



DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Die Veränderungen beziehungsweise Verbesserung
der Haltungskontrolle anhand der
Untersuchungsparameter CoPT und RoM in der
Gegenüberstellung eines kurzfristigen zu einem
längerfristigen Untersuchungszeitraum.“

verfasst von / submitted by

Jacob Maximilian Wolkenstein

gemeinsam mit / in collaboration with

Tanja Trampusch

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

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2017 / Vienna 2017

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

A 190 482 344

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

Lehramt
UF Bewegung und Sport
UF Englisch

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken die mich so tatkräftig in den letzten fünf Jahren unterstützt haben.

Ein ganz besonderer Dank geht dabei an meine Familie und Freunde, besonders an meinen Papa, Andreas Wolkenstein, welcher mir stets zur Seite gestanden ist und mir immer wieder klar machte, dass alles möglich ist, wenn man hart genug dafür arbeitet und daran glaubt. Ein großer Dank auch meinen Großeltern, welche mir nicht nur stetig finanziell unter die Arme gegriffen haben, sondern auch für die tolle Zeit, immer wenn ich meiner Heimat einen Besuch abstatte.

Ein unendlich großes Danke auch einer ganz speziellen Person, welche mich von Beginn an, seit der Sport-Aufnahmeprüfung, in und neben meinem Studium begleitete, eine Person, die zu meinem besten Freund herangewachsen ist, Philipp Wykopal.

Ein weiteres Danke möchte ich an alle Personen aussprechen, welche im Rahmen dieser Diplomarbeit involviert waren. Ein herzliches Danke an Herrn Univ.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan für die kompetente und stets bedachte Betreuung unserer Diplomarbeit. Im selben Zuge möchte ich auch Herrn Univ. Ass. Christoph Triska MSc, für die hilfreichen Erklärungen in Bezug auf die statistische Auswertung und Interpretation danken.

Ein Dankeschön hierbei auch an meine Diplomarbeitkollegin Tanja Trampusch, mit welcher ich die letzten Monate sehr viel Zeit verbrachte. Danke dafür, dass Du stets ein Ohr für mich gehabt hast und lösungsorientiert und zügig gearbeitet hast. Ich bin froh Dich als meine Partnerin gehabt zu haben.

Abschließend möchte ich allen Probanden und Probandinnen danken, welche sich Zeit genommen haben, um bei unserer Testung teil zu nehmen

Zusammenfassung (Jacob Wolkenstein)

Hintergrund: Computerunterstützte Posturographie misst die posturale Kontrolle und Eigenschaften der menschlichen Balance während des Stehens auf einer Messplatte im Zuge spezifischer „*center of pressure*“ Parameter, genauer gesagt dem „*center of pressure track (CoPT)*“ oder der „*area of sway (RoM)*“. Die Kontrolle des aufrechten Stehens einer Person fordert das komplexe Zusammenspiel zwischen dem Nerven-, Muskel-, und Sensorischen System. Das Erstellen von Referenz- beziehungsweise normativen Daten sowie eine diagnostische aussagekräftige Auswertung für statische und dynamische Posturographie erfordert eine hohe „*test-retest*“ Reliabilität. Darüber hinaus stellt die Reliabilität computerunterstützter Posturography eine wichtige Rolle für die Identifikation von Interventionen in den verschiedensten Bereichen, beispielsweise, Sport, der motorischen Entwicklung, klinischer Bewertungen sowie Rehabilitationen, da.

Ziele der Studie: Ziel dieser Studie ist es, Zusammenhänge bzw. Unterschiede bei einer posturographischen Messung innerhalb eines Tages und/oder über mehrere Tage hinweg anhand mehrere CoP-basierter Messungen zu überprüfen (stehend auf einer fixierten oder dynamischen Messplatte, mit geschlossenen oder offenen Augen auf einem festen Untergrund oder einer Schaumstoffoberfläche)

Methode: Alle Testungen wurden mit der Sensewave Medical (Sense Product, Vienna, Austria), einem handelsüblichen posturographischen Messgerät zur Überprüfung und Aufzeichnung von CoP Daten mit einer Abtastfrequenz von über 100 Hz, durchgeführt. Sechzehn junge gesunde Personen absolvierten fünf Messreihen (bestehend aus acht verschiedenen Tests) innerhalb eines Tages mit einer jeweiligen Messpause von einer Stunde sowie zwei weiteren Messreihen genau sieben beziehungsweise 14 Tage nach dem ersten Messtag. Die Intraday- und Interday-Reliabilität der CoP Bewegungsstrecke (CoPT) und der CoP Bewegungsfläche (RoM) wurde anhand des „*intra-class correlation coefficients*“ (ICCs) und des „*Coefficients of variation*“ (CV) basierend auf dem ANOVA Model überprüft.

Ergebnisse: Sechzehn gesunde Personen (8 männliche, 8 weibliche, Durchschnittsalter 23.2 ± 1.8 Jahre, BMI 21 ± 2.4 für weibliche und 24.1 ± 1.9 für männliche Testpersonen) wurden getestet. Die erhaltenen CoPT-Daten in Bezug auf die Reliabilität weisen generell schwache bis exzellente ICC-Werte (0.32-0.95) für Intraday-Messungen sowie schlechte bis gute Werte (0.20-0.74) für Interday-Messungen bei geschlossenen sowie offenen Augen, bei statischer beziehungsweise dynamischer Messplatte. Die höchsten ICC werte korrespondieren mit den Intraday-Werten bei offenen Augen, während die niedrigsten

ICC werte bei Interday-Werten bei geschlossenen Augen vorzufinden sind. Die erhaltenen Werte für den Parameter RoM sind ähnlich. Es lassen sich generell sowohl bei der Intraday-Reliabilität (-0,08-0,89) als auch bei der Interday-Reliabilität (-0,08-0,88) schlechte bis hin zu exzellenten Werten verzeichnen. Es konnten jedoch, außer einer Ausnahme, keine signifikanten Unterschiede innerhalb eines Tages festgestellt werden. Die Messdaten bei geschlossenen Augen und dynamischer Messplatte zeigen durchwegs zuverlässige Werte wodurch dies auf einen möglichen Lernfortschritt hinweisen könnte. Allgemein konnte eine schwache bis exzellente Reliabilität vorgefunden werden mit großen Schwankungen bezogen auf die verschiedenen Messsituationen.

Fazit: Die Resultate dieser Studie zeigen inhomogene test-retest Reliabilität in Bezug auf statische und dynamische posturographische Messungen bei jungen gesunden Erwachsenen bei unterschiedlichen Typen sensorischen Feedbacks. Eine Vielzahl der der schwankenden Intraday- beziehungsweise Interday-Werte kann rückblickend auf die mangelnde Standardisierung verschiedenster Faktoren zurückgeführt werden. Demzufolge, werden Standardisierungsmaßnahme für zukünftige Studien empfohlen.

Schlüsselwörter: Posturale Kontrolle; Posturale Stabilität; Center of Pressure; Balance, Reliabilität;

Abstract (Englisch) (Jacob Wolkenstein)

Background:

Computerized posturography assesses postural stability and characteristics of balance control in a standing posture based on force platform derived fRoM center of pressure (CoP) variables such as the center of pressure track (CoPT), or the area of sway (RoM). The control of upright posture in human requires the complex and accurate interaction between nervous, muscular and sensory systems. Establishment of reference or normative data and diagnostically conclusive evaluation for static and dynamic posturography require a high test-retest reliability. Furthermore, reliability of computerized posturography is essential for the identification of intervention effects in any setting (sport, motor development, clinical assessment or rehabilitation).

Objective: This pilot study aimed to assess the within-day and between-day reliability of several CoP-based measures (self-selected stance on a fixed or unstable platform with eyes open, eyes closed, standing on a foam pad). A further objective of the study was to look for possible habituation effects.

Methods: All testing was conducted on the Sensewave Medical (Sense Product, Vienna, Austria), a commercially available posturographic system monitoring the position and displacement of CoP data with a sampling frequency of up to 100 Hz. Sixteen young healthy participants completed five testing sessions (consisting of 8 different tests items) within one day (test day 1 = TD1) separated by one hour each, as well as two further sessions, exactly 7 days (TD2) and 14 days (TD3) later at the same time of the day.

The intra-session as well as the inter-session reliability of CoP path length (CoPT) and CoP area (RoM) were assessed with intra-class correlation coefficients (ICCs), and coefficients of variation (CV), respectively based on an ANOVA model.

Results: Sixteen healthy subjects (8 males, 8 females, mean age 23.2 ± 1.8 yrs, BMI 21 ± 2.4 for females and 24.1 ± 1.9 for males) were evaluated. The complexity and conventional measures for CoPT generally demonstrated week to excellent reliability coefficients (0.32-0.95) for short-term and week to good (0.20-0.74) long-term test-retest reliability with both eyes open and eyes closed conditions, with fixed and sway referenced platform conditions. The highest ICC values corresponded with the short-term reliability for the eyes open condition, while the lower ICC values corresponded with the long-term reliability for the eyes closed condition. For RoM measurements the received values are

corresponding. The ICC ranges fRoM weak to excellent reliability (-0,08-0,89) for Interday tests as well as fRoM weak to excellent (-0,08-0,88) for Interday when taking all eight conditions into consideration.

No significant differences between measurements have been detected within measurements performed on the same day (beside measurement with closed eyes on unstable platform conditions which showed significant improvement ($p < 0.05$) which can be interpreted as a learning effect). Generally, test-retest reliability was low to excellent with large differences in the different measurement situations.

Conclusion: The results of this study demonstrated inhomogeneous test-retest reliability of static and dynamic posturographic measures for young healthy adults at various types of sensory feedback. Some of the intra- and inter-day variations could eventually be explained by lack of standardization. Therefore rigorous standardization of measurement procedures seems to be advisable for future studies.

Keywords: postural control; postural stability; postural sway; center of pressure; balance, reliability

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Theoretische Grundlagen und Einbettung in das Thema	3
2.1 Gleichgewicht	3
2.1.1 Definition Gleichgewicht	3
2.1.2 Gliederung des Gleichgewichts	5
2.1.3 Formen des motorischen Gleichgewichts	6
2.1.4 Statisches und dynamisches Gleichgewicht	6
2.2 Das posturale System	7
2.2.1 Posturale Kontrolle	7
2.2.2 Subsysteme des posturalen Systems	10
2.2.2.1 Das visuelle System	10
2.2.2.2 Das vestibuläre System	11
2.2.2.3 Das propriozeptive System	12
2.2.2.4 Das Zusammenwirken der Subsysteme	14
2.3 Posturographie	16
2.3.1 Statische Posturographie	17
2.3.2 Dynamische Posturographie	18
2.4 Posturographische Tests zur Erfassung der Gleichgewichtskontrolle	19
2.4.1 NeuroCom SMART EquiTest® (Natus Med Inc, San Carlos, CA)	20
2.4.2 Biodex Stability System® (Biodex Med Syst., New York, USA)	21
2.4.3 Tetrax® (Sunlight Med Ltd, Tel Aviv, Israel)	23
2.4.4 Weitere Testgeräte	24
2.4.5 Vergleich der Messverfahren	25
2.5 Reliabilität der Posturographie	25
2.6 Center of Pressure (CoPT)	26
2.8 Reliabilität	32
2.8.1 Messfehler	33
2.8.2 Systematischer Fehler und Zufallsfehler	34

2.8.3 Messfehlerquellen	35
2.8.4 Arten der Reliabilität	36
2.8.4.1 Test-retest reliability	36
2.8.4.2 Rater Reliability	37
2.8.5 Generalizability Theory	38
2.9 Intraclass Correlation Coefficient (ICC)	39
2.10 Coefficient of Variance (CV)	41
2.11 Aktueller Forschungsstand	42
2.11.1 Posturographie und Reliabilität	43
2.11.1.1 Intrasession Reliabilität	43
2.11.1.2. Intersession Reliabilität	47
2.11.1.3 Intra- und Interday-Studien	55
2.11.1.4 Studien zum Coefficient of Variation	56
3 Forschungsfragen	61
4 Methodik	61
4.1 Sense wave medical® (Sense Product GmbH, Wien, Österreich)	61
4.2 Probandinnen und Probanden	62
4.3 Ein- und Ausschlusskriterien	63
4.4 Ziel und Ablauf der Studie	64
4.4.1 Ablauf einer Messreihe	65
4.4.2 Aufbau einer Messreihe	67
4.4.3 Ablauf der ersten Messreihe	69
4.5 Messparameter	72
5 Ergebnisse	76
5.1 Mittelwerte aller CoPT und RoM-Daten	77
5.4 Box-Plots-CoPT/RoM	81
RoM-Box-Plot-Abbildungen	88
5.2 CoPT Werte	93
5.2 RoM Werte	102

5.5 Zusammenfassung CoPT und RoM Daten	111
5.6 ANOVA Auswertung mittels SPSS	113
6 Diskussion und Conclusio	114
7 Abbildungsverzeichnis	123
8.Tabellenverzeichnis	125
9 Literaturverzeichnis	128
Eigenständigkeitserklärung	135

1 Einleitung

Die posturale Kontrolle, welche für die kontinuierliche Aufrechterhaltung und dem Wiedererlangen des motorischen Gleichgewichts zuständig ist, ist ein hochkomplexes System (vgl. Turbanski und Schmidbleicher, 2010, vgl. 123, Ku et al., 2012; Sarkar et al., 2011; Greve et al., 2007; Edwards, 2007; Ray et al., 2008; Grace Gaerlan et al., 2012). Genau dieses System, das posturale System, ist jedoch nicht bei allen Menschen gleich ausgeprägt und kann durch gewisse anthropometrische Faktoren wie dem Gewicht, der Größe, dem Geschlecht, etc., sowie dem natürlichen Alterungsprozess, beeinflusst werden.

