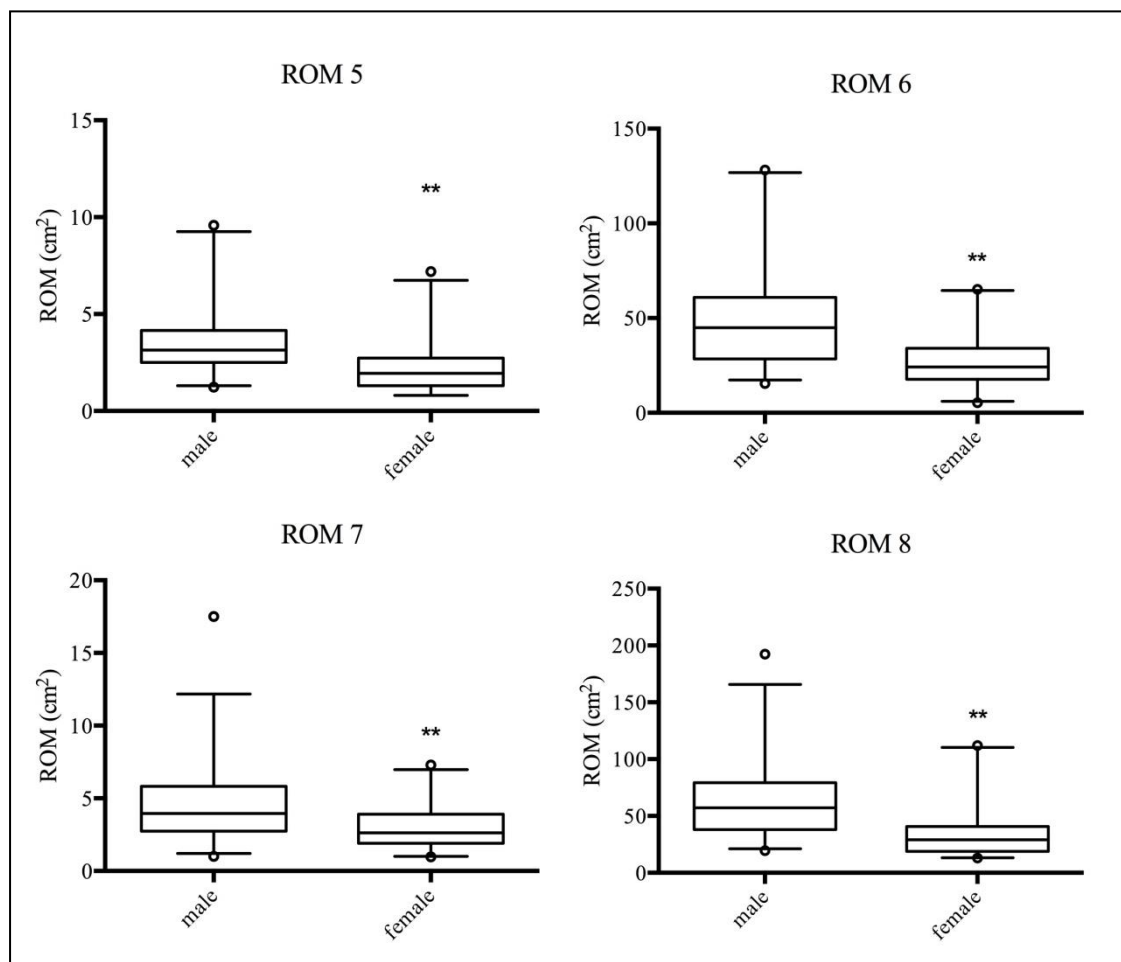


Abb. 26: Absolute Referenzwerte des ROM der vier dynamischen Messungen

5.2 Einfluss der Anthropometrie

Dieser Abschnitt geht der Frage nach, ob es Korrelationen zwischen der Anthropometrie der Testpersonen und den beiden Parametern der Haltungskontrolle gibt. Dazu werden die beiden Parameter Körpergröße und Körpergewicht jeweils mit den Parametern COPT und ROM auf Zusammenhänge untersucht. Da diese Testvariablen intervallskaliert sind, eignet sich – wie bereits im Kapitel 4.7 beschrieben – die Korrelationsrechnung nach Pearson.

5.2.1 Zusammenhang zwischen Körpergröße und COPT

Im folgenden Unterkapitel wird untersucht, ob die COPT-Werte der vier statischen Einzelmessungen (Abb. 27) bzw. der vier dynamischen Einzelmessungen (Abb. 28) mit der Körpergröße der Probandinnen und Probanden korrelieren.

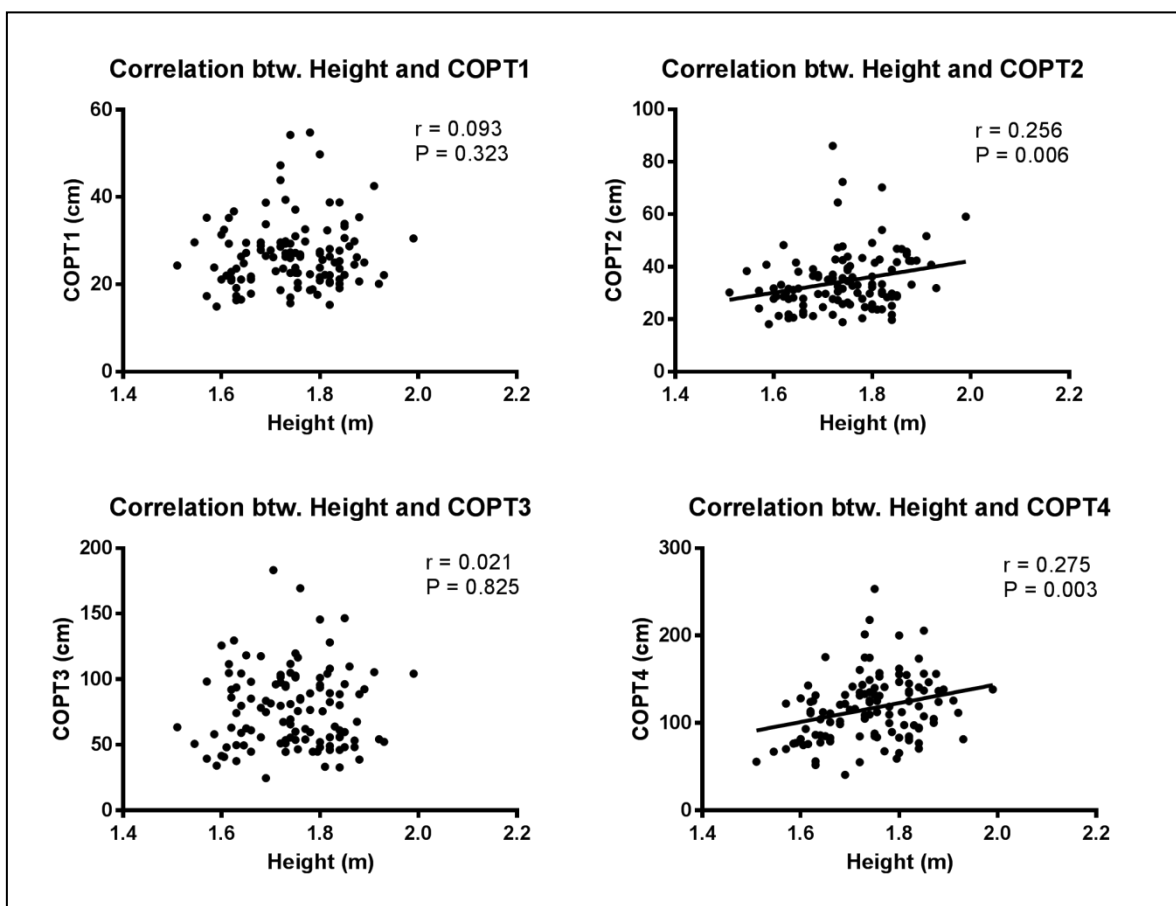


Abb. 27: Korrelationen zwischen Körpergröße und COPT 1-4 aller Testpersonen

Wie in der Abbildung 27 ersichtlich, lassen sich im Zuge der Analyse der vier statischen Messungen nur sehr geringe bis keine Zusammenhänge hinsichtlich der Körpergröße und der Strecke des Druckmittelpunkts erkennen. Während sich bei Messung 1 (Stat., open) und bei Messung 3 (Stat., foam, open) keine signifikanten Zusammenhänge zeigen, bestehen bei Messung 2 (Stat., closed) und bei Messung 4 (Stat., foam, closed) niedrige positive Zusammenhänge ($r = 0,256$ bzw. $r = 0,275$).

Eindeutiger verhält sich dieser Sachverhalt bei den vier dynamischen Messungen. Es konnten bei jeder Testbedingung signifikante ($p < 0,05$) bis hochsignifikante Zusammenhänge ($p < 0,01$) festgestellt werden (Abb. 28). Auffällig dabei ist, dass vor allem bei den Messungen 6 und 8 (also jeweils mit geschlossenen Augen) die positiven Zusammenhänge am höchsten eingestuft werden können.

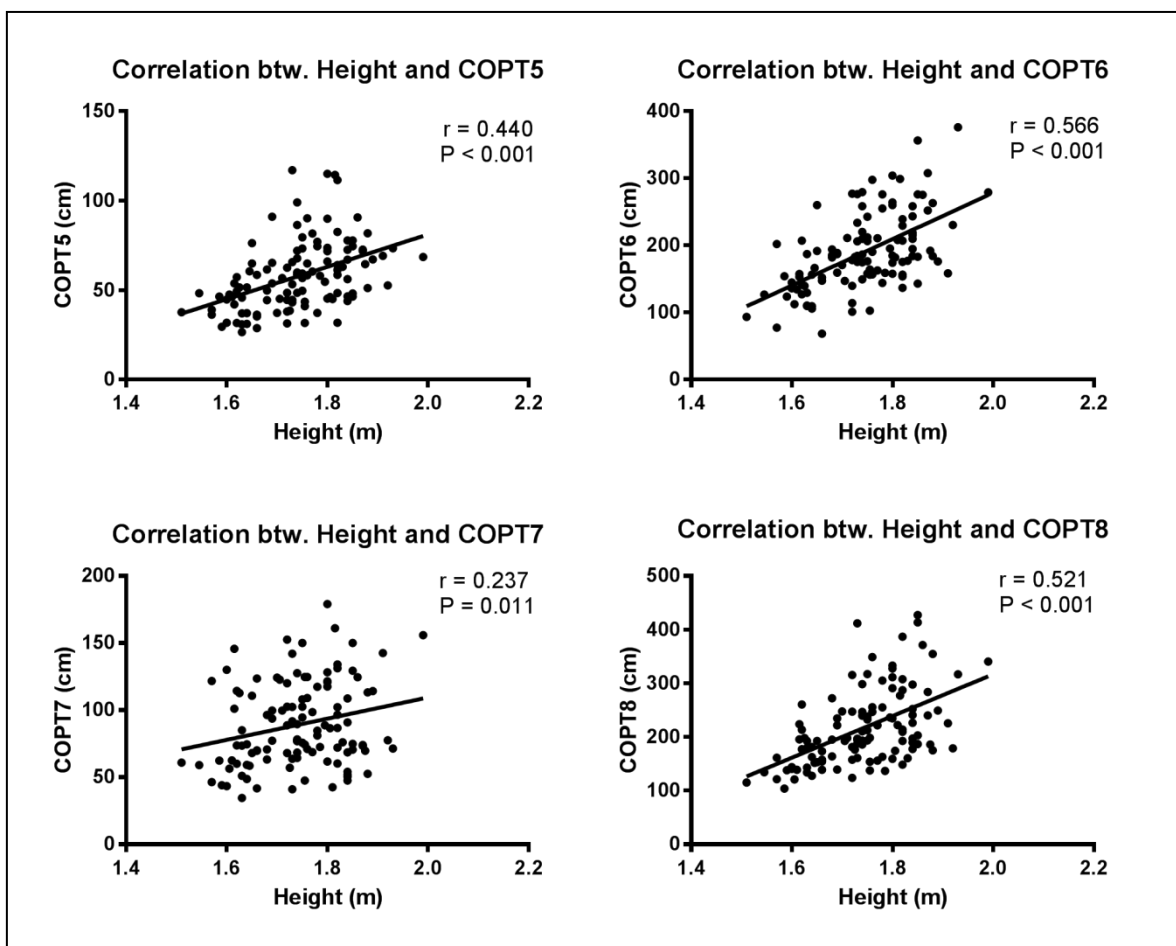


Abb. 28: Korrelationen zwischen Körpergröße und COPT 5-8

5.2.2 Zusammenhang zwischen Körpergröße und ROM

Dieselbe Vorgehensweise wie im vorherigen Kapitel wird nun auf den Parameter ROM angewandt. Dessen acht Werte werden ebenfalls auf Zusammenhänge überprüft. Anhand der Abbildungen 29 bzw. 30 erkennt man, ob es Zusammenhänge bei den statischen bzw. dynamischen Messwerten des ROM und der Körpergröße gibt bzw. wie hoch diese sind.

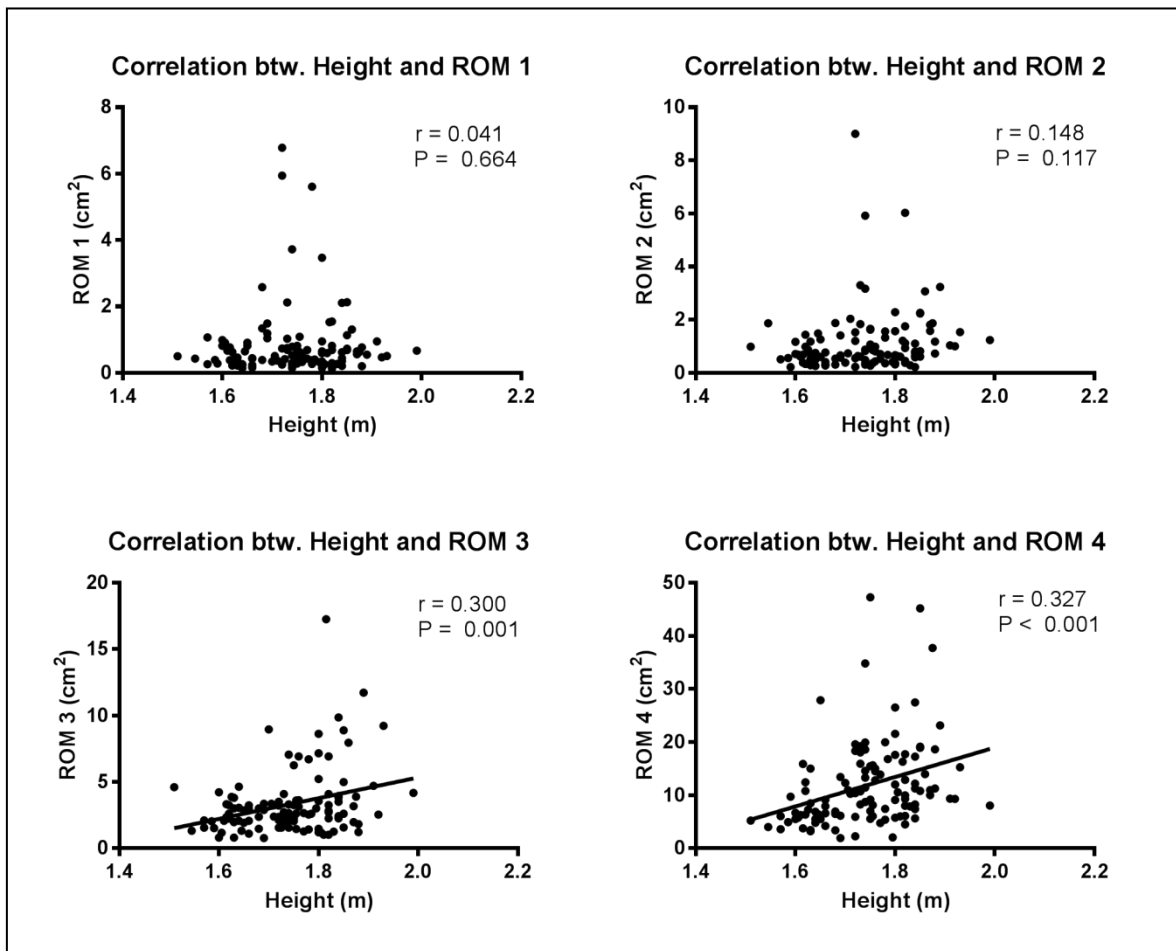


Abb. 29: Korrelationen zwischen Körpergröße und ROM 1-4

Bei den Messungen 1 (Stat., open) und 2 (Stat., closed) kann kein Zusammenhang zwischen der Körpergröße und dem COPT festgestellt werden, wohingegen bei der 3. Messung (Stat., foam, open) sowie bei der 4. Messung (Stat., foam, closed) zumindest ein geringer Zusammenhang besteht ($r = 0,300$ bzw. $r = 0,327$).

Hinsichtlich der vier dynamischen Messungen zeigt sich auch bezüglich ROM ein ähnliches Bild wie oben bei der Analyse des COPT. Alle vier Werte (d. h. ROM 5-8) korrelieren mit der Körpergröße. Bei der 5. Einzelmessung (Dyn., open) lässt sich ein

geringer Zusammenhang ($r = 0,367$) ausfindig machen, ab der 6. Einzelmessung kann von mittleren Zusammenhängen gesprochen werden (Abb. 30).

Am höchsten sind die Zusammenhänge zwischen Körpergröße und ROM abermals bei der 6. Messung (Dyn., closed) sowie bei der 8. Messung (Dyn., foam, closed). Die Signifikanz von $p < 0,0001$ gibt an, dass es sich bei allen vier Korrelationen um einen hochsignifikanten Zusammenhang handelt, sodass man aus dieser Stichprobe auf die Gesamtpopulation schließen kann.

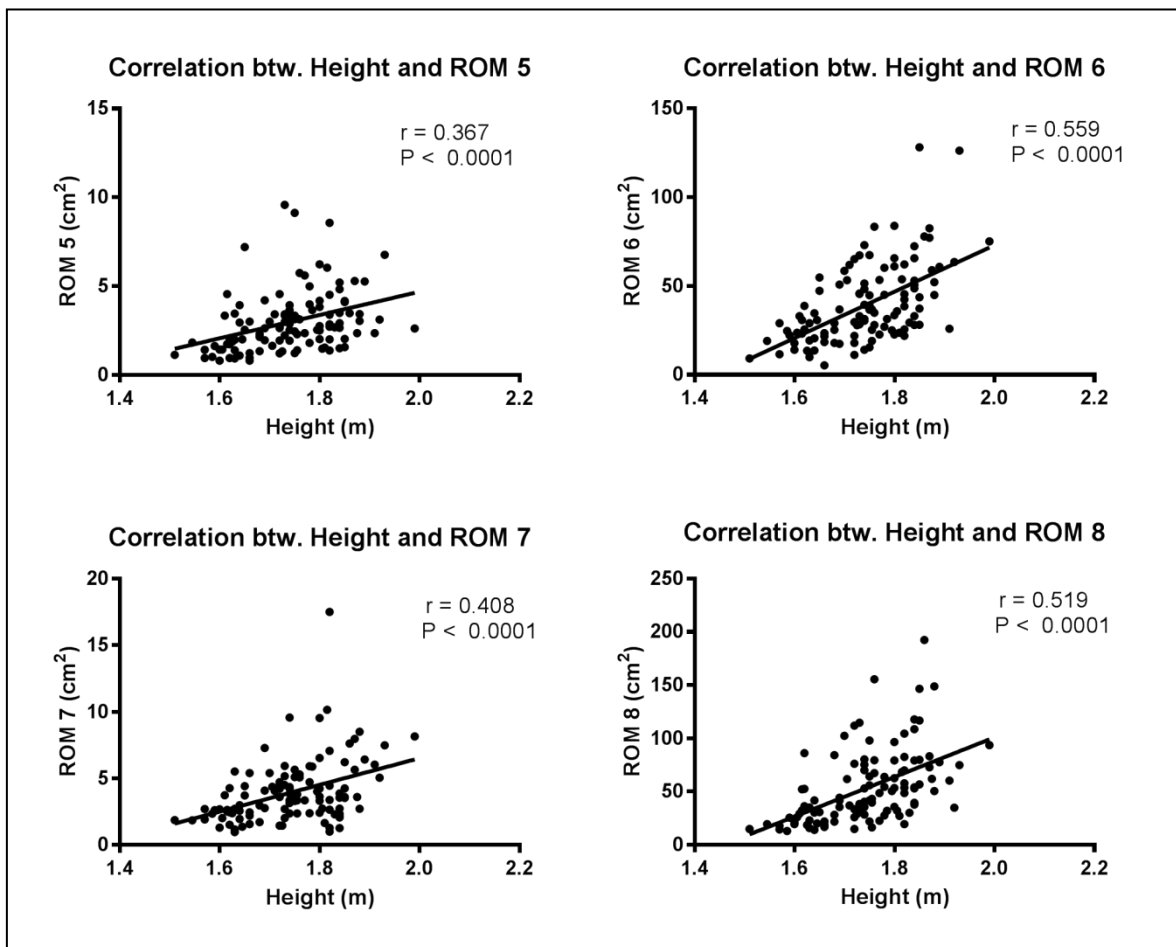


Abb. 30: Korrelationen zwischen Körpergröße und ROM 5-8

5.2.3 Zusammenhang zwischen Körpergewicht und COPT

Dieses Unterkapitel geht der Frage nach, ob es Korrelationen zwischen dem Körpergewicht der Probandinnen und Probanden und der Strecke des Druckmittelpunkts gibt. Darüber geben die Abbildungen 31 und 32 einen exakten Aufschluss. Es lässt sich erkennen, dass bei der statischen Posturographie, insbesondere bei den durchgeführten Einzelmessungen 1, 3 und 4, kein signifikanter Zusammenhang besteht (Abb. 31). Lediglich bei der 2. Einzelmessung existiert ein sehr niedriger positiver Zusammenhang ($r = 0,243$), welcher allerdings kaum eine Aussagekraft besitzt und dessen Zustandekommen ebenso wenig interpretiert werden kann.

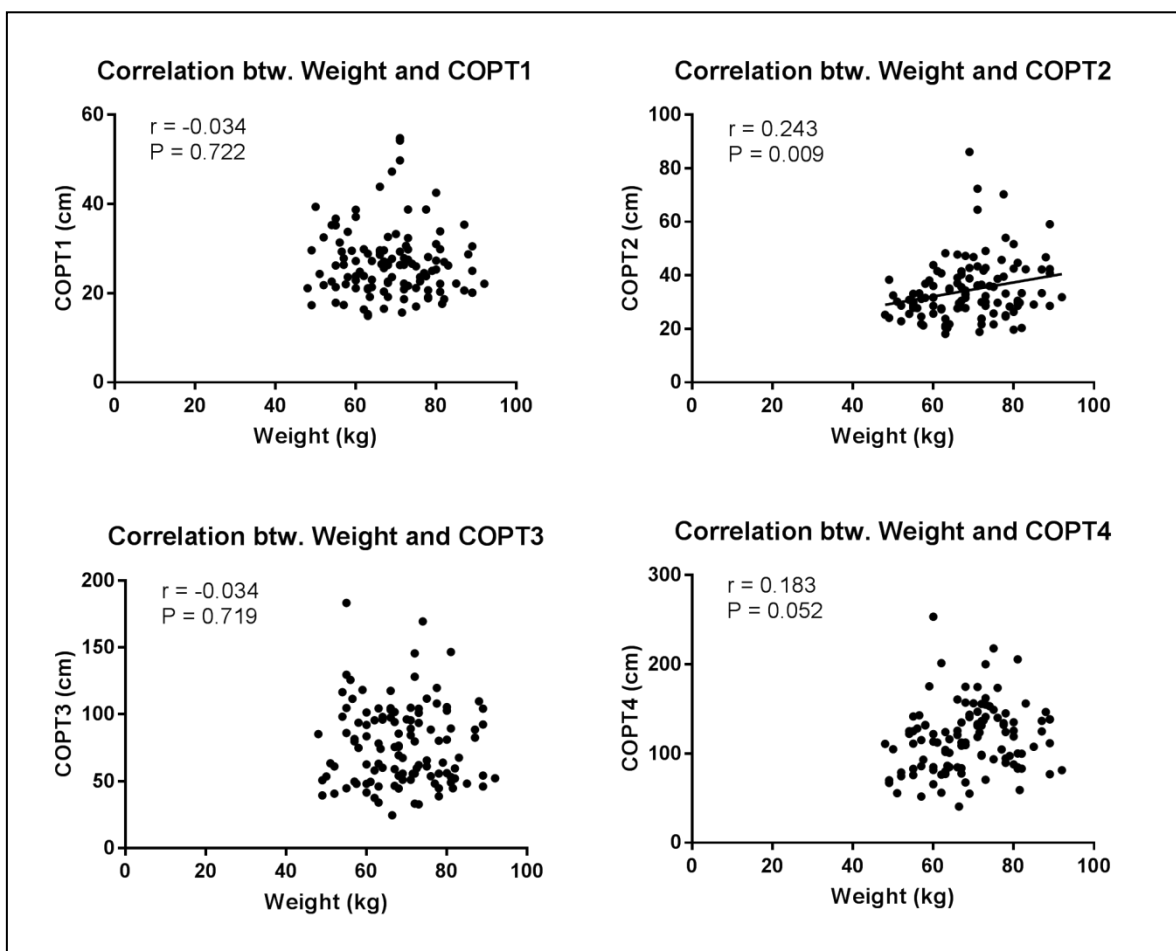


Abb. 31: Korrelationen zwischen Körpergewicht und COPT 1-4

Betrachtet man die Korrelationen zwischen dem Körpergewicht und den COPT-Werten der dynamischen posturographischen Messreihe (Abb. 32), so verhält sich der Sachverhalt ebenfalls nicht eindeutig. Bei den Messungen 5, 6 und 8 ergeben sich nach Berechnung des Pearson-Korrelationskoeffizienten mittlere Zusammenhänge, welche sich auch anhand der Regressionsgeraden erahnen lassen. Am stärksten ist der Zusammenhang abermals bei der 6. Messung, bei der die Augen geschlossen sind. Einzig bei der 7. Einzelmessung (Dyn., foam, open), nähert sich die Punktwolke in keinster Weise einer Geraden an, daher lassen sich auch keine signifikanten Zusammenhänge ($p = 0,206$) zwischen dem Körpergewicht und dem COPT 7 festhalten.