Die Kontrolle des aufrechten Standes erfordert das komplexe und präzise Zusammenspiel zwischen sensorischen System, zentralen Nervensystem, sowie der Muskulatur (Kabbaligere et al., 2016; Schut et al., 2017). Zur Gleichgewichtskontrolle muss kontinuierlich die Haltung sowie die Stellung der Körpersegmente im Raum registriert werden (sensorischer Anteil), um in Fall einer Destabilisierung schnell reagieren, sodass das Gleichgewicht aufrecht oder widererlangt werden kann. Unterschiedliche sensorische Reize (vestibuläre, visuelle, und somatosensorische und in diesem Fall insbesondere propriozeptive) werden vom zentralen Nervensystem aufgenommen, integriert und zu adäquaten, für die posturale Kontrolle notwendigen Reizantworten verarbeitet. (Bair et al., 2007; Akkaya et al., 2015).

Um aufrecht zu stehen, Willkürbewegungen auszuführen und Störimpulse auszugleichen, muss die Körperhaltung kontinuierlich kontrolliert werden (Bronte-Steward et al., 2002). Vor allem bei älteren Personen, aber auch bei unterschiedlichen Erkrankungen (neurodegenerative Erkrankungen, oder orthopädische Beschwerden) kann die Gleichgewichtskontrolle beeinträchtigt sein, was zur posturalen Instabilität vermehrten Körperschwankungen und einem erhöhten Sturzrisiko führen kann (Mancini et al., 2012). Funktionierende Gleichgewichtskontrollmechanismen sind für viele Tätigkeiten des täglichen Lebens und für die selbstständige Lebensführung von essentieller Bedeutung (Chiba et al., 2016). Die in den 1970er Jahren entwickelte Posturographie stellt ein quantitatives Messverfahren dar, welches Aussagen sowohl über die sensorischen wie auch motorischen Komponenten der posturalen Kontrolle ermöglicht. Um hier pathologische bzw. atypische Verhaltensweisen aufdecken und von normalen Verhaltensweisen unterscheiden zu können, ist die Kenntnis der Test-Retest Reliabilität des entsprechenden Posturographiesystems erforderlich. Nur dann, ist es möglich, alters-

und geschlechtsspezifische Referenzwerte bzw. Normwerte zu erstellen, Interventionseffekte zu detektieren, Aussagen über die motorische Entwicklung, altersspezifische Veränderungen, Therapie- und Trainingseffekte, etc. zu bewerten (Akkaya et al., 2015; Tjernström et al., 2015).

Da es sich bei dem in der vorliegenden Diplomarbeit verwendeten Posturographiesystem um ein völlig neues Messsystem handelt, bei welchen Drucksensoren anstelle von sonst üblichen Kraftmessplatten zum Einsatz kommen, ist eine Untersuchung der Intra- und Interday Variabilität erforderlich, um dieses neue System einschätzen und eventuelle Schwachstellen aufdecken zu können.

Ein Großteil der Studien (vgl. Alonso et al. 2015; Palm et al. 2009; Hue et al. 2007; Lee et al., 2003) in Bezug auf die posturale Kontrolle hat sich bereits mit dem posturalen System hinsichtlich anthropometrischer Faktoren und folglich mit der medizinischen Wichtigkeit dieses Systems auseinandergesetzt. Einige Studien, dazu zählen die Studien durchgeführt von Corriveau et al., 2000; Lafond et al., 2004; Lin et al., 2008 und Doyle et al., 2005, setzten sich jedoch näher mit der Reliabilität posturographischer Messungen auseinander und überprüften den Grad der Übereinstimmung der Testergebnisse bei denselben ProbandInnen und demselben Test anhand mehreren Testungen. Darüberhinaus beschäftigen sich die oben genannten Studien mit der Aufdeckung von reliabilitätsvermindernden Faktoren sowie beispielsweise mit der Untersuchung, ob sich die Anzahl von Testdurchgängen auf die Zuverlässigkeit der Testergebnisse auswirkt (z.B. durch Lerneffekte). Auch die optimale Dauer einer Testung wird in derartigen Untersuchungen eruiert und natürlich wird auch mittels Testwiederholung untersucht, ob bei Interventionen ein Trainings- bzw. Therapieeffekt vorliegt oder nicht.

Die hier vorgelegte Arbeit gliedert sich in mehrere Kapitel. Im Kapitel 2 werden die theoretischen Grundlagen zum Thema der durchgeführten Studie adressiert und näher beschrieben. Das posturale System sowie das Messverfahren und die Messvariablen werden erläutert, um die Studie besser zu verstehen. In diesem Kapitel wird auch die Reliabilität mit all ihren Facetten diskutiert, da diese ein fundamentaler Teil der Arbeit und Ergebnisse ist. Im Kapitel 3 werden die Forschungsfragen und im Kapitel 4 die Methodik der vorliegenden Studie behandelt. Das vorletzte Kapitel beschäftigt sich mit den Ergebnissen der Studie (Center of Pressure Track (CoP)- und Range of Motion (RoM)-Werte), welche in Tabellen sowie Box-Plots dargestellt, beschrieben und interpretiert werden. Das Kapitel Diskussion setzt die hier durchgeführte Studie mit bereits publizierten in Beziehung und beschreibt Limitationen sowie mögliche Fehlerquellen.

Ziel der Studie war es, die Unterschiede und/oder Zusammenhänge posturographischer Messungen innerhalb eines Tages bzw. über mehrere Tage hinweg zu testen. Ein weiteres Ziel war es, herauszufinden, ob ein Lerneffekt über mehrere Messreihen hinweg sichtbar wird. Darüber hinaus, war ein Fokus der Studie, Ursachen für die mangelnde Reliabilität einzelner Tests zu ergründen.

2 Theoretische Grundlagen und Einbettung in das Thema

In diesem Kapitel werden Themengebiete angesprochen und näher erläutert, welche für das Thema dieser Diplomarbeit von großer Relevanz erscheinen. Gleichgewicht sowie das System der posturalen Kontrolle spielen eine entscheidende Rolle, um die Studie, welche im Zuge dieser Arbeit durchgeführt wurde, zu verstehen. Weiters wird ein Testverfahren, die sogenannte Posturographie, näher beschrieben und ebenso wird der aktuelle Forschungsstand zum Thema der posturalen Kontrolle aufgegriffen.

2.1 Gleichgewicht

Zunächst gilt es im folgenden Abschnitt auf den Begriff Gleichgewicht einzugehen. Insbesondere gilt zu klären, wie sich das Gleichgewicht von der posturalen Kontrolle unterscheidet und das Gleichgewicht nach sportwissenschaftlichen Gesichtspunkten strukturiert werden kann.

2.1.1 Definition Gleichgewicht

Laut Bös (2001) wird Gleichgewicht als Fähigkeit gesehen, bei der ein aufrechter Stand, trotz äußerer Einwirkungen durch Störfaktoren oder durch die Schwerkraft, beim statischen oder dynamischen Gleichgewicht, möglich ist. Bei hemmenden/hinderlichen Einflüssen wirkt die Gleichgewichtsfähigkeit entgegen, sodass das Gleichgewicht erhalten oder nach kurzer Dysbalance erneut reguliert werden kann (vgl. Wultsch, 2013, S. 12). Zahlreiche Synonyme wie posturale Stabilität, posturale Kontrolle, Balance oder rein Gleichgewicht definieren diese koordinative Fähigkeit (vgl. Wultsch, 2013, S. 12).

Das Gleichgewicht spielt in vielen Bereichen unseres Lebens eine bedeutende Rolle. Insbesondere ist die Erhaltung der posturalen Kontrolle für die Ausübung verschiedenster Sportarten, die eigenständige Bewältigung von schwierigen Situationen im fortgeschrittenen Alter, als auch für die Durchführung alltäglicher Aktivitäten, notwendig

(vgl. Bös, 2001, S. 262).

Gleichgewicht ist ein wichtiges Element im Leben, deren Relevanz speziell im Bereich der Gesundheitsförderung stetig zunimmt und sich deshalb mehr und mehr Autoren mit diesem Thema auseinandersetzen (Wultsch, 2013; Bös, 2001; Gauer et al., 1972; Greve, 2013; Wydra, 1993; Fetz, 1990). Aufgrund des steigenden Bedarfs dieses Gebiets, vermehren sich die Analysemethoden, um Gleichgewicht besser messen und auswerten zu können. In der klinischen und sportwissenschaftlichen Praxis werden nach wie vor viele unterschiedliche Verfahren verwendet, um das Gleichgewicht einer Person zu beurteilen. Diese Verfahren reichen von standardisierten subjektiven Einschätzungsskalen wie z.B. der „*Borg-Balance Scale*“, oder der „*Activities-specific Balance Confidence Scale*“ (=ABC-Scale), Tests in verschiedenen Standpositionen mit offenen und geschlossenen Augen (z.B. beidbeiniger Stand, Einbeinstand, RoMberg Test), Tests im ruhigen Stand bzw. sogenannte aktive Standtests (z.B. diverse „*functional reach tests*“, „*sit-to stand tests*“) über Geh- und Balancetests über sogenannte „*sensory manipulation tests*“, bei welchen die unterschiedlichen sensorischen Einflüsse (visuell, somatosensorische bzw. vestibuläre) manipuliert werden um deren Auswirkungen zu untersuchen, hin zu sogenannten „*sensory organisation tests*“ mit sich willkürlich bewegendem Untergrund bzw. sich bewegendem visuellem Umfeld (Duruturk et al., 2015; Mancini & Horak, 2010; Muehlbauer et al., 2011; Salavati et al., 2008; Horak et al., 1990; Lugade & Kaufman, 2014; Chaudhry et al., 2011). Die statische und dynamische computergestützte Posturographie subsummiert viele der oben genannten Testmöglichkeiten und gestattet zusätzlich die quantitative Erfassung von Parametern, die mit Schwankungen des Körpers im aufrechten Stand einhergehen. Aktuell findet man überwiegend Literatur, die sich mit dem Thema Gleichgewicht in Kombination mit anthropometrischen Faktoren, entwicklungs-, alters- oder krankheitsspezifischen Veränderungen oder Verletzungen insbesondere der Sturzgefahr, auseinandersetzen. Auch vestibuläre Faktoren wie die Sinnesorgane oder die Muskelarbeit zeigen Wirkungen auf die Gleichgewichtsfähigkeit eines Menschen und können diese dadurch besser regulieren (vgl. Gauer et al., 1972, S. 175). In größerem Maße ist die Aufrechterhaltung des Gleichgewichts von verschiedensten Analysatoren abhängig. Eine beachtliche Bedeutung zum Ausgleich weisen optische, vestibuläre, kinästhetische und taktile Analysatoren auf (vgl. Wydra, 1993, S. 101).

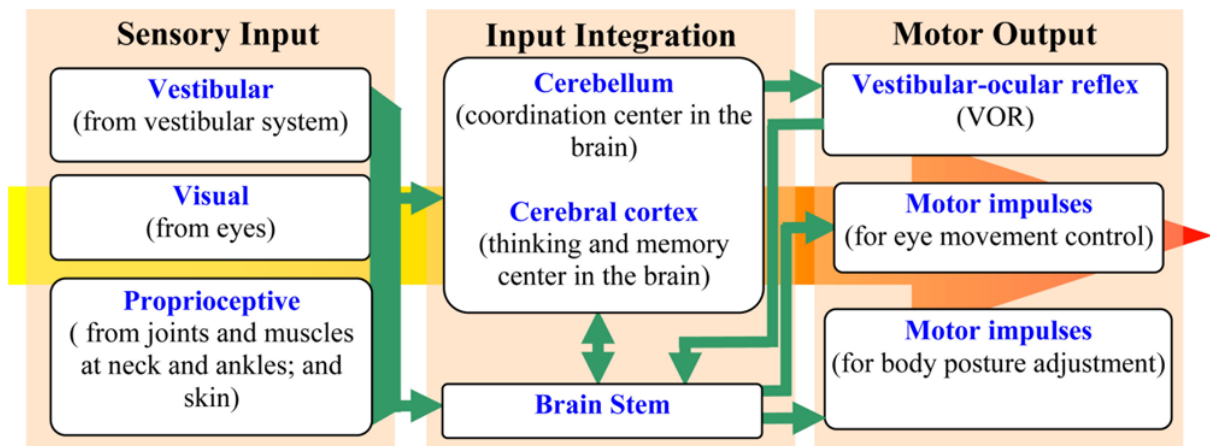


Abb. 1: Gleichgewichtskontrolle im menschlichem Körper (vgl. Zeng & Zhao, 2011).

Demnach verlangt Gleichgewicht einen Ausgleich des Gleichgewichtsapparats durch den Gebrauch von Muskeltätigkeit, Gelenkpositionierungen, Propriozeption und dem vestibulären System (vgl. Greve, 2013, S. 1).

2.1.2 Gliederung des Gleichgewichts

Laut Fetz (1990) kann das Gleichgewicht in zwei Arten geteilt werden: das physikalische Gleichgewicht und das motorische Gleichgewicht. Physikalisches Gleichgewicht ist folglich ein mechanischer Zustand in der Physik, „in dem sich alle an einem Körper angreifenden Kräfte gegenseitig aufheben, das heißt, die Resultierende aller Kräfte ist null“ (vgl. Fetz, 1990, S. 10).

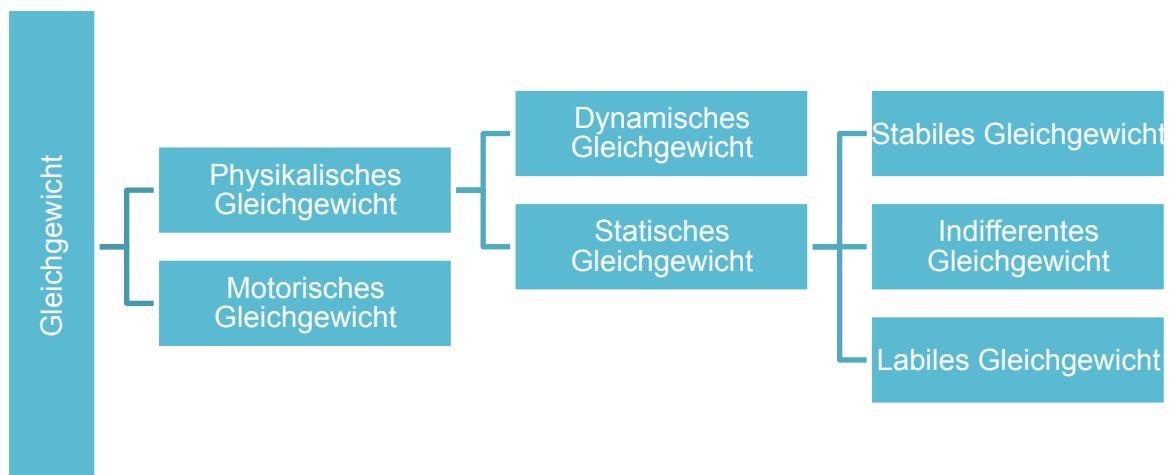


Abb. 2: Untergliederung des Gleichgewichts (vgl. Fetz, 2010, S.10)

2.1.3 Formen des motorischen Gleichgewichts

Das motorische Gleichgewicht kann in unterschiedliche Formen unterteilt werden und ist von mehreren Einflussfaktoren abhängig. Neben anthropometrischen Einwirkungen sind kinästhetische, taktile, visuelle Analysatoren und der Vestibularapparat von enormer Bedeutung (vgl. Wulsch, 2013, S. 15). Zur Veranschaulichung bildet die untenstehende Grafik die einzelnen Sparten des motorischen Gleichgewichts ab (Abb. 2).

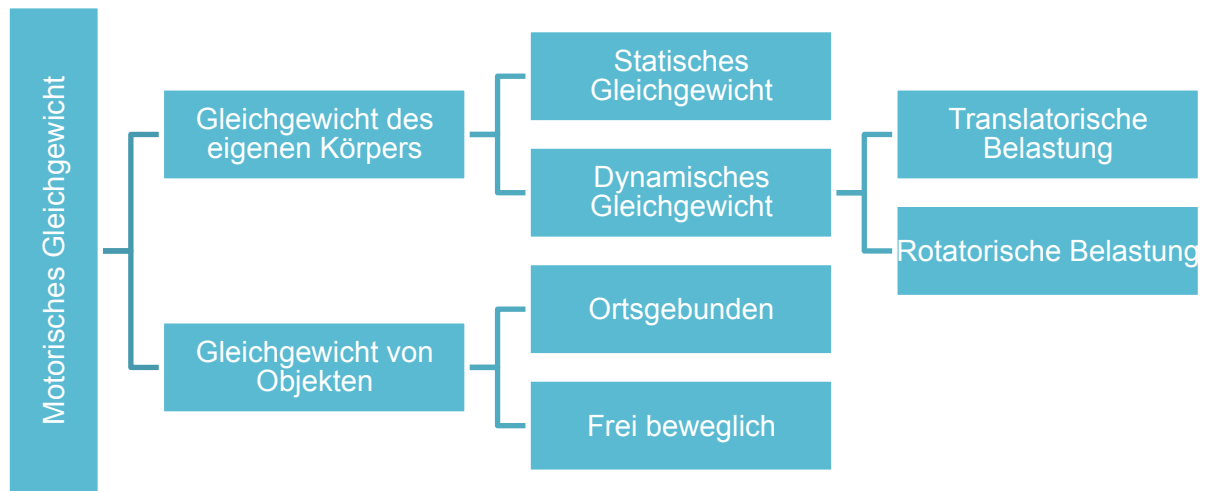


Abb. 3: Sparten des motorischen Gleichgewichts (vgl. Fetz, 1990, S. 10).

2.1.4 Statisches und dynamisches Gleichgewicht

Bezogen auf die oben genannten Gleichgewichtsarten, das physikalische und das motorische Gleichgewicht, kann eine Affinität beider Typen festgestellt werden. Beide Formen können in statisches und dynamisches Gleichgewicht untergliedert werden, und knüpfen an den Begriff der Bewegungsaufgabe an. Das statische Gleichgewicht erfordert eine ständige gleichmäßige Muskelspannung, die einen ruhigen Stand ermöglicht. Ein absolutes Stillstehen ist beispielsweise durch den Herzschlag oder die Atmung nicht möglich, wodurch ein gewisser Grad an Schwankungen stetig vorhanden ist (vgl. Fetz, 1990, S. 23). „Dynamisches Gleichgewicht erfordert Anpassung des Körpers an Situationen, in denen kein Gleichgewichtszustand herrscht“ (Fetz, 1990, S. 23). In einfachen Worten ausgedrückt, weist Gleichgewicht eine hohe Bedeutsamkeit für die Bewahrung unserer Körperhaltung (statisches Gleichgewicht), als auch für die Erhaltung dieser während Bewegungsabläufen (dynamisches Gleichgewicht) auf (vgl. Pierobon, 2013, S. 78).

2.2 Das posturale System

Das posturale System, welches für die posturale Kontrolle des menschlichen Körpers verantwortlich ist, unterscheidet sich vom Begriff der Gleichgewichtsfähigkeit wie folgt: Während das Gleichgewicht aus einzelnen Teilsystemen besteht, zentrales und peripheres Nervensystem sowie den Muskeln, Bändern, Gelenken und Sehnen, beschreibt das posturale System die „integrierte Gesamtheit [dieser] Teilsysteme“ (vgl. Pierobon et al., 2013, S. 78). In den folgenden Unterkapiteln wird auf die posturale Kontrolle und dessen Subsysteme näher eingegangen.

2.2.1 Posturale Kontrolle

Das posturale System und somit die posturale Kontrolle ist ein komplexes System und nicht leicht zu definieren. Eine mögliche Definition der posturalen Kontrolle wird von Turbanski und Schmidtbleicher (vgl. 2010, S. 123) gegeben, welche diese als „die kontinuierliche Aufrechterhaltung und die Wiedererlangung des motorischen Gleichgewichts, wenn durch einen Störimpuls kurzfristig die posturale Stabilität gefährdet ist oder verloren geht“ beschreiben. Auch Becker et al. (vgl. 2010, S. 16) definieren den Begriff der posturalen Kontrolle und bezeichnen diesen als „die Funktionsfähigkeit des Körpers, seine aufrechte Position im Raum zu erhalten.“ Duarte et al. (vgl. 2010, S. 184) beschreiben die posturale Kontrolle als die Konfiguration der verschiedenen Gelenke des Körpers und deren Winkel zueinander. Daraus lässt sich folgern, dass entsprechend der Aktivität, welche gerade von der Person ausgeführt wird, der Körper eine unendliche Anzahl an Positionen einnehmen kann. Selbst wenn eine Person völlig stillsteht, ist der Körper in Schwingung und muss ständig kleine Störungen ausgleichen, um eine Kontrolle zu gewährleisten (vgl. Duarte et al., 2010, S. 184). Aus diesem Grund ist der Begriff des völligen Stillstehens technisch nicht korrekt bzw. unmöglich.

Ku (vgl. 2012, S. 1638) schreibt in seinem Artikel „Biomechanical evaluation of the relationship between postural control and body mass index“ über die Wichtigkeit der *Postural Balance* unter anderem Folgendes:

Postural balance is fundamental in allowing us to perform tasks and maintain our daily life. Balance can be defined as the ability to return the center of mass (CoM) within the base of support (BoS) in order to maintain body equilibrium against perturbation (vgl. Ku, 2012, S. 1638).

Horak (vgl. 2006, S. ii8) erläutert zwei wichtige Aufgaben der posturalen Kontrolle, nämlich „*Postural Orientation*“ und „*Postural Equilibrium*“. Mit *Postural Orientation* ist die aktive Kontrolle in Bezug auf Körperausrichtungen und Spannungen in Hinsicht auf die Gravitationskraft, die Tragfläche, visuelle Umgebung sowie interne Referenzen gemeint. Räumliche Orientierung bei der posturalen Kontrolle wird durch die Informationen der Subsysteme des posturalen Systems, nämlich dem somatosensorischen, vestibulären sowie visuellen System, auf das später im Kapitel 2.2.2.1 genauer eingegangen wird, gegeben (vgl. Horak, 2006, S. ii8; Duarte, 2010, S. 184). Der Begriff „*Postural Equilibrium*“ bezieht sich auf die Koordination und das Zusammenspiel dieser Systeme, um den Körper bei selbst-initiierten sowie von außen kommenden Kräften zu stabilisieren (vgl. Horak, 2006, S. ii8). Zu den externalen, also von außen kommenden Kräften, welche ständig auf den Körper wirken, zählt zum Beispiel die Gravitationskraft (vgl. Duarte, 2010, S. 184). Andere Kräfte, beispielsweise eine Krafteinwirkung durch eine Person oder einen Gegenstand, zählen ebenfalls zu externalen Kräften, doch wirken diese meist nicht dauerhaft auf den Körper, sondern stark und kurzfristig und müssen demnach auch sofort ausgeglichen werden, um die Balance aufrechtzuerhalten. Zu den internen Kräften, welche dauerhaft auf den eigenen Körper wirken, zählen physiologische Bedingungen wie zum Beispiel der Herzschlag oder die Atemaktivität, jedoch auch das willkürlich aktive Bewegen der Skelettmuskulatur (vgl. Duarte, 2010, S. 184).