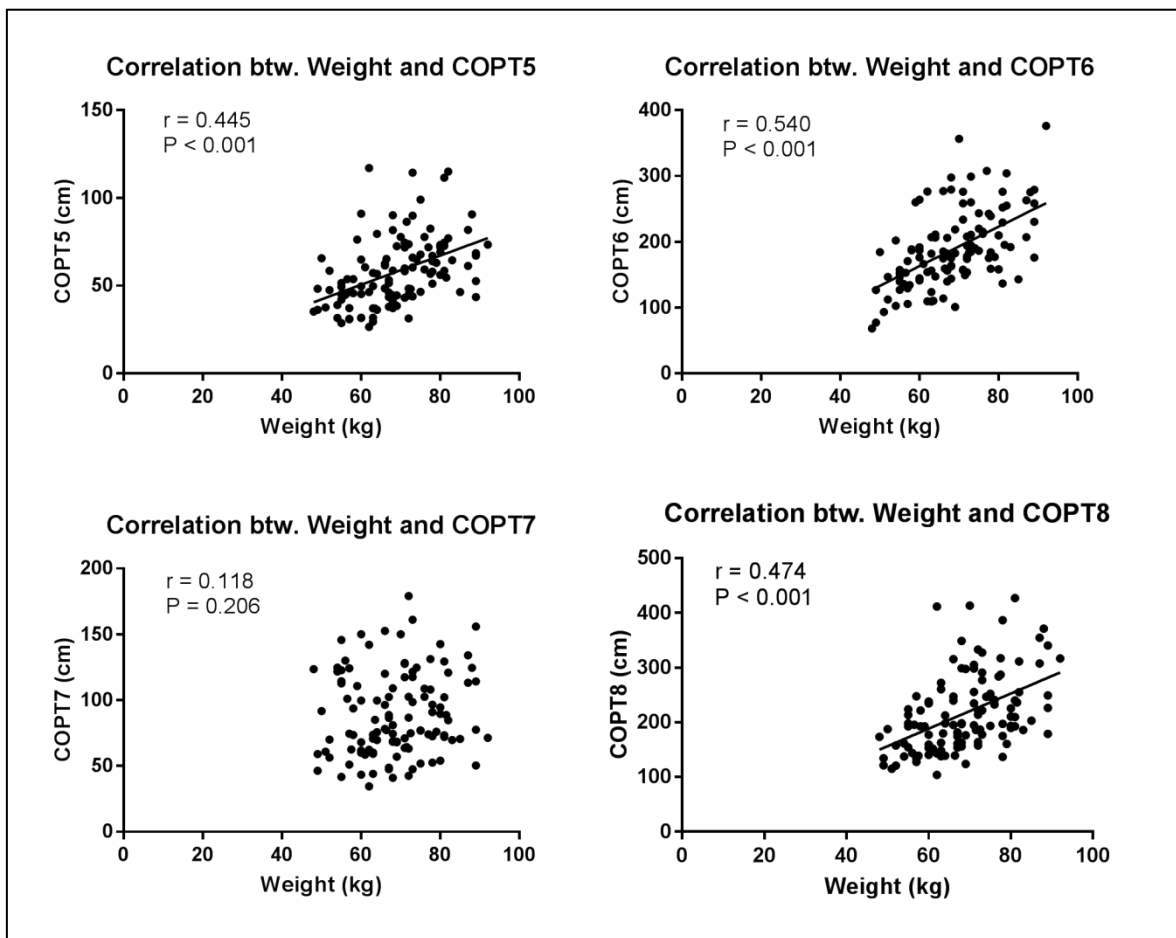


Abb. 32: Korrelationen zwischen Körpergewicht und COPT 5-8

5.2.4 Zusammenhang zwischen Körpergewicht und ROM

Zu guter Letzt wird der Zusammenhang zwischen dem Körpergewicht der Probandinnen und Probanden und der Bewegungsfläche graphisch dargestellt. Wie in der Abbildung 33 ersichtlich, spiegelt sich ein bereits bekanntes Bild wider, denn es sind bei den statischen Testungen kaum relevante Zusammenhänge erkennbar. Bei den ersten beiden Einzelmessungen – also auf hartem Untergrund mit offenen bzw. geschlossenen Augen – lässt sich statistisch gesehen kein signifikanter Zusammenhang ausfindig machen. Bis auf ein paar wenige Ausreißer nach oben befindet sich der Großteil der ROM-Werte in einem geringen Schwankungsbereich und die Punktwolke lässt sich auch keiner Geraden annähern. Betrachtet man die Messungen des ROM 3 bzw. ROM 4, welche auf der Schaumstoffmatte mit offenen bzw. geschlossenen Augen durchgeführt worden sind, so kann man niedrige positive Korrelationen bezüglich Körpergewicht und ROM feststellen.

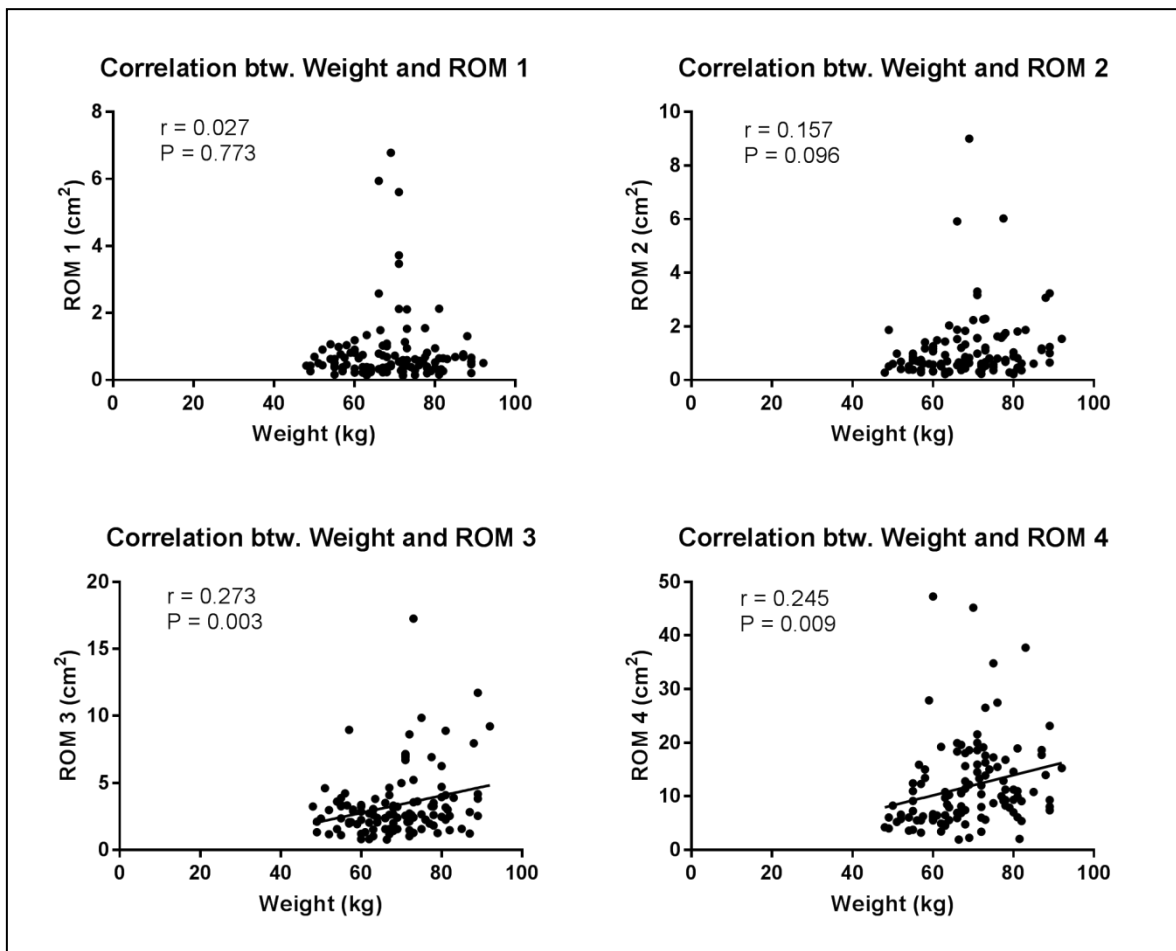


Abb. 33: Korrelationen zwischen Körpergewicht und ROM 1-4

In der Abbildung 34 werden die Korrelationen zwischen dem Körpergewicht und den Werten ROM 5 bis ROM 8 graphisch dargestellt. Hinsichtlich des Körpergewichts und des Parameters ROM 5 wird der Zusammenhang mit $r = 0,362$ als niedriger positiver Zusammenhang eingestuft. Ab der 6. Einzelmessung kann man abermals mittlere positive Zusammenhänge festhalten ($0,40 < r < 0,70$), bei denen die Regressionsgerade einen etwas steileren Verlauf nimmt.

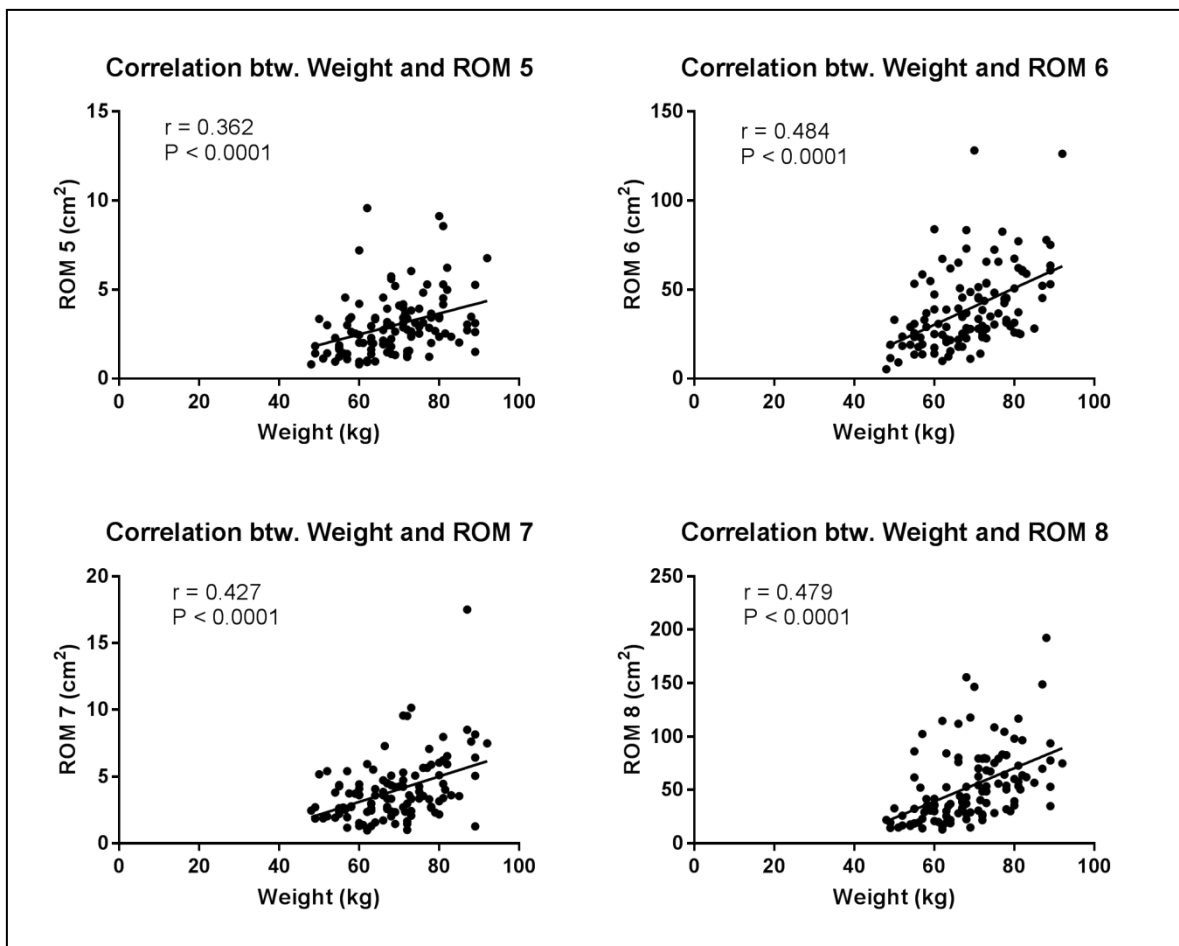


Abb. 34: Korrelationen zwischen Körpergewicht und ROM 5-8

5.3 Geschlechtsspezifische Unterschiede

Mithilfe des t-Tests für unabhängige Stichproben soll herausgefunden werden, ob sich die COPT- bzw. ROM-Mittelwerte der männlichen bzw. weiblichen Personen signifikant voneinander unterscheiden. Dazu wurden mittels SPSS sowohl die absoluten Referenzwerte miteinander verglichen, als auch die körpergrößenbereinigten Werte des COPT bzw. ROM.