Weiters beschreibt Horak (vgl. 2006, S. ii9) Strategien, welche der menschliche Körper anwendet, um sich im Gleichgewicht zu halten. Der Autor unterscheidet grob zwischen den „*Movement Strategies*“ und den „*Sensory Strategies*“. Die „*Movement Strategies*“ werden angewandt, um den Körper vom Ungleichgewicht wieder in das Gleichgewicht zu bringen, während die Person steht. Diese „*Movement Strategies*“ lassen sich in drei weitere Strategien aufgliedern: Bei zwei dieser bleiben die Füße am gleichen Punkt, während bei der dritten eine Fußbewegung stattfindet (vgl. Horak, 2006, S. ii9).

Taube (2013, S. 56) unterscheidet beim posturalen System zwischen dem sogenannten *Feedback-Modus* und dem *antizipativen Modus*. Der *Feedback-Modus* beschreibt die Reaktionszeit des Körpers auf Störungen des Gleichgewichts, um dieses wiederzuerlangen. Im antizipativen Modus hingegen versucht der Körper die Störungen gedanklich vorwegzunehmen und die „posturale Kontrolle wird im Sinne einer Feedforward-Regelung darauf eingestellt.“ (vgl. Taube, 2013, S. 56). Die beiden Modi können jedoch nicht immer klar voneinander abgegrenzt werden, da es bei manchen Bewegungen nicht klar definiert werden kann, ob ein alleiniger *Feedback-Modus* oder ein antizipativer *Modus* des posturalen Systems abläuft. Folglich spricht man von

Mischformen der beiden Modi, auf welche der Körper bei gegebenem Anlass zurückgreifen kann (vgl. Taube, 2014, S. 56).

Die Arbeitsgruppe um Pierobon et al. (vgl. 2013, S. 79), welche sich mit Gleichgewicht und posturaler Kontrolle auseinandersetzen, schreiben dem posturalen System eine komplexe Rolle im menschlichen Körper zu:

Die Aufgabe des posturalen Systems ist hochkomplex. Es muss verschiedene Sinneswahrnehmungen und -reize so weiterleiten und verarbeiten, dass durch eine adäquate Reaktion der Bewegungsorgane der Körperschwerpunkt lotrecht über der Stand- bzw. Sitzfläche ausgerichtet und somit die Balance aufrechterhalten wird (Pierobon et al., 2013, S. 79).

In der folgenden Abbildung wird das hochkomplexe System vereinfacht dargestellt.

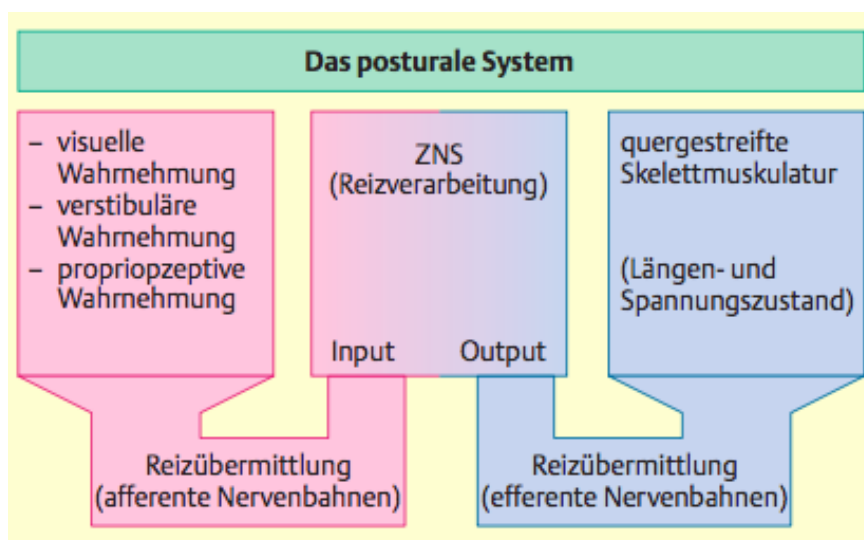


Abb. 4: Das posturale System (Pierobon et. al., 2013, S.79)

Die Abbildung veranschaulicht das posturale System mit dessen Subsystemen, welche zusammenwirken, um den Körper aufrecht beziehungsweise stabil zu halten. Hierbei sind sich die meisten WissenschaftlerInnen, welche sich mit dem posturalen System auseinandersetzen und in diesem Feld forschen, wie etwa Horak (2006), Pierobon et al. (2013), Duarte und Freitas (2010), Taube (2013), einig, dass das visuelle, vestibuläre sowie propriozeptive System als auch das Zentralnervensystem und die

Skelettmuskulatur eine entscheidende Rolle spielen. Der Informationsinput erfolgt über das visuelle, vestibuläre sowie propriozeptive System; ergänzend verlaufen weiter über afferente Bahnen zum Gehirn und Rückenmark, welche zusammen das zentrale Nervensystem bilden; die quergestreifte Muskulatur, die Skelettmuskulatur, wird durch die efferenten Nervenbahnen induziert und führt folglich eine motorische Reaktion aus (vgl. Pierobon et al., 2013, S. 79; Duarte, 2010, S. 184).

2.2.2 Subsysteme des posturalen Systems

Wie bereits im vorigen Unterkapitel angesprochen, gliedert sich das posturale System in mehrere Subsysteme. Im Folgenden werden diese Subsysteme näher beschrieben, um den gesamten Vorgang der posturalen Kontrolle des menschlichen Körpers besser zu verstehen.

2.2.2.1 Das visuelle System

Das visuelle System liefert den Menschen eine enorme Anzahl an Informationen über deren Umgebung. Es ist von großer Wichtigkeit für die Planung von Bewegungen und durch dieses Vorausplanen können Ausweich-, Ausgleich- und Abwehrbewegungen durchgeführt werden (vgl. Pierobon, 2013, S. 79). Visuelle Reize wären zum Beispiel das visuelle Erkennen der Bodenbeschaffenheit, von Hindernissen, der Abstände zu Objekten oder anderen Personen, etc. Wird die visuelle Wahrnehmung durch verschiedenste Umstände, seien es biologische oder äußere, eingeschränkt, führt dies oftmals zu einer Reduktion der Bewegungsgeschwindigkeit bzw. auch zu einer erhöhten Sturzgefahr (vgl. Pierobon, 2013, S. 79).

Allgemein ist die visuelle Wahrnehmung „das Ergebnis der Wechselwirkung sensorischer und motorischer Leistungen des Auges und des Zentralnervensystems“ (vgl. Schmidt & Thews, 1997, S. 224). Physiologisch gesehen nimmt das Auge elektromagnetische Wellen von Objekten wahr und entwirft aus diesen Bilder (vgl. Lang, 2000, S. 66). Durch die Bewegungen der Augen-, Kopf- und Körperbewegungen entstehen alle 0,2-0,6 Sekunden neue Bilder auf der Netzhaut, die zum zentralen Nervensystem weitergeleitet werden. Das Gehirn erzeugt schlussendlich eine einheitliche und kontinuierliche Wahrnehmung des uns umgebenden Raumes. Das Objekt, welches im Moment als am wichtigsten empfunden wird, wird durch die Blickbewegungen des Auges am schärfsten gesehen (vgl. Schmidt & Thews, 1997, S. 224).

2.2.2.2 Das vestibuläre System

Dieses Subsystem des posturalen Systems liefert Informationen über die Balanceverlagerung des Menschen und wird daher auch als das Gleichgewichtssystem bzw. -organ bezeichnet. Körperneigungen, Drehbewegungen sowie Beschleunigungen bzw. Verlangsamungen werden von dem vestibulären System wahrgenommen und an das Gehirn weitergegeben (vgl. Pierobon, 2013, S. 79). Generell besteht das vestibuläre System aus dem Vestibularapparat, welcher sich wiederum aus den zwei Makulaorganen und drei Bogengangsorganen zusammensetzt und sich im Labyrinth befindet (vgl. Pierobon, 2013, S. 79).

Der Vestibularapparat formt einen Teil des Innenohrs und alle fünf Organe, aus welchen dieser besteht, besitzen sogenannte Sinnesepithelien, welche in eine gallertartige Masse hineinragen. Die Sinneszellen des Vestibularapparates besitzen am oberen Ende zahlreiche feine Härchen (Zilien), welche eng mit afferenten Nervenbahnen verbunden sind (vgl. Schmidt & Thews, 1997, S. 252). Die Haarzellen in den Makulaorganen und Bogengangsorganen sind dazu imstande, mechanische Reize, welche im Ohr erzeugt werden, an das Zentralnervensystem weiterzuleiten, die im Anschluss vom Gehirn zu sinnvollen Informationen verarbeitet werden. Der Grundmechanismus der beiden Organtypen ist ident, jedoch reagieren Makulaorgane auf Translationsbeschleunigungen, wohingegen die Bogengangsorgane auf Drehbeschleunigungen durch deren anatomische Konstruktion reagieren (vgl. Schmidt & Thews, 1997, S. 252; Lang, 2000, S. 82).

In der folgenden Abbildung ist der Vestibularapparat vereinfacht veranschaulicht (vgl. Schmidt & Thews, 1997, S. 252).

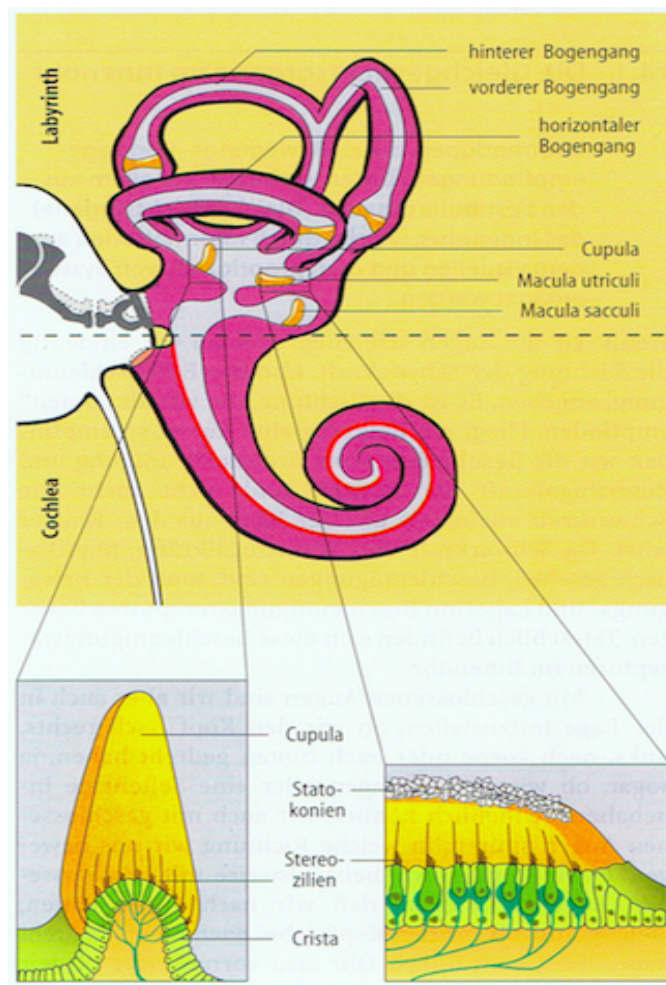


Abb. 5: Das vestibuläre System - das Labyrinth des Innenohrs im Schema (Schmidt & Thews, 1997, S. 252).

Schlussfolgernd ist das vestibuläre System ein überaus wichtiger Bestandteil des posturalen Systems, da es einen wesentlichen Teil dazu beiträgt, dass der Mensch weiß, in welcher Lage er sich befindet bzw. ob sich der Körper dreht oder beschleunigt. Taube (vgl. 2013, S. 57) schreibt dem vestibulären System die wichtigste Rolle im posturalen System zu.

2.2.2.3 Das propriozeptive System

Diese Art der Wahrnehmung, die propriozeptive Wahrnehmung, wird laut Pierobon (vgl.

2013, S. 79) und Schmidt und Thews (vgl. 1997, S. 224) als die *Eigenwahrnehmung* oder *Tiefensensibilität* beschrieben. Das propriozeptive System ist dafür zuständig, dem Körper mitzuteilen, wo sich dieser im Raum befindet, beziehungsweise, welche Stellung er gerade einnimmt (vgl. Birklbauer 2006, S. 33; Gaerlan, 2011, S. 2). Auch ohne visuelle Wahrnehmung weiß der Mensch, dank dieses Systems, ob beispielsweise die Extremitäten gestreckt oder gebeugt sind (vgl. Schmidt und Thews, 1997, S. 224). Die Wahrnehmung selbst erfolgt über spezifische Rezeptoren, sogenannte Propriozeptoren, welche sich in Sehnen, Muskeln und Gelenkstrukturen befinden und drei Qualitäten besitzen, nämlich den Stellungs-, Bewegungs- und Kraftsinn (vgl. Pierobon, 2013, S. 79; Schmidt & Thews, 1997, S. 224). Die Propriozeptoren „registrieren Muskeltonus, Muskellänge, Gelenkstellung und Spannungszustand der Sehnen“ (Pierobon, 2013, S. 79). Der Stellungssinn hilft, wie oben bereits beschrieben, Stellungen der Gelenke auch ohne visuelle Hilfe wahrzunehmen. Der Bewegungssinn bezieht sich auf die Gelenkbewegung und ist abhängig von der Winkelgeschwindigkeit. Das Ausmaß der Muskelkraft, welches für eine gewisse Bewegung beziehungsweise Bewegungseinhaltung aufgewendet werden muss, wird über den Kraftsinn wahrgenommen. Birklbauer (vgl. 2006, S. 33) unterscheidet drei verschiedene Arten von Propriozeptoren, welche für die Tiefensensibilität verantwortlich sind, nämlich:

- Gelenkrezeptoren in Gelenken
- Golgi-Sehnen-Apparat in Sehnen
- Muskelspindeln in Muskeln

Die Gelenkrezeptoren in der Gelenkkapsel lassen sich in weitere Rezeptortypen untergliedern, zum Beispiel Ruffini- und Pacini-Körperchen. Diese verschiedenen Gelenkrezeptoren leiten Informationen bezüglich Geschwindigkeit der Gelenkbewegung, intradaykapsulärer Druckerhöhungen sowie Beschleunigung und Verzögerung von Bewegungen weiter (vgl. Birklbauer, 2006, S. 33). Der Dehnungsrezeptor, der sogenannte Golgi-Sehnen-Apparat, befindet sich nahe der Muskelsehnenverbindungen und gibt Auskunft über die Muskelspannung beziehungsweise über die Spannung zwischen Muskel und Knochen (vgl. Birklbauer, 2006, S. 33). Laut Birklbauer (vgl. 2006, S. 34) sind die Muskelspindeln zwischen den Muskelfasern, parallel zum Muskel angeordnet, und dehnen sich mit dem Muskel mit, wenn dieser gedehnt wird. Aufgabe dieser Muskelspindel ist es, den Muskel über Deformationen, also zum Beispiel Überdehnung, zu informieren und durch verschiedenste Prozesse davor zu schützen. In der folgenden Abbildung ist die propriozeptive System vereinfacht dargestellt:

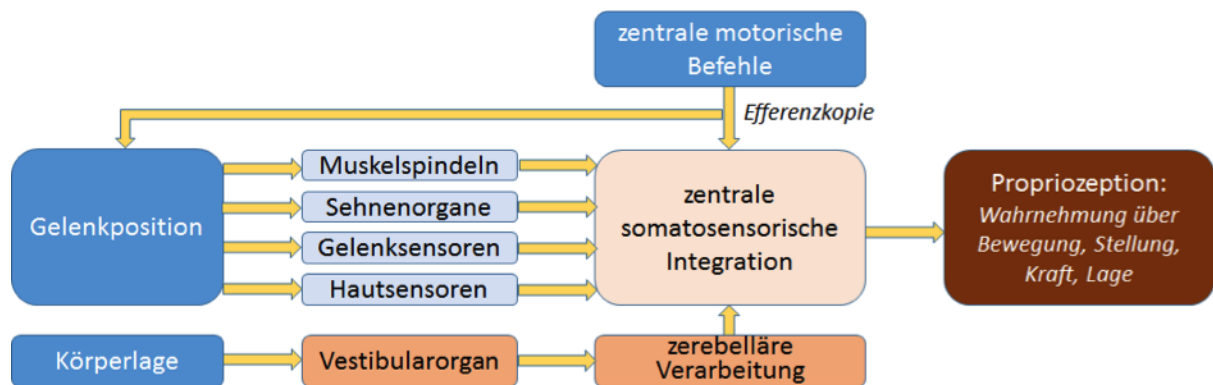


Abb. 6: Propriozeption und dessen afferente und efferente Systeme (vgl. Schmidt & Thews, 1997, S. 223).

Durch die ausgesprochen gute Vernetzung der Propriozeptoren mit afferenten Bahnen ist dieses System in der Lage, kleinste Kraftempfindungen wahrzunehmen und so den Körper optimal auf die vorherrschende Situation vorzubereiten bzw. einzustellen (vgl. Birklbauer, 2006, S. 33). Allgemein lässt sich sagen, dass das propriozeptive System immer als Ganzes gesehen werden muss und die einzelnen afferenten und efferenten Systeme zusammen wirken müssen, um optimal funktionieren zu können.

2.2.2.4 Das Zusammenwirken der Subsysteme

Auch Horak (vgl. 2006, ii8) veranschaulicht in einer Abbildung, welche Ressourcen für die posturale Stabilität und Orientierung vorhanden sein sollen beziehungsweise müssen. Er besagt, dass eine Störung eines oder mehrerer Systeme zu einem erhöhten Sturzbeziehungsweise Verletzungsrisiko führt.

Die Ressourcen von Horak (vgl. 2006, S. ii8) beschrieben, sind wie folgt:

- „*Biomechanical Constraints*“
- „*Movement Strategies*“
- „*Sensory Strategies*“
- „*Orientation in Space*“
- „*Control of Dynamics*“
- „*Cognitive Processing*“

Resources Required for Postural Stability and Orientation

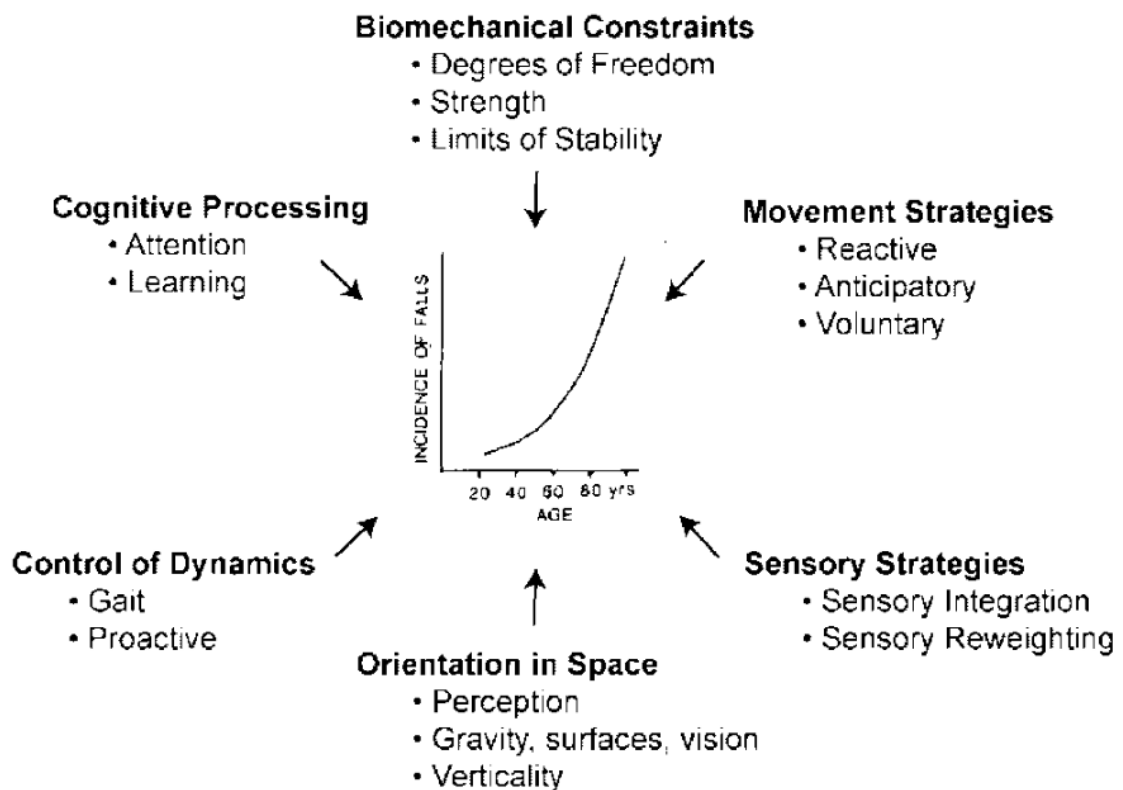


Abb. 7: Ressourcen der posturalen Stabilität und Orientierung (Horak, 2006, S. ii8).

In der Mitte der Abbildung befindet sich eine Grafik, welche, das steigende Verletzungsrisiko mit zunehmendem Alter beschreibt. Da verschiedene Systeme, zum Beispiel das visuelle System, sowie Ressourcen in der zweiten Lebenshälfte, bedingt durch verschiedenste Faktoren, vielfach immer weiter eingeschränkt werden, erhöht sich proportional auch die Wahrscheinlichkeit, sich zu verletzen beziehungsweise zu stürzen (vgl. Horak, 2006, S. ii8).

Horak (vgl. 2006, S. ii9) ordnet den verschiedenen sensorischen Strategien in Bezug auf die posturale Kontrolle eine Gewichtung zu und sagt, dass 70 % der Informationen aus dem somatosensorischen beziehungsweise propriozeptiven System, nur 10 % aus dem visuellen und ca. 20 % aus dem vestibulären System kommen. Diese Prozentangaben beziehen sich auf eine gesunde Person ohne Einschränkungen, welche auf einer stabilen Unterlage steht. Kommt es zu Einschränkungen von Subsystemen bzw. verändert sich

die Umgebung oder der Untergrund, so verändert sich die Gewichtung und somit auch die Prozentzahlen (vgl. Horak, 2006, S. ii9).

Dem entgegen meint Taube (vgl. 2013, S. 57), dass eine Bestimmung der relativen Beiträge jedes einzelnen Systems sehr schwierig bis unmöglich sei, jedoch „könnten aber störreizspezifische Präferenzen aufgezeigt werden.“ So nimmt, laut Taube (vgl. 2010, S. 57), das somatosensorische System bei schnellen Richtungsänderungen der Unterstützungsfläche die wichtigste Rolle ein. Das vestibuläre System ist vor allem dafür verantwortlich, langsame Schwankungen zu kontrollieren.

2.3 Posturographie

Posturographie bezeichnet eine Praktik, durch welche die posturale Kontrolle einer Person geprüft werden kann. Seit 47 Jahren findet sie Verwendung und ist heute bedingt durch den Fortschritt der Messtechnologie wesentlich aussagekräftiger geworden (vgl. Nashner, 1970). Entwickelt wurde das Konzept der dynamischen Posturographie von Lewis M. Nashner im Rahmen der NASA. Durch den zukunftssträchtigen und vielversprechenden medizinischen Hintergrund, halfen auch die Organisationen „*National Institutes of Health (NIH)*“ und „*National Institute for Neurological Disorders and Blindness (NINDS)*“ dieses Projekt voran zu treiben. Nashner vertiefte sein Wissen in diesem Gebiet und durch die dadurch entstandenen Studien entwickelte sich die klinische computerunterstützte dynamische Posturographie (vgl. Nashner, 1970). Sie eignet sich zur Quantifizierung und Verlaufskontrolle von Erkrankungen, die mit einer gestörten Kontrolle des Gleichgewichts und der Körperhaltung einhergehen.