5.3.1 Vergleich der absoluten Referenzwerte

In Tabelle 8 werden die geschlechtsspezifischen Unterschiede der absoluten COPT-Mittelwerte aller acht Einzelmessungen gegenübergestellt. Der jeweilige p-Wert in der Spalte daneben gibt Auskunft, ob sich die Werte signifikant voneinander unterscheiden.

Tab. 8: Vergleich der absoluten COPT-Mittelwerte zwischen männlichen und weiblichen Testpersonen

COPT 1-8 (cm) männlich (n=68) / weiblich (n=46)	Mittelwerte		p-Wert
	männlich	weiblich	
COPT 1 (Stat., open)	26,9	26,6	0,828
COPT 2 (Stat., closed)	36,0	32,2	0,078
COPT 3 (Stat., foam, open)	77,6	77,5	0,988
COPT 4 (Stat., foam, closed)	122,5	107,7	0,039
COPT 5 (Dyn., open)	65,0	47,4	0,000
COPT 6 (Dyn., closed)	213,8	153,6	0,000
COPT 7 (Dyn., foam, open)	93,2	83,1	0,096
COPT 8 (Dyn., foam, closed)	244,0	176,5	0,000

Der Vergleich der Mittelwerte des COPT 1 (Stat., open) ergibt zwischen männlichen und weiblichen Testpersonen mit einer mittleren Differenz von lediglich 0,3 cm keinen signifikanten Unterschied ($p = 0,828$). Ebenso unterscheiden sich die Mittelwerte des COPT 2 (Stat., closed) und des COPT 3 (Stat., foam, open) hinsichtlich des Geschlechts nicht signifikant voneinander. Ab der 4. Messung (Stat., foam, closed) werden die Mittelwertunterschiede größer und es zeigen sich erste signifikante Unterschiede zwischen Männern und Frauen ($p = 0,039$).

Bei Betrachtung der dynamischen posturographischen Messreihe ergeben sich – mit Ausnahme der 7. Einzelmessung – hochsignifikante Unterschiede ($p < 0,001$) in den

Geschlechtern. Bei den Messungen 5, 6 und 8 weisen die Frauen durchschnittlich viel geringere COPT-Werte auf. Einzig bei der Analyse des COPT 7 (Dyn., foam, open) sind die Unterschiede statistisch nicht signifikant ($p = 0,096$).

Derselbe geschlechtsspezifische Vergleich der Mittelwerte wurde auch bezüglich des Parameters ROM durchgeführt (Tab. 9). Betrachtet man die Mittelwertdifferenzen der ersten beiden Messungen, so fällt auf, dass diese mit $0,10 \text{ cm}^2$ bzw. $0,04 \text{ cm}^2$ äußerst gering ausfallen. Mithilfe der Berechnung im SPSS kommt man zum Ergebnis, dass sich die Mittelwerte des ROM 1 (Stat., open) sowie des ROM 2 (Stat., closed) zwischen Männern und Frauen nicht signifikant voneinander unterscheiden. Dies wird anhand der p-Werte 0,604 bzw. 0,874 in der rechten Spalte der Tabelle 9 deutlich. Ab der 3. Einzelmessung lassen sich signifikante Unterschiede zwischen Männern und Frauen erkennen. Dabei machen sich bei den weiblichen Probandinnen durchschnittlich geringere Werte in der Bewegungsfläche bemerkbar.

Hinsichtlich der dynamischen Posturographie zeigen sich ebenso deutliche Mittelwertunterschiede in den Geschlechtern. Besonders eindeutig sind die Unterschiede bei den Messungen des ROM 6 bzw. ROM 8, bei denen die weiblichen Probandinnen mit einer Differenz von $19,54 \text{ cm}^2$ bzw. $29,81 \text{ cm}^2$ deutlich geringere Werte erzielen konnten. Die Mittelwertunterschiede sind auf dem Niveau von $p < 0,001$ allesamt hochsignifikant.

Tab. 9: Vergleich der absoluten ROM-Mittelwerte zwischen männlichen und weiblichen Testpersonen

ROM 1-8 (cm^2) männlich (n=68) / weiblich (n=46)	Mittelwerte		p-Wert
	männlich	weiblich	
ROM 1 (Stat., open)	0,78	0,88	0,604
ROM 2 (Stat., closed)	1,12	1,08	0,874
ROM 3 (Stat., foam, open)	3,84	2,58	0,002
ROM 4 (Stat., foam, closed)	13,41	9,53	0,011
ROM 5 (Dyn., open)	3,55	2,20	0,000
ROM 6 (Dyn., closed)	47,20	27,66	0,000
ROM 7 (Dyn., foam, open)	4,60	2,98	0,000
ROM 8 (Dyn., foam, closed)	65,03	35,22	0,000

5.3.2 Vergleich der körpergrößenbereinigten Referenzwerte

In diesem Unterkapitel werden die Ergebnisse körpergrößenbereinigt dargestellt. Das bedeutet, dass jeder COPT- bzw. ROM-Wert durch die Körpergröße (in cm) der jeweiligen Testperson dividiert wird. Man erhält das Ergebnis des körpergrößenbereinigten COPT in der Einheit „Zentimeter pro Zentimeter Körpergröße“ (Tab. 10) bzw. das Ergebnis des ROM in der Einheit „Quadratzentimeter pro Zentimeter Körpergröße“ (Tab. 11).

Tab. 10: Vergleich der körpergrößenbereinigten COPT-Mittelwerte zwischen männlichen und weiblichen Testpersonen

COPT 1-8 körpergrößenbereinigt (cm/cm Körpergröße)	Mittelwerte		p-Wert
	männlich	weiblich	
COPT 1 (Stat., open)	0,1493	0,1603	0,195
COPT 2 (Stat., closed)	0,1996	0,1942	0,652
COPT 3 (Stat., foam, open)	0,4317	0,4673	0,285
COPT 4 (Stat., foam, closed)	0,6807	0,6477	0,407
COPT 5 (Dyn., open)	0,3607	0,2860	0,000
COPT 6 (Dyn., closed)	1,1855	0,9259	0,000
COPT 7 (Dyn., foam, open)	0,5174	0,5011	0,633
COPT 8 (Dyn., foam, closed)	1,3532	1,0634	0,000

Bei genauerer Betrachtung der Ergebnisse in Tabelle 10 fällt auf, dass es nicht nur bei den Messungen des COPT 1-3 keine signifikanten Mittelwertunterschiede zwischen Männern und Frauen gibt, sondern dass sich auch die Werte des COPT 4 nicht signifikant voneinander unterscheiden. Das bedeutet also, dass es bei der gesamten statischen Posturographie keine Unterschiede im körpergrößenbereinigten COPT der männlichen und weiblichen Testpersonen gibt.

Bei der dynamischen posturographischen Messreihe zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei der Gegenüberstellung der absoluten COPT-Mittelwerte oben in Kapitel 5.3.1. Es gibt auch hier eine einzige Ausnahme, nämlich die Messung 7 (Dyn., foam, open), bei der keine signifikanten Unterschiede im körpergrößenbereinigten COPT erkennbar sind. Die beiden Messungen 5 und 6 auf hartem Untergrund, sowie die letzte Messung 8 auf der Schaumstoffmatte mit geschlossen Augen, brachten allesamt hochsignifikante Unterschiede ($p < 0,001$) bezüglich des Geschlechts hervor. Offensichtlich lassen sich also die niedrigeren COPT-Werte der Frauen nicht durch die Körpergrößenunterschiede erklären. Darüber hinaus scheint das visuelle System im Zuge der dynamischen

Messungen bei den Männern noch mehr Einfluss zu haben, da diese deutlich höhere Werte aufweisen als die Frauen.

Vergleicht man die körpergrößenbereinigten ROM-Mittelwerte der männlichen und weiblichen Testpersonen, wird deutlich, dass die Ergebnisse ähnlich wie im vorherigen Kapitel ausfallen: Es konnten sowohl beim ROM 1 als auch beim ROM 2 keine signifikanten Mittelwertunterschiede ausfindig gemacht werden. Ab dem ROM 3 sind die Unterschiede zwischen Männern und Frauen signifikant, bei den vier dynamischen Messungen sind sie abermals hochsignifikant. Einmal mehr lassen sich die größten Unterschiede bei den Testbedingungen mit geschlossenen Augen (ROM6 und ROM 8) feststellen.

Tab. 11: Vergleich der körpergrößenbereinigten ROM-Mittelwerte zwischen männlichen und weiblichen Testpersonen

ROM 1-8 körpergrößenbereinigt (cm ² /cm Körpergröße)	Mittelwerte		p-Wert
	männlich	weiblich	
ROM 1 (Stat., open)	0,0043	0,0053	0,417
ROM 2 (Stat., closed)	0,0062	0,0065	0,830
ROM 3 (Stat., foam, open)	0,0212	0,0156	0,014
ROM 4 (Stat., foam, closed)	0,0744	0,0570	0,040
ROM 5 (Dyn., open)	0,0197	0,0132	0,000
ROM 6 (Dyn., closed)	0,2606	0,1661	0,000
ROM 7 (Dyn., foam, open)	0,0255	0,0179	0,001
ROM 8 (Dyn., foam, closed)	0,3593	0,2113	0,000

5.4 Unterschiede / Zusammenhänge statisch und dynamisch

Es werden die Parameter COPT und ROM mithilfe des t-Tests für abhängige Stichproben auf Unterschiede zwischen den Messungen 1 und 5, 2 und 6, 3 und 7, sowie 4 und 8 geprüft. Dabei erfolgt jeweils eine Trennung nach Geschlecht.

Tab. 12: Vergleich der COPT-Mittelwerte statisch versus dynamisch

COPT (cm) statisch vs. dynamisch	Mittelwerte männlich		p-Wert	Mittelwerte weiblich		p-Wert
	stat.	dyn.		stat.	dyn.	
COPT 1 vs. COPT 5	26,9	65,0	0,000	26,6	47,4	0,000
COPT 2 vs. COPT 6	36,0	213,8	0,000	32,2	153,6	0,000
COPT 3 vs. COPT 7	77,6	93,2	0,000	77,5	83,1	0,103
COPT 4 vs. COPT 8	122,5	244,0	0,000	107,7	176,5	0,000

Die Messergebnisse hinsichtlich der Strecke des Druckmittelpunkts zeigen eindeutige Unterschiede zwischen den statischen und dynamischen Testbedingungen, welche man auch erwarten durfte (Tab. 12). Einzig bei den weiblichen Testpersonen konnte man bei der 3. und 7. Messung keine signifikanten Unterschiede in der Grundgesamtheit identifizieren ($p = 0,103$).

Beim Vergleich der statischen und dynamischen ROM-Mittelwerte lässt sich derselbe Trend erkennen (Tab. 13). Bei jener Testsituation, bei der die somatosensiblen Afferenzen ausgeschaltet bzw. verringert werden, sind die Ergebnisse bei den Frauen nicht signifikant verschieden ($p = 0,085$).

Tab. 13: Vergleich der ROM-Mittelwerte statisch versus dynamisch

ROM (cm ²) statisch vs. dynamisch	Mittelwerte männlich		p-Wert	Mittelwerte weiblich		p-Wert
	stat.	dyn.		stat.	dyn.	
ROM 1 vs. ROM 5	0,78	3,55	0,000	0,88	2,20	0,000
ROM 2 vs. ROM 6	1,12	47,20	0,000	1,08	27,66	0,000
ROM 3 vs. ROM 7	3,84	4,60	0,039	2,58	2,98	0,085
ROM 4 vs. ROM 8	13,41	65,03	0,000	9,53	35,22	0,000

Mittels Korrelationsrechnung nach Pearson wird untersucht, ob dieselben Personen bei der statischen Einzelmessung niedrige COPT- bzw. ROM-Werte erreichen wie bei der dynamischen Einzelmessung. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen COPT 1 und COPT 5 (Abb. 35) ist in sehr geringem Ausmaß gegeben ($r = 0,268$). Hingegen besteht kein linearer Zusammenhang zwischen den beiden ROM-Werten (Abb. 36).

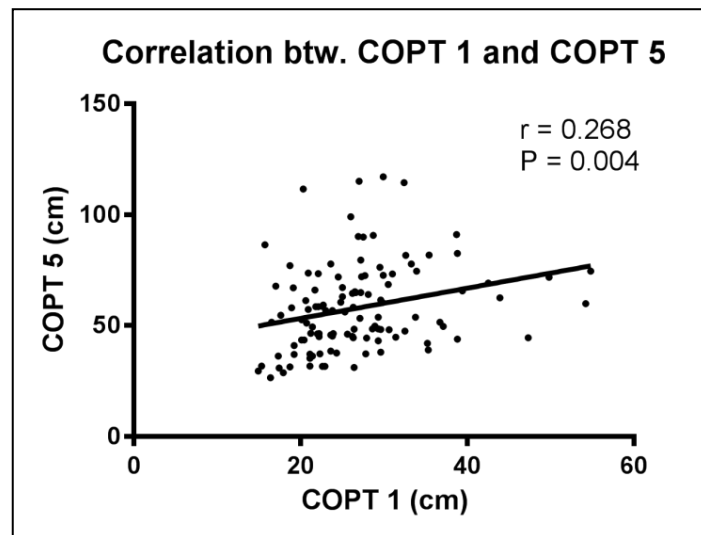


Abb. 35: Zusammenhang zwischen COPT 1 und COPT 5

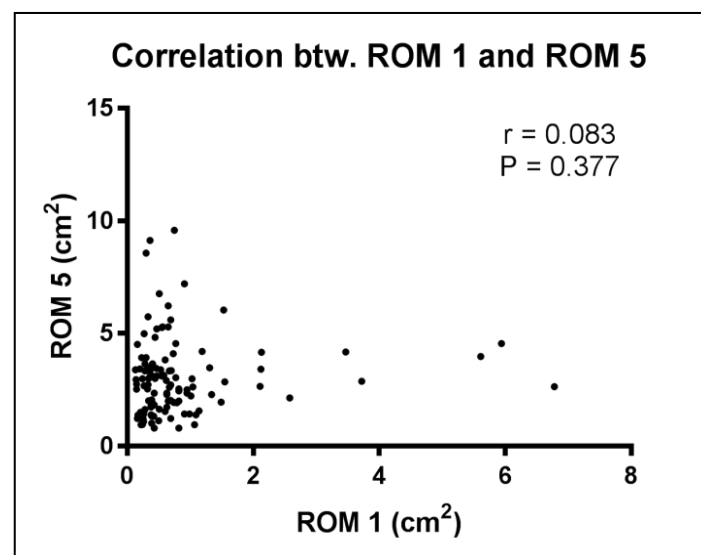


Abb. 36: Zusammenhang zwischen ROM 1 und ROM 5

5.5 Einfluss des visuellen Systems

Um zu sehen, inwiefern sich die COPT- bzw. ROM-Werte durch Schließen der Augen verändern, betrachtet man den Vergleich von 1. und 2. sowie 5. und 6. Einzelmessung. Bei den COPT-Werten lässt sich die Annahme, dass das visuelle System keine Rolle spielt, klar verwerfen, da sich bei allen vier betrachteten Vergleichen hochsignifikante Unterschiede ergeben ($p < 0,001$). Offensichtlich sind die Differenzen der Absolutwerte auf instabilem Untergrund deutlich größer (Tab. 14).

Tab. 14: COPT-Unterschiede der Testbedingungen mit offenen vs. geschlossenen Augen

COPT (cm) offen vs. geschlossen	Mittelwerte männlich		p-Wert	Mittelwerte weiblich		p-Wert
	offen	geschl.		offen	geschl.	
COPT 1 vs. COPT 2	26,9	36,0	0,000	26,6	32,2	0,000
COPT 5 vs. COPT 6	65,0	213,8	0,000	47,4	153,6	0,000

Der Vergleich der ROM-Werte in Tabelle 15 zeigt bei Frauen überraschenderweise im statischen Zustand keine signifikanten Unterschiede ($p = 0,256$). Die mittlere Differenz des ROM 1 und ROM 2 beträgt lediglich $0,2 \text{ cm}^2$. Auf instabilem Untergrund hingegen lassen sich bezüglich Bewegungsfläche enorm große Mittelwertunterschiede zwischen den Testungen mit offenen und geschlossenen Augen feststellen (männlich: $43,65 \text{ cm}^2$; weiblich: $25,46 \text{ cm}^2$).

Tab. 15: ROM-Unterschiede der Testbedingungen mit offenen vs. geschlossenen Augen

ROM (cm ²) offen vs. geschlossen	Mittelwerte männlich		p-Wert	Mittelwerte weiblich		p-Wert
	offen	geschl.		offen	geschl.	
ROM 1 vs. ROM 2	0,78	1,12	0,007	0,88	1,08	0,256
ROM 5 vs. ROM 6	3,55	47,20	0,000	2,20	27,66	0,000

5.6 Einfluss des somatosensorischen Systems

Möchte man untersuchen, ob sich die COPT- bzw. ROM-Werte durch den Einsatz einer 40mm-Schaumstoffmatte verändern, wird auch hier der t-Test für abhängige Stichproben verwendet und es werden die Werte der 1. und 3. sowie 5. und 7. Einzelmessung miteinander verglichen. Die Ergebnisse in Tabelle 16 verdeutlichen, dass auch in diesem Fall die These, dass das somatosensorische System im Zuge der Haltungskontrolle eine Rolle spielt, angenommen werden kann. Sowohl die Werte COPT 1 und 3, als auch die Werte COPT 5 und 7 unterscheiden sich hochsignifikant voneinander ($p < 0,001$).

Tab. 16: COPT-Unterschiede bei den Testbedingungen ohne Matte versus mit Matte

COPT (cm) ohne vs. mit Matte	Mittelwerte männlich		p-Wert	Mittelwerte weiblich		p-Wert
	ohne Matte	mit Matte		ohne Matte	mit Matte	
COPT 1 vs. COPT 3	26,9	77,6	0,000	26,6	77,5	0,000
COPT 5 vs. COPT 7	65,0	93,2	0,000	47,4	83,1	0,000

Beim Vergleich der Parameter ROM 1 versus ROM 3 sowie ROM 5 versus ROM 7 lassen sich sowohl bei den männlichen als auch bei den weiblichen Testpersonen hochsignifikante Unterschiede ($p < 0,01$) feststellen (Tab.17). Bezüglich der mittleren Differenzen lässt sich sagen, dass diese beim Vergleich ROM 1 versus ROM 3 wesentlich größer sind, als beim Vergleich ROM 5 versus ROM 7.

Tab. 17: ROM-Unterschiede bei den Testbedingungen ohne Matte versus mit Matte

ROM (cm ²) ohne vs. mit Matte	Mittelwerte männlich		p-Wert	Mittelwerte weiblich		p-Wert
	ohne Matte	mit Matte		ohne Matte	mit Matte	
ROM 1 vs. ROM 3	0,78	3,84	0,000	0,88	2,58	0,000
ROM 5 vs. ROM 7	3,55	4,60	0,003	2,20	2,98	0,000

5.7 Zusammenhänge zwischen COPT und ROM

Zu guter Letzt wird untersucht, ob jene beiden erhobenen Parameter, welche Auskunft über die posturale Stabilität geben, miteinander korrelieren. Mithilfe der Pearson-Korrelationsrechnung werden jeweils COPT 1 und ROM 1, COPT 2 und ROM 2 usw. auf Zusammenhänge überprüft. Anhand der Abbildungen 37 und 38, welche die statischen bzw. dynamischen posturographischen Messreihen darstellen, werden hochsignifikante Zusammenhänge zwischen COPT und ROM ersichtlich ($p < 0,0001$). Abgesehen von den Messungen 3 und 7, handelt es sich um hohe lineare Zusammenhänge ($r > 0,7$).

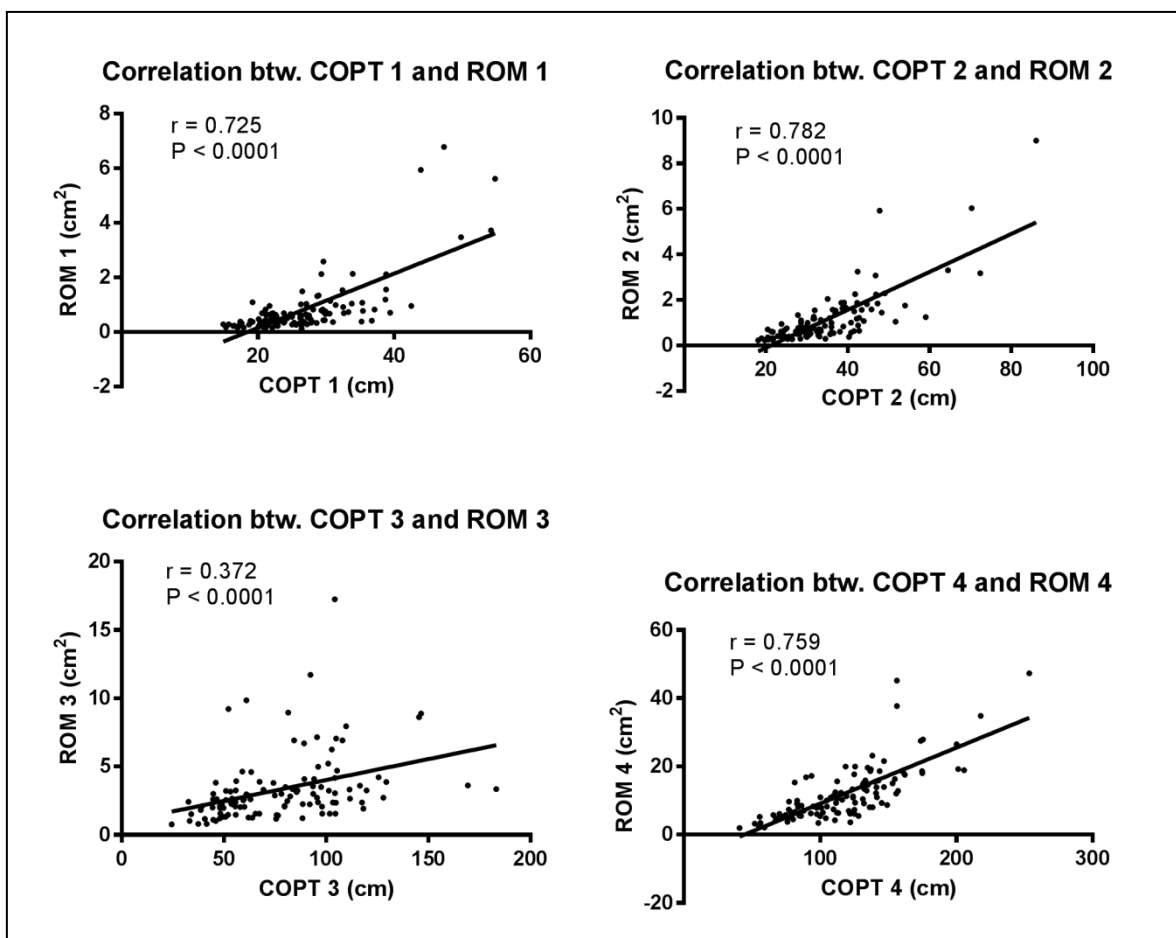


Abb. 37: Korrelationen zwischen COPT und ROM der vier statischen Einzelmessungen

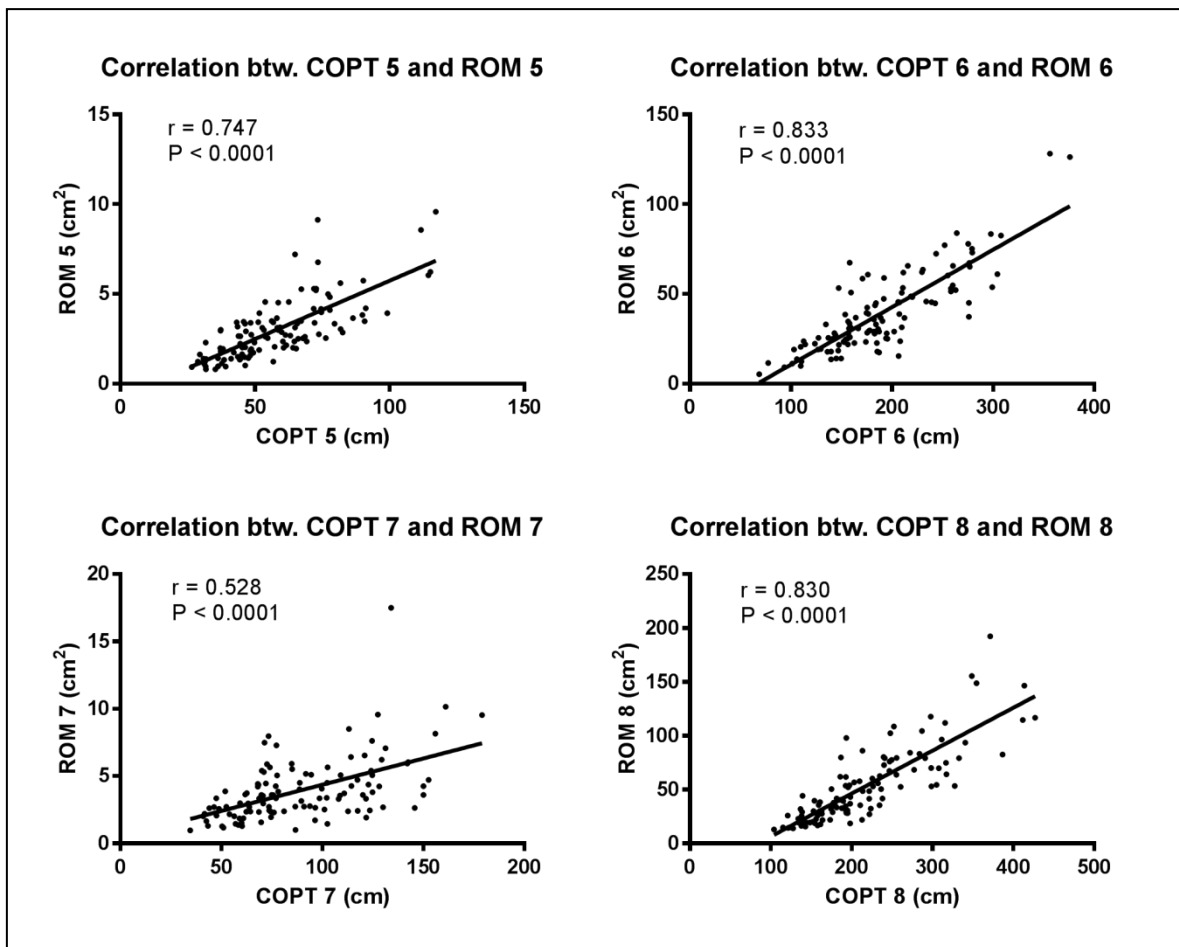


Abb. 38: Korrelationen zwischen COPT und ROM der vier dynamischen Einzelmessungen