Die Ergebnisse verhelfen im Lenken bei ärztlichen Behandlungen, Rehabilitationen oder zur Identifizierung von Sinnesfunktionsstörungen (vgl. Faraldo-García, 2011, S. 333). Während des letzten Jahrzehnts wurden vermehrt Informationen der Posturographie und Ergebnisse über posturalen Schwankungen als klinisches Instrumentarium verwendet, um therapeutische Behandlungen kundengerecht und individuell an einzelne Patienten anpassen zu können (vgl. Mancini & Horak 2010, S. 5).

Die Messmethoden zur Posturographie bestehen erst seit etwa 50 Jahren. In den achtziger Jahren gab es lediglich wenige Möglichkeiten das Gleichgewicht mittels verschiedener Techniken zu erforschen. Ein altbekanntes Verfahren war der „*RoMberg-Test*“, welches bereits im Jahre 1853 Einsatz fand. „Dabei hat die Testperson die Aufgabe, mit geschlossener Fußposition und geschlossenen Augen und ausgestreckten

Armen so ruhig wie möglich zu stehen.“ (Bös, 2001, S. 262). Durch diese Untersuchung konnten Balanceschwierigkeiten von Personen aufgezeigt werden, wobei es bei dieser Art der Analyse verhältnismäßig zu großen Gleichgewichtsschwankungen einzelner Personen kam und Testpersonen zu Stürzen neigten (vgl. Bös, 2001, S. 262). Fortlaufend wurden vermehrt Kraftmessplatten eingesetzt, um Körperschwankungen besser messen zu können. Auf diesem Fundament konnte für eine fortschrittlichere Überprüfung der Gleichgewichtsfähigkeit apparative Verfahren entwickelt werden (vgl. Bös, 2001, S. 263).

Im Laufe der Zeit haben sich unterschiedliche Messgeräte der Posturographie entwickelt, die divergente Parameter messen können. Die Bewegungen werden in den meisten Fällen mit piezo-elektrischen Widerständen oder Dehnungsmessstreifen protokolliert (vgl. Bauer et al., 2010, S. 245). Hauptsächlich werden dabei Parameter gemessen, welche Schwankungen des Körperdruckpunktes wiedergeben. Der wohl bekannteste Messparameter des posturalen Systems ist der „*Center of Pressure Track*“ (CoPT) (vgl. Marksteiner, 2016, S. 25). Typische Faktoren, die durch Testungen erfasst werden, sind beispielsweise der Schwankungsweg des Körperdruckpunktes (in cm) als auch die Schwankungsfläche des Körperdruckpunktes auf der Unterstützungsfläche (vgl. Timmann-Braun, 2012, S. 115). Diese Kenngröße wird im Zusammenhang dieser wissenschaftlichen Arbeit als „*Range of Motion*“ (RoM) oder Bewegungsfläche benannt, da die Umrisse des CoPT bemessen werden (vgl. Sense Product, 2016). Alle weiteren Parameter, die durch Messgeräte erforscht werden können, sind im Zuge dieser Arbeit irrelevant. Das Augenmerk dieser Diplomarbeit wird lediglich auf den Faktor CoPT und RoM gerichtet.

2.3.1 Statische Posturographie

Die statische Posturographie zeigt unwillkürliche Körperschwankungen beim aufrechten und ruhigen Stand auf einer unbewegten Plattform auf (vgl. Timmann-Braun, 2012, S. 113). Sie verfolgt das Ziel, Körperschwankungen, welche der Gleichgewichtskontrolle einer Person dienen, zu messen (vgl. Mancini & Horak, 2010, S. 5). Die Aufzeichnungen der Daten werden als geometrische Darstellung der Kraftschwerpunkte, auch „*Center of pressure*“ genannt, auf der Standfläche abgebildet. Durch unterschiedliche Messungen mit offenen und geschlossenen Augen, kann auch der Einfluss des visuellen Systems auf die Standsicherheit untersucht werden. Unverkennbar ist, dass durch eine Störung der propriozeptiven Wahrnehmung, die Körperschwankungen beim aufrechten Stand mit geschlossenen Augen deutlich größer ausfallen, als mit offenen Augen. Darüber hinaus

können durch den Einsatz unterschiedlicher Bodenbeschaffenheiten auch die Auswirkungen somatosensibler Afferenzen getestet werden. Werden beide Tätigkeiten zeitgleich durchgeführt, nimmt die Standsicherheit um ein Vielfaches ab und die Gleichgewichtskontrolle kann nur mehr zu einem geringen Anteil von somatosensiblen und visuellen Afferenzen gesteuert werden. In diesem Fall beruht die posturale Kontrolle dann Großteils auf der Funktionsfähigkeit des vestibulären Systems (vgl. Timmann-Braun, 2012, S. 114). Trotz dessen, dass die statische Posturographie schon jahrelange Anwendung findet, bestehen vergleichsweise wenig qualitativ hochwertige schriftliche Darlegungen, die sich mit der Überprüfung der Reliabilität posturographischer Messungen auseinandersetzen (vgl. Bauer et al., 2009, S. 245). Der Begriff der Reliabilität wird in einem späteren Kapitel nochmals genau erläutert, da dieser einen erheblichen Stellenwert für die vorliegende Arbeit darstellt.

2.3.2 Dynamische Posturographie

Im Gegensatz zur statischen Posturographie ist die Messplatte bei der dynamischen Posturographie beweglich und schließt den Gebrauch von äußeren Gegebenheiten, wie auch Veränderungen der Oberfläche oder Sehbedingungen mit ein (vgl. Mancini & Horak, 2010, S. 6). Es werden hierbei zwei Formen unterschieden: Zum einen der *“Sensory Organization Test”*, abgekürzt SOT und zum anderen Haltereфлекse. Bei der Messung des SOT handelt es sich um eine bewegliche Plattform, welche sich den unbewussten Körperschwankungen anpasst. Kombiniert mit der Verminderung von sensorischen Feedback-Mechanismen (durch Unterdrückung von visuellen, vestibulären oder somatosensorischen Informationen), kommt es, zu Veränderungen der Messparameter (vgl. Timmann-Braun, 2012, S. 115). Auch hier nimmt die Standsicherheit ab, wenn die koordinativen Anforderungen durch den beweglichen Untergrund oder die Verminderung der sensorischen Information erhöht werden. Generell wird der SOT-Test häufig zum Begründen von vestibulären Einschränkungen herangezogen, ist jedoch nach derzeitigem Wissensstand nicht zur Differentialdiagnose von Krankheiten einsetzbar (vgl. Timmann-Braun, 2012, S. 118).

“The sensory Organisation test and the limits of stability are the Gold Standard for dynamic posturography” (Faraldo-García et al., 2011, S. 333).

Haltungsreflexe werden durch unvorhersehbare Auslenkungen der beweglichen Messplatte erzeugt und von der Beinmuskulatur weggeführt. Die Methode ist förderlich zur Unterstützung anderer elektrophysiologischen Messungen, alleinig allerdings wenig

aussagekräftig (vgl. Timmann-Braun, 2012, S. 113).

Durch die Vielzahl der Untersuchungsmöglichkeiten, können bei der statischen und dynamischen Posturographie verschiedene Aspekte des Stehens analysiert werden (vgl. Timmann-Braun, 2012, S. 114). Diese Techniken gewähren Einblick in eine Fähigkeit eines Themas, vestibuläre, visuelle und somatosensorische Informationen und den Verhältnissatz von jedem von ihnen zum gesamten Gleichgewicht zu verwenden. (vgl. Faraldo-García, 2011, S. 333).

2.4 Posturographische Tests zur Erfassung der Gleichgewichtskontrolle

Zahlreiche Studien beschäftigen sich mit der Erfassung von posturaler Kontrolle, wobei der Großteil der vorliegenden Daten bislang mit einer überschaubaren Anzahl an posturographischen Messsystemen erhoben wurde. Die verwendeten posturographischen Messsysteme erlauben die hochpräzise Erfassung und Analyse von Messsignalen. Sie verwenden dazu Sensoren zur Messung von Druck, Kraft, Drehmoment und Beschleunigung. Bei den meisten Systemen werden dabei Piezoelektrische bzw. piezoresistive Signale erfasst. Der 1880 von den Brüdern Curie entdeckte Piezoeffekt beruht darauf, dass verschiedene Materialien (vor allem Quarzkristalle) bei mechanischer Belastung ein Ladungssignal erzeugen, das direkt proportional zur einwirkenden Kraft ist. Ein anderes Messprinzip, verwendet zur Datenerfassung Dehnungsmessstreifen (vgl. Kistler, 2017). Hier basiert die Messmethodik auf dem physikalischen Effekt, dass sich der elektrische Widerstand eines Drahtes beim Strecken oder Stauchen proportional zu seiner Dehnung ändert (der Zusammenhang zwischen mechanischer Spannung und Dehnung wird dabei durch das lineare Hook'sche Gesetz geregelt). Vereinzelt, wie auch bei vorliegender Diplomarbeit kommen sogenannte Matrix Drucksensoren zum Einsatz, welche ein sogenanntes „*pressure mapping*“ erlauben, also Auskunft über den Verlauf der Druckschwankungen im aufrechten Stand ermöglichen (vgl. Kistler, 2017).

Im Allgemeinen werden die Daten und Veränderungen mittels eines Messgeräts aufgezeichnet und mit einer Kraftmessplatte erhoben, die aus einer Plattform besteht in der Kraftsensoren des Lastzelltyps oder piezoelektrisch verteilt sind, um drei Kraftbestandteile und drei Komponenten des Moments der Kraft zu messen (vgl. Duarte, Freitas 2010, S. 185).

Im kommenden Abschnitt werden nur jene Messgeräte vorgestellt, welche vermehrt in der Posturographie Anwendung finden.

Zur Erfassung der in der vorliegenden Diplomarbeit relevanten posturographischen Parameter, RoM (Range of Motion) und CoPT (Center of Pressure Track), wurde ein neues Posturographiesystem *sense wave medical*® (Sense Product GmbH, Wien, Österreich) verwendet, welches noch ausführlich beschrieben und weiteren, bereits geläufigeren Analysemethoden, gegenübergestellt wird. Um einen Vergleich zu ermöglichen, werden vorerst unterschiedliche Messmethoden vorgestellt.

2.4.1 NeuroCom SMART EquiTest® (Natus Med Inc, San Carlos, CA)

Die statische und dynamische Posturographie haben sich besonders im klinischen Bereich als wichtiges Werkzeug etabliert, um einzelne Faktoren des Gleichgewichts von Personen im aufrechten Stand erfassen zu können. (vgl. Timmann-Braun, 2012, S. 113).

Das NeuroCom EquiTest® System besteht aus einer künstlichen Umgebung und einer Stützfläche, die sich mitbewegt, wenn spontane Körperschwankungen beim Patienten auftreten. Mit Hilfe des EquiTest® Balance Masters des NeuroCom® Konzern kann der bereits beschriebene Sensory Organisation Test (SOT), der Informationen über das Ausmaß an Einflüsse durch den visuelle, vestibuläre und somatosensible Aspekte auf die Standsicherheit liefert, ausgeführt werden.

Bei der Messung gibt es sechs verschiedene Testvorgaben, die in drei Durchgängen je 20 Sekunden lang erfasst werden (vgl. Timmann-Braun, 2012, S. 116). Nach jeder Messung führt der SOT-Test eine Ergebnismaßnahme, die auch als Gleichgewichtsscore bzw. „*equilibrium score*“ (ES) bezeichnet wird, durch. Die Ergebnismaßnahme beschreibt die gesamtheitliche Koordination der visuellen, propriozeptiven und vestibulären Systeme zur Aufrechterhaltung der Stabilität. Die Komponente ES wird als gewichteter Durchschnitt des Scores aus den sechs Bedingungen des SOT ausgewertet. Der ES-Wert aus dem Sensory Organisation Test wird als klinisch relevanter Maßstab für das Gleichgewicht gesehen und findet bei Ärzten, Therapeuten und auch in der Wissenschaft Anwendung. Im Vergleich zu einer einfachen Kraftmessplatte, sind die EquiTest Geräte weitaus kostspieliger, erlauben jedoch auch wesentlich genauere Aussagen zur posturalen Kontrolle (vgl. Chaudry et al., 2004, S. 1).