6 Diskussion

Das primäre Ziel dieser Studie war die Referenzwerterhebung der Strecke des Druckmittelpunkts und der Bewegungsfläche bei jungen, gesunden Erwachsenen. Diese bilden in gewisser Weise das Fundament für weiterführende wissenschaftliche Untersuchungen. Neben einer deskriptiven Darstellung der Daten wurden die beiden Parameter auf Unterschiede bzw. Zusammenhänge überprüft, um erste Erkenntnisse des neu entwickelten Geräts Sense wave medical® zu gewinnen. Anhand der Forschungsfragen werden die Ergebnisse im folgenden Abschnitt diskutiert.

Wie bereits im Kapitel 2.4.1 erwähnt, berichten mehrere Autoren (Alonso et al., 2012; Greve et al., 2007; Hue et al., 2007; Ku et al., 2012) von einem Zusammenhang zwischen anthropometrischen Parametern (z. B. Körpergröße, Körpergewicht, BMI) und posturaler Stabilität. Auf den Body-Mass-Index wird in dieser Studie nicht näher eingegangen, da die Gruppe der Probandinnen und Probanden sehr homogen bezüglich dessen ist. In Einklang mit vorhergehenden Resultaten von Alonso et al. (2012) zeigt sich auch in dieser Studie ein linearer Zusammenhang zwischen der Körpergröße und den Parametern der posturalen Kontrolle. Vor allem bei dynamischen posturographischen Testsituationen dürfte es einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Körpergröße und diesen geben. Innerhalb der dynamischen Messreihe lassen sich die höchsten Zusammenhänge bei den Testbedingungen mit geschlossenen Augen erkennen, was ebenfalls mit der Annahme von Alonso et al. (2015) übereinstimmt.

Des Weiteren lassen sich lineare Zusammenhänge zwischen dem Körpergewicht und dem COPT bzw. ROM erkennen. Dies deutet darauf hin, dass sich mit zunehmendem Körpergewicht die Werte bezüglich posturaler Stabilität sowohl bei offenen als auch bei geschlossenen Augen verschlechtern, wie auch schon von Hue et al. (2007) beschrieben. Wie hoch der Einfluss des Körpergewichts bzw. die Gewichtung der einzelnen anthropometrischen Variablen tatsächlich ist, lässt sich im Zuge dieser Diplomarbeit nicht einschätzen, da für solch eine Prognose eine multiple Regressionsanalyse durchgeführt werden müsste (Bös, Hänsel & Schott, 2004).

Bös, Hänsel und Schott (2004, S. 171) sind der Ansicht, dass „die Bedeutsamkeit einer Korrelation nicht nur von ihrer numerischen Höhe, sondern vor allem auch von der Stichprobengröße und der Stichprobenzusammensetzung abhängig ist.“ Da es sich bei dieser durchgeführten Untersuchung um eine relativ homogene Stichprobe handelt, sind die Zusammenhänge vermutlich auch etwas niedriger als dies bei einer heterogenen Stichprobenzusammensetzung der Fall wäre. Um diese Behauptung zu beweisen, würde

sich bei weiterführenden Untersuchungen hinsichtlich anthropometrischer Parameter eine Auswahl von Testpersonen mehrerer BMI-Klassen anbieten.

Insgesamt betrachtet, deuten die Ergebnisse dieser Diplomarbeit wohl auf die Grundannahme von Kejonen, Kauranen und Vanharanta (2003) hin, wonach anthropometrische Parameter geringe Auswirkungen auf die posturale Balance im beidbeinigen Stand mit offenen Augen haben. Generell scheint es aber keinen einzelnen Parameter zu geben, welcher die unterschiedlichen Körperschwankungen bei gesunden Testpersonen erklären kann.

Hinsichtlich der geschlechtsspezifischen Unterschiede lässt sich behaupten, dass sich die Werte des COPT und ROM bei beiden statischen Testbedingungen auf hartem Untergrund nicht signifikant voneinander unterscheiden. Die Mittelwerte der Einzelmessungen 1 und 2 zeigen sowohl bei den absoluten als auch bei den körpergrößenbereinigten Werten keine nennenswerten Unterschiede in den Geschlechtern. Dies deckt sich nicht mit der Studie von Feraldo-García, Santos-Pérez, Labella-Caballero und Soto-Varela (2011), welche mittels Sensory Organisation Tests zur Erkenntnis kamen, dass bei der Testbedingung 1 (Stat., open, fixed visual surroundings) die männlichen Testpersonen signifikant bessere Balancewerte erzielen konnten.

Ab der 3. Einzelmessung (Stat., foam, open) machen sich hinsichtlich der absoluten ROM-Mittelwerte erste signifikante Unterschiede bemerkbar (Tab. 9), während dies hinsichtlich der absoluten COPT-Mittelwerte erst ab der 4. Einzelmessung (Stat., foam, closed) der Fall ist (Tab. 8). Ein zumindest ähnlicher Sachverhalt konnte im Zuge der Literaturrecherche diesbezüglich noch nicht gefunden werden. Aus diesem Grund müssen allgemeingültige Aussagen hinsichtlich eines geschlechtsspezifischen Vergleichs stets mit Vorsicht betrachtet werden.

Bei den Einzelmessungen 5, 6 und 8 lassen sich bei den absoluten und körpergrößenbereinigten COPT-Mittelwerten hochsignifikante Unterschiede in den Geschlechtern erkennen. Dies bedeutet, dass auf labilem Untergrund mit offenen und geschlossenen Augen, sowie auf der Schaumstoffmatte mit geschlossenen Augen, die Männer signifikant höhere Werte bezüglich der Strecke des Druckmittelpunkts aufweisen, als die Frauen. Vor allem bei den beiden Messungen mit geschlossenen Augen sind die mittleren Differenzen mit 60,2 cm und 67,5 cm enorm (Tab. 8). Die Gründe, weshalb sich die COPT-Werte ausgerechnet bei der 7. Einzelmessung (Dyn., foam, open) nicht signifikant voneinander unterscheiden, können sowohl nach Analyse dieser Daten als auch mithilfe der Literatur nicht gefunden werden.

Um auszuschließen, dass diese Unterschiede nur aufgrund der Körpergröße erklärt werden können, wurde mithilfe des t-Tests ein Vergleich der körpergrößenbereinigten COPT- bzw. ROM-Werte der Männer und Frauen durchgeführt. Das Ergebnis verhält sich bei den COPT-Werten nicht eindeutig (die Unterschiede sind nicht mehr signifikant bei der 4. Messung), während bei den ROM-Werten derselbe Trend wie bei den Absolutwerten erkennbar ist (vergleiche dazu die Tabellen 8 und 10 bzw. 9 und 11). Bezüglich Bewegungsfläche zeigt sich, dass ab der 3. Messung ein signifikanter Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Testpersonen besteht. Auch hier sind die größten Unterschiede abermals bei den dynamischen Messungen, insbesondere bei den Messungen 6 und 8 erkennbar. Insgesamt betragen die ROM-Werte der männlichen Probanden ca. das 1,5-fache der Werte der weiblichen Probandinnen. Deshalb kann man in diesem Zusammenhang von beträchtlichen Unterschieden sprechen.

Anschließend wurde im Zuge dieser Diplomarbeit erforscht, ob es Unterschiede bzw. Zusammenhänge zwischen der statischen und dynamischen posturalen Stabilität gibt. Man betrachtet also zuallererst, ob bzw. in welchem Ausmaß sich die Werte bei den Testbedingungen 1 und 5, 2 und 6, 3 und 7 sowie 4 und 8 unterscheiden. Bei allen Vergleichen zeigen sich hochsignifikante Unterschiede zwischen diesen Einzelmessungen ($p < 0,001$). Dies lässt sich relativ einfach erklären, da sich die Standplattform bei den dynamischen Messungen plötzlich in alle Richtungen bewegt, was in der Regel schwieriger auszubalancieren ist. Einzig bei den weiblichen Testpersonen erkennt man bei beiden Parametern keinen signifikanten Unterschied zwischen den Messungen 3 (Stat., foam, open) und 7 (Dyn., foam, open). Daraus lässt sich schließen, dass es für Frauen offensichtlich keinen Unterschied macht, ob sie bei Verwendung einer 40mm-Schaumstoffmatte auf festem oder auf labilem Untergrund stehen. In der Literatur konnten bezüglich dieses Phänomens keine Ergebnisse gefunden werden.

Was den Zusammenhang zwischen statischer und dynamischer Haltungskontrolle einer Person betrifft, stimmen die Ergebnisse im Wesentlichen mit den Untersuchungen von Karimi und Solomonidis (2011) und Sell (2012) überein. Aufgrund des sehr geringen linearen Zusammenhangs zwischen COPT 1 und COPT 5 ($r = 0,268$), sowie aufgrund des nicht-signifikanten Zusammenhangs zwischen ROM 1 und ROM 5, können insgesamt im Zuge dieser Diplomarbeit keine nennenswerten Zusammenhänge festgehalten werden. Demnach wäre die Behauptung falsch, dass eine Person mit hohen Werten beim COPT 1 bzw. ROM 1 auch hohe Werte beim COPT 5 bzw. ROM 5 aufweist. Somit scheint die statische Posturographie wenig Aussagekraft hinsichtlich der dynamischen Haltungskontrolle einer Person zu haben. Dies konnte ebenfalls bereits von Turbanski und Schmidtbleicher (2010) bestätigt werden.

Gemäß der Ergebnisse dieser Diplomarbeit scheint insgesamt die Vermutung naheliegend, dass unter statischen Bedingungen bei einer Beeinträchtigung bzw. Funktionsstörung eines posturalen Teilsystems das Gleichgewicht leichter aufrecht erhalten werden kann, indem die anderen Systeme diesen Ausfall schneller kompensieren können, während bei dynamischen Bedingungen die Kompensation verzögert wird bzw. nur unzureichend ausfällt (Browne & O'Hare, 2001).

Bei genauerem Vergleich jener statischen bzw. dynamischen Testbedingungen, bei denen die Augen zunächst offenen und danach geschlossenen waren, wird nach Durchführung des t-Tests schnell deutlich, dass es signifikante Unterschiede zwischen den Testbedingungen 1 und 2 bzw. 5 und 6 gibt. Dies ist auch wenig verwunderlich, schließlich haben bereits die in Kapitel 2.4.3 erläuterten Studien unterschiedlicher Autoren (Hafström et al., 2002; Lee & Scudds, 2003; Palm et al., 2009) den hohen Einfluss des visuellen Systems an der Haltungskontrolle bestätigt. Interessant ist diesbezüglich die Tatsache, dass die Differenzen zwischen Messung 1 und 2 sowohl beim COPT als auch beim ROM äußerst gering ausfallen, während diese zwischen den Messungen 5 und 6 wesentlich höher sind (Tab. 14 und 15). Diese Erkenntnis deckt sich exakt mit der Studie von Ray et al. (2008). Insbesondere scheint auf labilem Untergrund vor allem bei den Männern das visuelle System eine besonders hohe Rolle zu spielen.

Vergleicht man in weiterer Folge jene statischen bzw. dynamischen Testbedingungen, bei denen die Testpersonen zuerst auf hartem und danach auf weichem Untergrund stehen (also Messung 1 versus 3 bzw. 5 versus 7), so kommen auch hier hochsignifikante Unterschiede in der Strecke des Druckmittelpunkts und in der Bewegungsfläche zum Vorschein ($p < 0,001$). Auch diese Erkenntnis erscheint ziemlich naheliegend: Beim aufrechten Stehen auf festem Untergrund wird laut Horak (2006) dem somatosensorischen System eine hohe Bedeutung zugeschrieben. Beim Vergleich der Messungen 1 und 3 wird schnell deutlich, dass die COPT- bzw. ROM-Mittelwerte der 3. Messung in etwa dreimal so hoch wie bei der 1. Messung sind (Tab. 16 und 17). Der Einsatz der Schaumstoffmatte scheint die somatosensiblen Afferenzen also weitestgehend auszuschalten und der Ausfall dieses posturalen Systems kann offensichtlich nicht vollständig kompensiert werden. Ebenso konnte gezeigt werden, dass sich auch die Werte der dynamischen Messungen 5 und 7 hochsignifikant voneinander unterscheiden ($p < 0,01$). Allerdings fallen die mittleren Differenzen hier wesentlich kleiner aus. Das bedeutet, dass die Verwendung einer 40mm-Schaumstoffmatte bei der statischen Posturographie eine wesentlich größere Auswirkung zu haben scheint, als bei der dynamischen Posturographie.

Wie groß die Anteile der posturalen Teilsysteme an der Haltungskontrolle eines Menschen tatsächlich sind, lässt sich mithilfe der sog. Fourier-Frequenzanalyse feststellen (Schwesig, Lauenroth, Müller, Becker & Hottenrott, 2006). Da das Testgerät Sense wave medical die einzelnen Frequenzbereiche F1 – F8 erfassen kann, wären auch auf diesem Forschungsgebiet weiterführende Studien sinnvoll.

Im Zuge der Diskussion der Ergebnisse bleiben nach Meinung des Autors auch ein paar interessante Fragen offen, welche zugleich die Limitationen der durchgeführten Studie darlegen:

- Da bei den Testungen ausschließlich junge, gesunde Personen, insbesondere Sportstudierende, getestet worden sind, kann von keiner repräsentativen Stichprobe der Gesamtbevölkerung ausgegangen werden.
- Es ist nicht auszuschließen, dass die unterschiedliche Tageszeit bzw. –verfassung bei der Testung eine Rolle spielt. Die ersten Testungen haben um 9 Uhr morgens begonnen, die letzten Testungen wurden gegen 16 Uhr durchgeführt.
- Die hüftbreite Standposition war nicht bei allen Probandinnen und Probanden bei den einzelnen Messungen standardisiert, da es keine gekennzeichnete Position für die Ausgangsstellung der Füße gab und die Personen zwischen jeder Einzelmessung kurz die Standplattform verlassen mussten.
- Weiters ist auch nicht geklärt, inwiefern die Sprunggelenks- und Hüftgelenksstrategie die Ergebnisse des Testgeräts Sense wave medical, insbesondere die Werte COPT und ROM, beeinflussen.
- Da man sich in der aktuellen Literatur nicht einig ist, stellt sich auch hier die Frage, wie hoch die Reliabilität der Parameter COPT bzw. ROM bei Verwendung dieses Testgeräts tatsächlich ist.
- Ebenfalls bleibt die Frage offen, wie zuverlässig diese Werte sind, um in Zukunft qualitativ hochwertige Aussagen hinsichtlich der Sturzprophylaxe einer Person treffen zu können.
- In diesem Zusammenhang bräuchte man Informationen über die tatsächliche Qualität bzw. Gewichtung der posturalen Teilsysteme einer einzelnen Testperson, was mithilfe der Berechnung des COPT bzw. ROM nur unzureichend geklärt werden kann.
- Abschließend wäre es nach Meinung des Autors interessant zu wissen, ob bzw. inwiefern sich aus diesen gewonnenen Daten Aussagen für komplexere dynamische Bewegungen bzw. für die koordinative Basis einer Person treffen lassen.

Abgesehen von den Limitationen dieser Studie vertritt Horak (2006) die Ansicht, dass kein Testverfahren wissenschaftlich gesicherte Aussagen über die gesamte Balancefähigkeit einer Person treffen kann. Außerdem eignet sich seiner Meinung nach ein einzelnes Testverfahren für manche Personengruppen besser, für andere hingegen schlechter.

7 Zusammenfassung

Neben der Erhebung von Referenzwerten, galt es zu untersuchen, inwiefern sich die unterschiedlichen Testbedingungen (Augen offen/geschlossen, ohne Matte/mit Matte) auf die statische bzw. dynamische Posturographie, insbesondere auf die Strecke des Druckmittelpunkts und die Bewegungsfläche, auswirken. Dazu werden in Abbildung 39 alle erhobenen Werte noch einmal übersichtlich dargestellt.

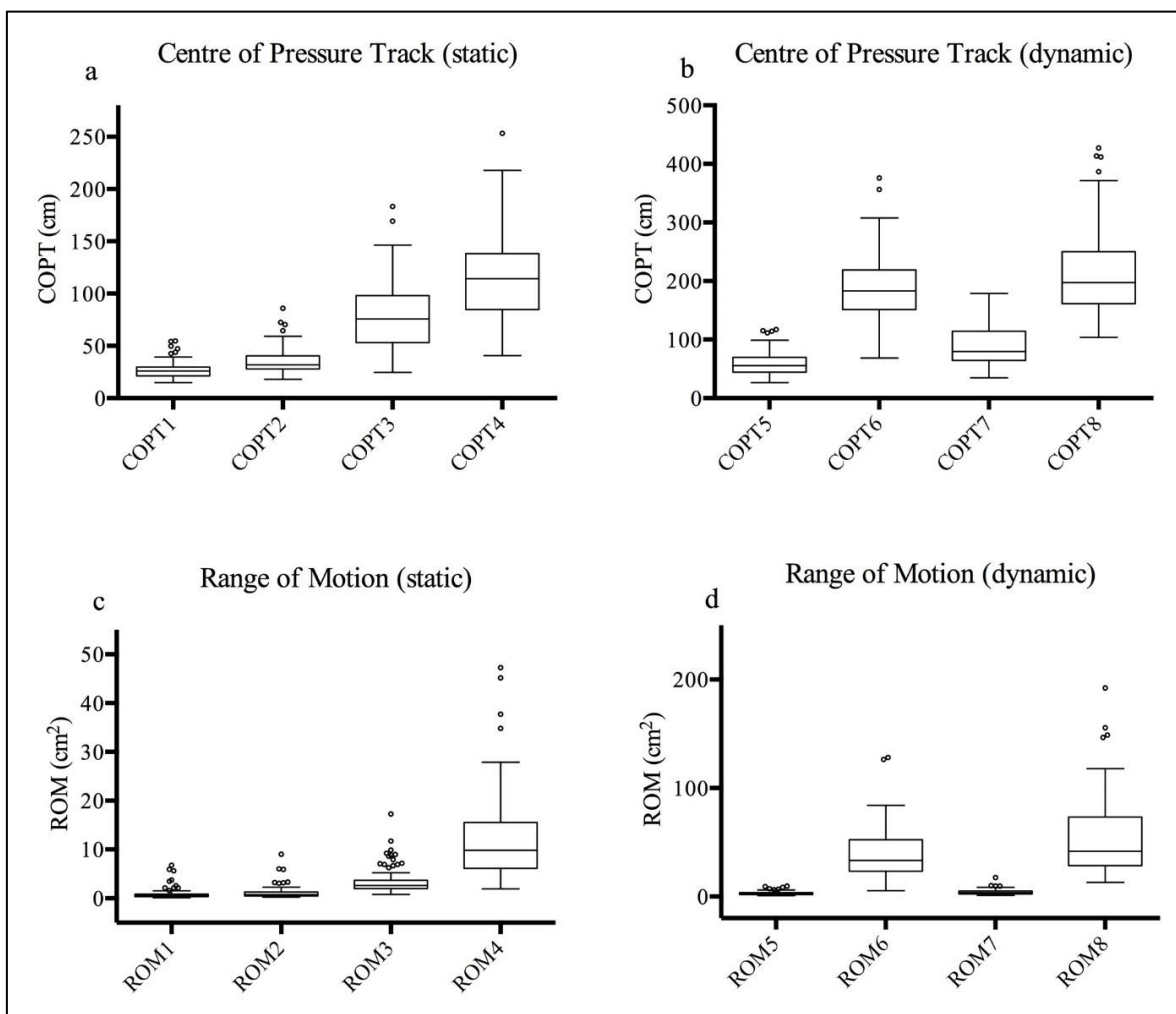


Abb. 39: Graphische Darstellung der a) statischen und b) dynamischen Referenzwerte für COPT sowie der c) statischen und d) dynamischen Referenzwerte für ROM

Ein mittlerer positiver Zusammenhang zwischen den anthropometrischen Parametern Körpergröße bzw. Körpergewicht und den Parametern COPT bzw. ROM ist vor allem bei den dynamischen posturographischen Testbedingungen gegeben. Dieser scheint insbesondere bei den Testbedingungen mit geschlossenen Augen etwas höher zu sein.

Offensichtlich sind die Differenzen der Absolutwerte von männlichen und weiblichen Probandinnen auf instabilem Untergrund deutlich größer. Die Frauen weisen durchschnittlich wesentlich geringere COPT- und ROM-Werte auf. Diese lassen sich aber nicht durch die Körpergrößenunterschiede erklären.

Vergleicht man jeweils dieselbe Testbedingung statisch versus dynamisch, so lassen sich – mit Ausnahme des Vergleichs der 3. und 7. Messung bei den Frauen – hochsignifikante Unterschiede ($p < 0,001$) erkennen. Erwartungsgemäß verstärken sich also die Effekte auf labilem Untergrund.

Die mittleren Differenzen des COPT und ROM bei Deaktivierung des visuellen Systems sind beim Stehen auf festem Untergrund nicht so groß wie auf instabilem. Dieser Sachverhalt ist bei Betrachtung des somatosensorischen Systems nicht in dieser Form erkennbar. An der Abbildung 39 erkennt man, dass die Schwierigkeit die posturale Stabilität zu erhalten auf labilem Untergrund bei Ausschalten des visuellen Systems größer ist als bei Deaktivierung des somatosensorischen Systems (vgl. Unterschiede Messung 2 vs. 3 und 6 vs. 7).

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.

8 Literaturverzeichnis

- Akkaya, N., Doganlar, N., Celik, E., Engin, A. S., Akkaya, S., Güngör, H. R. & Sahin, F. (2015). Test-retest reliability of Tetrax® Static Posturography System in young adults with low physical activity level. *The International Journal of Sports Physical Therapy*, 10(6), 893-900.
- 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>
- Arnold, B. L. & Schmitz, R. J. (1998). Examination of Balance Measures Produced by the Biodex Stability System. *Journal of Athletic Training*, 33(4), 323-327.
- Balasubramaniam, R. & Wing, A. M. (2002). The dynamics of standing balance. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(12), 531-536.
- 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.
- Bauer, C. M., Gröger, I., Rupprecht, R., Tibesku, C. O. & Gaßmann, K. G. (2010). Reliabilität der statischen Posturografie bei älteren Personen. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 43(4), 245-248. doi: 10.1007/s00391-009-0052-6
- Becker, C., Freiberger, E., Hammes, A., Lindemann, U., Regelin, P. & Winkler, J. (2010). *Sturzprophylaxe-Training*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Behrens, J. R., Mertens, S., Krüger, T., Grobelny, A., Otte, K., Mansow-Model, S., Gusho, E., Paul, F., Brandt, A. U. & Schmitz-Hübsch, T. (2016). Validity of visual perceptive computing for static posturography in patients with multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis Journal*, 22(12), 1596-1606. doi: 10.1177/1352458515625807
- Bertram, A. M. & Laube, W. (2008). *Sensomotorische Koordination. Gleichgewichtstraining auf dem Kreisel*. Stuttgart: Thieme.

- Birklbauer, J. (2006). *Modelle der Motorik*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer.
- Bös, K. (2001). *Handbuch Motorische Tests*. Göttingen: Hogrefe.
- Bös, K., Hänsel, F. & Schott, N. (2004). *Empirische Untersuchungen in der Sportwissenschaft*. Hamburg: Czwalina.
- Bouchard, D. & Tétéault, 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. (2001). Review of the different methods for assessing standing balance. *Physiotherapy*, 87(9), 489-495.
- 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.
- Chaudhry, H., Findley, T., Quigley, K. S., Bukiet, B., Ji, Z., Sims, T. & Maney, M. (2004). Measures of postural stability. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 41(5), 713-720.
- 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.
- De Marées, H. (2003). *Sportphysiologie*. Köln: Strauss.
- Diemer, F. & Sutor, V. (2011). *Praxis der medizinischen Trainingstherapie 1. Lendenwirbelsäule, Sakroiliakgelenk und untere Extremität*. Stuttgart: Thieme.
- 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.
- Doyle, R. J., Hsiao-Wecksler, E. T., Ragan, B. T. & Rosengren, K. S. (2007). Generalizability of center of pressure measures of quiet standing. *Gait & Posture*, 25(2), 166-171.
- Duarte, M. & Freitas, S. (2010). Revision of posturography based on force plate for balance evaluation. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 14(3), 183-192.