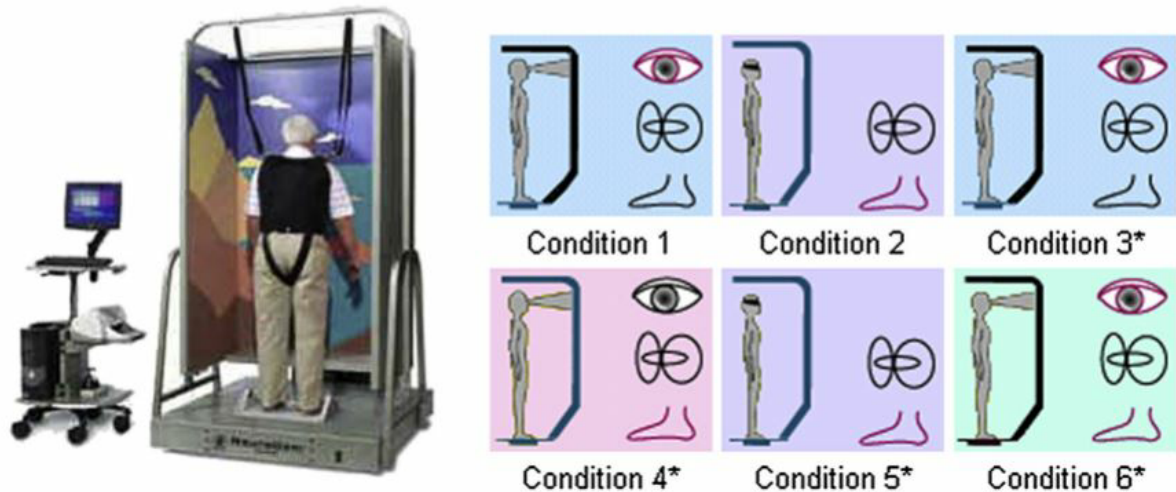


Abb. 8: NeuroCom EquiTest System® (Chaudhry et al., 2008, 84).

Bei dem Messverfahren befinden sich die Testpersonen im aufrechten Stand auf einer Standfläche und richten ihren Blick gerade auf die visuelle Umgebung. Wie aus der Abbildung ersichtlich, werden die Probanden viermalig mit offenen Augen getestet und nur zwei Mal mit geschlossenen Augen. Um die Schwierigkeit zu steigern, besteht die Möglichkeit die Plattform aber auch den künstlichen Umgebungsraum beweglich zu machen, wodurch die sensorischen Einflüsse verändert werden. Die sechs unterschiedlichen Bedingungen mit der eine Person getestet wird, sind: 1. offene Augen, stabile Plattform und Umgebungsfläche, 2. geschlossene Augen, stabile Plattform und Umgebungsfläche, 3. offene Augen, bewegliche Umgebungsfläche, 4. offene Augen, bewegliche Plattform, 5. geschlossene Augen, bewegliche Plattform und 6. offene Augen, bewegliche Umgebungsfläche und Plattform (vgl. Chaudhry et al., 2004, S.84).

2.4.2 Biodex Stability System® (Biodex Med Syst., New York, USA)

Das Biodex Stability System® ist ein häufig verwendetes Test- und Trainingsgerät und wird in vielen Publikationen auch mit der Abkürzung BBS (Biodex Balance System) betitelt.

Im Gegensatz zu starren Kraftmessplatten-Systemen verwendet das BBS eine kreisförmige Platte, welche sich gleichzeitig in der anterior-posterioren und medial-lateralen Achse bewegen kann wobei der Neigungswinkel bis zu 20 Grad betragen kann. Unter dynamischen Bedingungen misst das BSS den Grad der Neigung somit um jede Achse, um so spezifische Ergebnisse zu bekommen (vgl. Arnold & Schmitz, 1998, S. 323). Das System berechnet eine Punktzahl für den medial-lateralen Stabilitätsindex

(MLSI), die zwei anterior-posterior Stabilitätsindizes (APSI) und den Gesamtstabilitätsindex (OSI). Dabei deutet ein niedriger Stabilitätsindex auf bessere Ergebnisse hin als ein großer Index. Während der Testung müssen die Probanden und Probandinnen versuchen jeweils für 20 Sekunden, ihren Druckmittelpunkt (CoP) innerhalb einer vorgegebenen und am Bildschirm angezeigten begrenzten Zone zu halten. Darüber hinaus ist es möglich, die Stabilität der Plattform zu variieren, indem man die Widerstandskraft der angebrachten Federn an der Unterseite der Standfläche verändert (vgl. Arnold & Schmitz, 1998, S. 323). Neben der unbewegten Standfläche, können weitere zwölf bewegliche Grade eingestellt werden, bei denen sich die Plattform durch Gewichtsverlagerung mitbewegen lässt. Die Stabilität nimmt von Grad 1 bis 12 kontinuierlich zu.

Das BBS ist ein simples Verfahren, das eine rasche Auswertung ermöglicht und überdies als Trainingsgerät für Personen mit und ohne Beeinträchtigungen dienen kann (vgl. Greve et al., 2013, S. 4). Die posturale Kontrolle am BBS kann sowohl einbeinig wie auch beidbeinig erfasst werden. Im Vergleich zu anderen Geräten zeichnet sich dieses Biodex Messsystem durch seine einfache und bequeme Handhabung und seine umfangreichen Anwendungsmöglichkeiten aus. (vgl. Ku, Osman, Yusof, Wan Abas, 2012, S. 1639).

Vorherige Studien haben gezeigt, dass BBS zuverlässige Bewertungen über das Gleichgewicht gesunder Probanden liefert (vgl. Karimi, Ebrahimi, Kahrizi, Torkaman, 2008, S. 373). Zudem wurde dem Biodex Balance System meist eine gute Reliabilität der Messungen bescheinigt (vgl. Karimi, Ebrahimi, Kahrizi, Torkaman, 2008, S. 375).



Abb. 9: Biodex Balance System®
(Palm, et al., 2009, S. 329).

Die obige Abbildung zeigt das Biodex Balance System mit einer vergrößerten Ansicht des LCD-Displays, das visuelle Rückmeldungen über die Plattformbewegungen liefert (vgl. Palm et al., 2009, S. 329).

2.4.3 Tetrax® (Sunlight Med Ltd, Tel Aviv, Israel)

Das Testgerät Tetrax® wird zur Analyse der statischen Haltungsbilanz herangezogen. Ein Testschema besteht aus mehreren Einzelmessungen mit unterschiedlichen Vorgaben. Jede Messung wird 40 Sekunden lang durchgeführt, wobei die Personen barfuß mit aufrechter Körperhaltung und bipedalem Stand auf eine markierte stabile Plattform stellen müssen (vier fixe Kraftmessplatten welche unter statischen Bedingungen Körperschwankungen erfassen indem Veränderungen des Druckmittelpunktes jeweils im Zehen und Ballenbereich erfasst werden). Für die Testreihe werden acht unterschiedliche Bedingungen, indem beispielsweise eine Messung mit offenen oder geschlossenen Augen jeweils mit zwei weiteren Komponenten kombiniert wird, gemessen. Dabei ist die Kopfposition (vestibulärer Einfluss) während den Testungen bestimmend. Diese kann je nach Vorgabe nach unterschiedlich aussehen, bestimmt durch eine gerade, zur Seite gerichtete (rechts/links), oder nach unten gerichtete Kopfhaltung auf einem harten oder



Abb. 10: Tetrax® statische Posturographie (Akkaya et al., 2015, S. 896)

weichen Untergrund. Sowohl vestibuläre, visuelle und somatosensorische Einflüsse als auch vertikale Druckschwankungen werden bei jeder einzelnen Messbedingung aufgezeichnet, und sollen zur Ermittlung der posturalen Stabilität und einer genaueren Vorhersage der Sturzgefahr dienen. Dazu werden verschiedenste Parameter gemessen, wie der Stabilitätsindex, der Gewichtsverteilungsindex des linken bzw. rechten Beines, der Zehen- oder Fersensynchronisationsindex als auch die Fourier Frequenzanalyse der Körperschwankungen und der Sturzindex (vgl. Fukunaga et al., 2014, S. 510). Tetrax® verfügt über einen Computer mit Software System, mit welchem alle Daten aufgezeichnet und miteinander verglichen werden können (vgl. Akkaya et al., 2015, S. 895). Das Messgerät Tetrax® weist eine hohe Test-Retest-Zuverlässigkeit für die Prüfung der Haltungsstabilität auf (vgl. Akkaya et al., 2015, S. 899).

2.4.4 Weitere Testgeräte

In vereinzelt Studien wurden auch andere Posturographiesysteme verwendet, die aufgrund ihrer geringen Verbreitung im Zuge der vorliegenden Arbeit nicht genauer erläutert werden. Bei diesen Testmodellen handelt es sich beispielsweise um das Interaktive Balancesystem (IBS), welches überwiegend in klinischen Bereichen Anwendung findet und auf eine separate Messung von Vertikalkräften auf vier Kraftmessplattformen basiert. Auch der Kinesthetic Ability Trainer (KAT 2000), welcher

vornehmlich als Trainingsgerät verwendet und zur Funktionsprüfung des neuRoMuskulären Steuersystems eingesetzt wird, kann hier erwähnt werden. Letztgenanntes System welches kommt jedoch nur bei Trainingsgruppen zum Einsatz und ist für Einzelpersonen ungeeignet ist (vgl. Schwesig et al., 2006, S. 379; Hansen et al., 2000, S. 180).

2.4.5 Vergleich der Messverfahren

Die Schwierigkeit am Vergleich der Messverfahren liegt darin, dass jedes Gerät eine andere Messtechnologie vorweist, unter verschiedensten Bedingungen forscht und teilweise andere Parameter beachtet. Eine Gemeinsamkeit ist, dass in allen Fällen eine hohe Reliabilität der Messgeräte gegeben ist, wodurch diese als zuverlässig eingestuft werden können und somit mit korrekten Datenerhebungen zu rechnen ist.

2.5 Reliabilität der Posturographie

Messungen zur statischen und dynamischen Posturographie sind inzwischen weit verbreitet und in zahlreichen Publikationen zu finden. Trotz dessen existieren bislang nur wenige Berichte über die Zuverlässigkeit ihrer Parameter. Laut Bauer et al. (2007), die eine Studie über die Reliabilität der stabilen Posturographie durchgeführt haben, ist die Verlässlichkeit der Messungen ausdrücklich an das dazu verwendete Protokoll gebunden. Die Reliabilität ist demnach bedeutend abhängig von den Testbedingungen, den erfassten Parametern und der Studiengröße beziehungsweise der Anzahl der Testpersonen (vgl. Bauer et al., 2007, S. 4). Jedoch tauchen immer wieder widersprüchliche Resultate bei einzelnen Untersuchungen auf, wodurch die Qualität der Messmethode in Frage gestellt wird. Messgeräte sollten auf höchste Reliabilität getestet werden, um garantiert genaue Ergebnisse zu liefern. Bauer et al. (2009) haben im Jahr 2009 eine weitere Publikation zur Reliabilität der stabilen Posturographie veröffentlicht mit möglichen Anhaltspunkten, welche die Zuverlässigkeit der getesteten Messparameter bekräftigen könnte. Demzufolge empfiehlt sich laut Bauer et al. (2009) eine Messdauer von 25 Sekunden, mit jeweils drei Messdurchgängen und einer geringen Pause von zwei Minuten unterdessen, anzuwenden. Zudem wird zur Erhebung mit enger Standposition geraten, da durch die Erschwernis der Fußposition Unterschiede der ProbandInnen deutlicher erkennbar wären. Zu guter Letzt appellieren Bauer et al. (2009) dafür, folgende Messparameter zu ermitteln: *„Durchschnittsgeschwindigkeit des Körperdruckpunktes in*

mm/s, die Länge der Druckpunktbewegung in mm, die Schwankungsfläche in mm² und der Neigungswinkel der Patienten in Grad in der Sagitalebene“ (Bauer et al., 2009, S. 248).