- Duden.de (2016). Online-Wörterbuch. Zugriff am 24. Mai 2016 unter <http://www.duden.de/rechtschreibung/Gleichgewicht#Bedeutung1b>
- Feraldo-García, A., Santos-Pérez, S., Labella-Caballero, T. & Soto-Varela, A. (2011). Influence of Gender on the Sensory Organisation Test and the Limits of Stability in Healthy Subjects. *Acta Otorrinolaringologica Espanola*, 62(5), 333-338.
- Fetz, F. (1990). *Motorisches Gleichgewicht im Sport* (2., überarbeitete und erweiterte Auflage). Wien: ÖBV.
- Fisher, S. T. (2010). *The intra-session and inter-session reliability of centre-of-pressure based measures of postural sway within a normal population*. Auckland: Unitec Institute of Technology.
- Fransson, P. A., Johansson, R., Hafström, A. & Magnusson, M. (2000). Methods for evaluation of postural control adaptation. *Gait & Posture*, 12(1), 14-24.
- Fukunaga, J. Y., Quitschal, R. M., Doná, F., Ferraz, H. B., Ganaca, M. M. & Caovilla, H. H. (2014). Postural control in Parkinson's disease. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 80(6), 508-514.
- Grace Gaerlan, M., Alpert, P. T., Cross, C., Louis, M. & Kowalski, S. (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.
- 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, Article-ID 850424, 1-5. <http://doi.org/10.1155/2013/850424>
- 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.
- Hirtz, P., Hotz, A. & Ludwig, G. (2005). *Gleichgewicht* (2., unveränderte Auflage). Schorndorf: Hofmann.
- Hollmann, W. & Strüder, H. K. (2009). *Sportmedizin. Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin*. Stuttgart: Schattauer.
- Horak, F. B., Nashner, L. M., Diener, H. C. (1990). Postural strategies associated with somatosensory and vestibular loss. *Experimental Brain Research*, 82(1), 167-177.

- Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age and Ageing*, 35(2), ii7-ii11.
- 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.
- 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, N., Ebrahimi, I., Kahrizi, S. & Torkaman, G. (2008). Evaluation of postural balance using the biodex balance system in subject with and without low back pain. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, 24(3), 372-377.
- Karimi, M. T. & Solomonidis, S. (2011). The relationship between parameters of static and dynamic stability tests. *Journal of Research in Medical Sciences: The Official Journal of Isfahan University of Medical Sciences*, 16(4), 530–535.
- Kejonen, P., Kauranen, K. & Vanharanta, H. (2003). The relationship between anthropometric factors and body-balancing movements in postural balance. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84(1), 17-22.
- Ku, P. X., Abu Osman, N. A., Yusof, A. & Wan Abas, W. A. B. (2012). Biomechanical evaluation of the relationship between postural control and body mass index. *Journal of Biomechanics*, 45(9), 1638-1642.
- Lafond, D., Corriveau, H., Hébert, R. & Prince, F. (2004). Intrasection reliability of center of pressure measures of postural steadiness in healthy elderly people. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85(6), 896-902.
- Lang, F. (2000). *Basiswissen Physiologie*. Berlin: Springer.
- Lee, H. & Scudds, R. (2003). Comparison of balance in older people with and without visual impairment. *Age and Ageing*, 32(6), 643-649.
- Mancini, M. & Horak, F. B. (2010). The relevance of clinical balance assessment tools to differentiate balance deficits. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 46(2), 239–248.
- Meinel, K. & Schnabel, G. (2015). *Bewegungslehre – Sportmotorik. Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt* (12., überarbeitete Auflage). Aachen: Meyer & Meyer.

- Olivier, N. & Rockmann, U. (2003). *Grundlagen der Bewegungswissenschaft und -lehre*. Schorndorf: Hofmann.
- Oltmanns, K. (2007). *Alle Kräfte ins Gleichgewicht! Sensomotorisches Training für Leistungsentwicklung und Prävention*. Münster: Philippka.
- 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. doi: 10.1016/j.gaitpost.2009.05.023
- Redfern, M. S., Yardley, L. & Bronstein, A. M. (2001). Visual influences on balance. *Journal of Anxiety Disorders*, 15(1), 81-94.
- 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. doi:10.1016/j.gaitpost.2007.09.010
- Rockmann, U. & Bömermann, H. (2006). *Grundlagen der sportwissenschaftlichen Forschungsmethoden und Statistik*. 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.
- Schmidt, R. F. & Thews, G. (1997). *Physiologie des Menschen*. Berlin: Springer.
- Schnabel, G., Harre, D. & Krug, J. (2011). *Trainingslehre – Trainingswissenschaft*. 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). Sense wave medical. Zugriff am 4. November 2016 unter <http://www.senseproduct.com/produkte/sense-wave-medical/>
- Stehle, P. (2009). *Expertise „Sensomotorisches Training – Propriozeptives Training“ – Band 1*. Köln: Strauß.

- Strobel, J. (2009). *Reliabilitätsüberprüfung des Biodex Balance Systems*. Dissertation, Universität Ulm, Medizinische Fakultät.
- Taube, W. (2013). Neuronale Mechanismen der posturalen Kontrolle und der Einfluss von Gleichgewichtstraining. *Journal für Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie*, 14(2), 55-63.
- Timmann-Braun, D. (2012). Posturographie. *Das Neurophysiologie-Labor*, 34(3), 113-118. doi: 10.1016/j.neulab.2012.05.001
- Turbanski, S. & Schmidtbleicher, D. (2010). Posturale Kontrolle als situationsabhängige Fertigkeit. *Sportverletzung - Sportschaden*, 24(3), 123-128.
- Weineck, J. (2010). *Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings*. Balingen: Spitta.
- Wollny, R. (2007). *Bewegungswissenschaft. Ein Lehrbuch in 12 Lektionen*. Aachen: Meyer & Meyer.

9 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schematische Gliederung des Gleichgewichts (mod. n. Fetz, 1990, S. 11)	12
Abb. 2: Unterteilung des statischen Gleichgewichts (Fetz, 1990, S. 11).....	12
Abb. 3: Untergliederung des motorischen Gleichgewichts (mod. n. Fetz, 1990, S. 23)....	14
Abb. 4: Systeme der Gleichgewichtskontrolle (Diemer & Sutor, 2011, S. 89)	15
Abb. 5: Sprunggelenks- und Hüftgelenksstrategie (Ray et al., 2008, S. 60)	19
Abb. 6: Der Vestibularapparat (Olivier & Rockmann, 2003, S. 108)	20
Abb. 7: Übersicht über das Zusammenwirken einzelner Systeme bei den bewusst werdenden Vorgängen der Propriozeption (Schmidt & Thews, 1997, S. 223)	22
Abb. 8: Tetrax Static Posturography (Akkaya et al., 2015, S. 896)	27
Abb. 9: Biodex Stability System (Strobel, 2009, S. 7 & 14)	28
Abb. 10: NeuroCom EquiTest System (Chaudhry et al., 2011, S. 84)	29
Abb. 11: Sense wave medical (Sense Product, 2016).....	30
Abb. 12: Prozentuelle Verteilung der Testpersonen	36
Abb. 13: Aufbau der Technologie des Geräts (Sense Product, 2016)	38
Abb. 14: Die Software des Geräts (Sense Product, 2016)	39
Abb. 15: Standposition während einer Testung (Sense Product, 2016)	41
Abb. 16: Fixierungsvorrichtung der Sensorplattform (links: Kipphebel eingerastet, rechts: Kipphebel gelöst).....	41
Abb. 17: Verwendung einer Schaumstoffmatte bei den Messungen 3 und 4 bzw. 7 und 8 (Sense Product, 2016)	42
Abb. 18: Ablauf der gesamten posturographischen Messreihe	43
Abb. 19: Beispielhafte Auswertung einer statischen Messung (Sense wave Ausgabedokument, Sense Product, 2016, eigene Darstellung)	45
Abb. 20: Beispielhafte Auswertung einer dynamischen Messung (Sense wave Ausgabedokument, Sense Product, 2016, eigene Darstellung)	46
Abb. 21: Beispielhafte Auswertung des COPT der statischen Messungen mittels Testgerät Sense wave medical	47
Abb. 22: Darstellung verschiedener Merkmalszusammenhänge (Bös, Hänsel & Schott, 2004, S. 168)	51
Abb. 23: Absolute Referenzwerte des COPT der vier statischen Messungen	54
Abb. 24: Absolute Referenzwerte des COPT der vier dynamischen Messungen	55
Abb. 25: Absolute Referenzwerte des ROM der vier statischen Messungen	57
Abb. 26: Absolute Referenzwerte des ROM der vier dynamischen Messungen	58
Abb. 27: Korrelationen zwischen Körpergröße und COPT 1-4 aller Testpersonen	59

Abb. 28: Korrelationen zwischen Körpergröße und COPT 5-8	60
Abb. 29: Korrelationen zwischen Körpergröße und ROM 1-4.....	61
Abb. 30: Korrelationen zwischen Körpergröße und ROM 5-8.....	62
Abb. 31: Korrelationen zwischen Körpergewicht und COPT 1-4	63
Abb. 32: Korrelationen zwischen Körpergewicht und COPT 5-8	64
Abb. 33: Korrelationen zwischen Körpergewicht und ROM 1-4.....	65
Abb. 34: Korrelationen zwischen Körpergewicht und ROM 5-8.....	66
Abb. 35: Zusammenhang zwischen COPT 1 und COPT 5.....	72
Abb. 36: Zusammenhang zwischen ROM 1 und ROM 5	72
Abb. 37: Korrelationen zwischen COPT und ROM der vier statischen Einzelmessungen	75
Abb. 38: Korrelationen zwischen COPT und ROM der vier dynamischen Einzelmessungen	76
Abb. 39: Graphische Darstellung der a) statischen und b) dynamischen Referenzwerte für COPT sowie der c) statischen und d) dynamischen Referenzwerte für ROM	82

10 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Arten des Körpergleichgewichts.....	14
Tab. 2: Anthropometrische Daten der Testpersonen.....	37
Tab. 3: Beschreibung der acht Einzelmessungen	39
Tab. 4: Absolute Referenzwerte des COPT der männlichen Probanden	53
Tab. 5: Absolute Referenzwerte des COPT der weiblichen Probandinnen.....	53
Tab. 6: Absolute Referenzwerte des ROM der männlichen Probanden	56
Tab. 7: Absolute Referenzwerte des ROM der weiblichen Probandinnen	56
Tab. 8: Vergleich der absoluten COPT-Mittelwerte zwischen männlichen und weiblichen Testpersonen.....	67
Tab. 9: Vergleich der absoluten ROM-Mittelwerte zwischen männlichen und weiblichen Testpersonen.....	68
Tab. 10: Vergleich der körpergrößenbereinigten COPT-Mittelwerte zwischen männlichen und weiblichen Testpersonen.....	69
Tab. 11: Vergleich der körpergrößenbereinigten ROM-Mittelwerte zwischen männlichen und weiblichen Testpersonen.....	70
Tab. 12: Vergleich der COPT-Mittelwerte statisch versus dynamisch	71
Tab. 13: Vergleich der ROM-Mittelwerte statisch versus dynamisch	71
Tab. 14: COPT-Unterschiede der Testbedingungen mit offenen vs. geschlossenen Augen	73
Tab. 15: ROM-Unterschiede der Testbedingungen mit offenen vs. geschlossenen Augen	73
Tab. 16: COPT-Unterschiede bei den Testbedingungen ohne Matte versus mit Matte	74
Tab. 17: ROM-Unterschiede bei den Testbedingungen ohne Matte versus mit Matte	74

Lebenslauf

Angaben zur Person

Name	Dominik Marksteiner
Geburtsdatum	17.03.1992
Geburtsort	Krems
Staatsangehörigkeit	Österreich
Familienstand	ledig

Ausbildungsweg

1998 – 2002	Volksschule Weißenkirchen
2002 – 2010	BG / BRG Krems, Piaristengasse 2
2011 – 2016	Studium UF Bewegung und Sport und UF Mathematik, Universität Wien
Seit 2014	Bakkalaureatsstudium Sportwissenschaft, Universität Wien

Weiterbildung

05/2013	Landesschilehrerausbildung Anwärter, WSSV
10/2013 – 06/2014	Offene Ausbildung Mentalcoaching, BSPA Wien
08/2014	Kindertrainer Fußball, NÖFV
08/2014 – 08/2015	FIT Sportinstructor Kinder und Jugend, BSPA Wien
11/2015	Jugendtrainer Fußball, WFV
12/2015	USI-Begleitschilehrerausbildung F2-Note, USI Wien

Berufserfahrung

2012 – 2015	Nachhilfelehrer
04/2012 bzw. 12/2013	Schilehrer, Saalbach/Hinterglemm
08/2012 bzw. 08/2013	Ferialpraxis, Voestalpine Krems
Seit 09/2014	Nachwuchs–Fußballtrainer bei SK Rapid Wien

Freizeit	Fußball, Schifahren, Freunde treffen, Musik hören
-----------------	---

Eidesstaatliche Erklärung

„Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst habe und nur die ausgewiesenen Hilfsmittel verwendet habe. Diese Arbeit wurde weder an einer anderen Stelle eingereicht (z. B. für andere Lehrveranstaltungen) noch von anderen Personen vorgelegt.“

Ort, Datum

Dominik Marksteiner