2.6 Center of Pressure (CoPT)

Posturale Kontrolle wird meist durch das Messinstrument einer „*force plate*“, also Messplatte, gemessen wobei der sogenannte „*Center of Pressure Track*“ (CoPT/COP/CP), Strecke des Druckmittelpunktes, eine der wichtigsten Variablen zur Bestimmung dieser ist (vgl. Brenda et al., 2008, S. 408; Duarte, 2010, S. 183). Diese Variable, wird von verschiedenen Wissenschaftlern unterschiedlich definiert:

Duarte (vgl. 2010, S. 183) definiert CoPT wie folgt, „The CP is the point of application of the resultant fRoM the vertical force’s action on the support’s surface.“ Brenda et al. (vgl. 2008, S. 408) beschreiben CoPT als „the point of application of the ground reaction forces under the feet.“ Laut Lafond et al. (vgl. 2004, S. 896) definiert sich CoPT als „the outcome of the inertial forces of the body and restoring equilibrium forces of the postural control.“ Sie schreiben weiters, dass durch die Analyse von CoPT auf neurologische und biomechanische Mechanismen der posturalen Kontrolle rückgeschlossen werden kann. Chaudhry et al. (vgl. 2011, S. 83) schreiben, „COP is the location of the vertical ground reaction vector on the force platform. This is different fRoM the vertical projection of the Center of Gravity (COG/CG).“

COG ist ein Maß der Verlagerung bzw. Schwankung des menschlichen Körpers und völlig unabhängig von der Geschwindigkeit und Beschleunigung des Körpers und dessen Segmente (vgl. Duarte, 2010, S. 186). Auch CoPT ist ein Maß der Verlagerung jedoch abhängig vom COG. CoPT beschreibt die Position des resultierenden Vektors von den Bodenkräften in der Kraftmessplatte. Dieser Vektor ist gleichwertig sowie entgegengesetzt zu den gewichteten Durchschnittskräften aller Positionen von all den Kräften, welche auf die Messplatte wirkten. Diese sind zum Beispiel die Gewichtskraft und innere Kräfte (von Muskeln oder Gelenken), welche sich auf den Untergrund übertragen (vgl. Duarte, 2010, S. 186). Von diesem Winkel betrachtet, beschreibt die COG-Verschiebung die Variable welche den „*Sway of the Body*“, also die Schwingungen bzw. Störungen des Körpers, beschreibt und CoPT die Kombination aus neuRoMuskulären Reaktionen auf die Verschiebungen des COG und die COG Position selbst (vgl. Duarte, 2010, S. 186; Winter, 1995, S. 127).

Eine weitere wichtige Größe in Bezug auf CoPT ist der „*Center of Mass*“ (COM). CoPT und COM stehen im Zusammenhang miteinander und werden oftmals missinterpretiert oder gar miteinander verwechselt (vgl. Winter, 1995, S. 127). Winter definiert COM wie folgt: „The COM of the body is the net location of the center of mass in three-dimensional (3D) space and is the weighted average of the COM of each segment.“ (vgl. Winter 1995, S. 127). Betrachtet man also COM von der vertikalen Richtung, ist dieser mit dem COG gleichzusetzen. Wie auch schon von Duarte (vgl. 2010, S. 186) erläutert, schreibt auch Winter (vgl. 2010, S. 127), dass CoPT eine neuRoMuskuläre Antwort auf die Dysbalance des Körpers COM ist.

Winter (vgl. 2010, S. 128) protokolliert ferner, dass die größten Irrtümer und Uneinigkeiten in Bezug auf CoPT dadurch entstehen, dass viele ForscherInnen und WissenschaftlerInnen CoPT mit „*sway*“, also der Schwankung des Körpers, gleichsetzen und es dadurch fälschlicherweise mit COM gleichsetzen. Winter (vgl. 2010, S. 128) verbildlicht den Unterschied in folgender Abbildung:

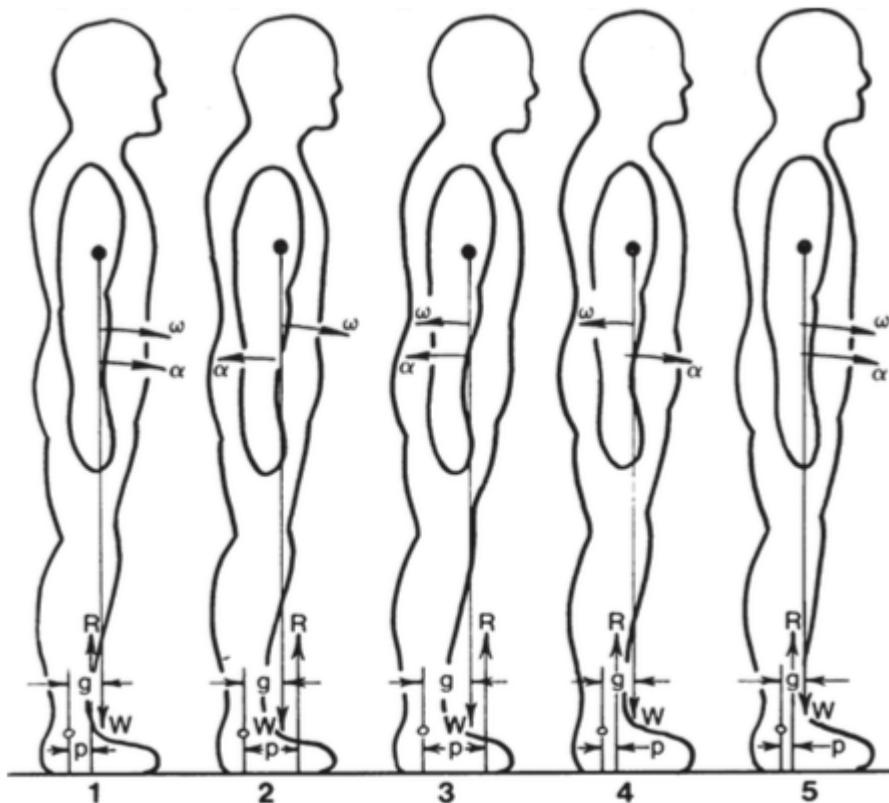


Abb. 11: Schwankendes Subjekt in Bezug auf CoPT und COM
(Winter, 2010, S. 128).

Das Subjekt schwingt nach vor und zurück, während es aufrecht auf einer Messplatte steht. Jede der einzelnen fünf Figuren zeigt eine veränderte Situation zu fünf verschiedenen Zeitpunkten. Das Subjekt zum Zeitpunkt 1 hat seinen COM (Vektor W) vor dem Vektor R , welcher COP beschreibt. Dieses Kraftparallelogramm bezieht sich auf die Distanzen g beziehungsweise p , wobei der Ausgangspunkt das Sprunggelenk ist (vgl. Winter, 2010, S. 128). Die Größenordnungen W und R sind gleich groß und konstant während die Person "still" steht. Nimmt man nur das Sprunggelenk als Ausgangsbeziehungsweise Drehpunkt an, so führen Rp und Wg gleichermaßen eine Bewegung im Uhrzeigersinn aus. Zum Zeitpunkt 1 ist $Wg > Rp$ und der Körper erfährt eine im Uhrzeigersinn ausgerichtete Beschleunigung α . Darüber hinaus kommt eine, auch im Uhrzeigersinn wirkende Geschwindigkeit ω auf den Körper zu (vgl. Winter, 2010, S. 128). Um diese Vorwärtsbewegung beziehungsweise Instabilität auszugleichen, muss das Subjekt seine Plantarflexoren aktivieren, wodurch sich COP erhöht und so zum Zeitpunkt 2 COP anterior zu COM ist ($Rp > Wg$). Daraus folgt, dass α sich nun in die entgegengesetzte Richtung bewegt, also sich erhöht, und sich ω gleichzeitig verkleinert. Zum Zeitpunkt 3 befinden sich α und ω gegen den Uhrzeigersinn und das Subjekt erfährt

eine Rückwärtsbewegung. Die Reaktion auf diese Bewegung des Subjekts zum Zeitpunkt 4 ist eine Reduktion der Plantarflexion, wodurch $W_g > R_p$ ist und sich schlussendlich α und ω wieder umdrehen und sich das Subjekt zum Zeitpunkt 5 wieder in der Ausgangsstellung befindet (vgl. Winter, 2010, S. 129).

Die folgende Abbildung zeigt eine Aufnahme von CoPT und COM mittels Kraftmessplatte:

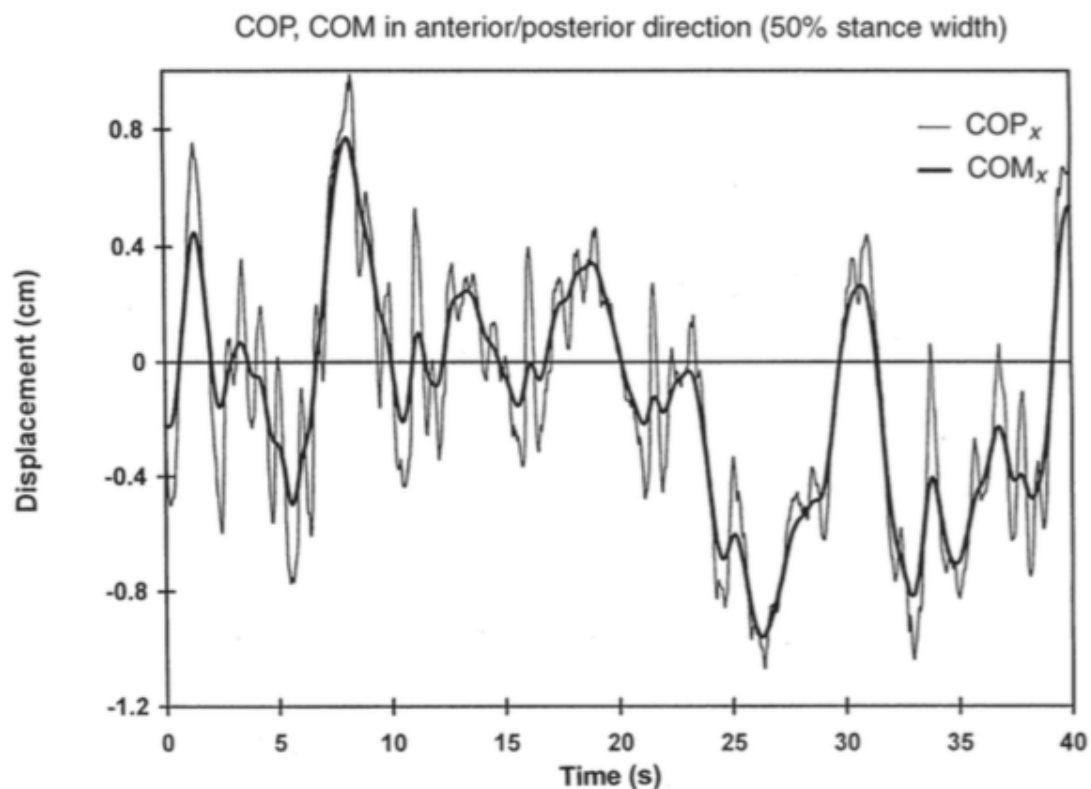


Abb 12: 40 Sekunden Aufnahme von CoPT und COM in Richtung anterior/posterior (Winter, 2010, S. 129)

Die Abbildung 12 veranschaulicht eine 40 Sekunden Aufnahme von COP und COM in der anterior/posterior Richtung, während die Person ruhig steht. Die Amplitude, erzeugt von COP, überschreitet diejenige von COM. Die Umkehrungen der Richtung von COM sind durch die Überlagerungen von COP verursacht.

Getestet wird CoPT, wie bereits erwähnt, auf einer Messplatte. Diese kann entweder aus nur einer Platte oder aus zwei separaten Platten bestehen (Chaudhry et al., 2011, S. 84). Für reliable Resultate wird eine längere Testdauer sowie mehrere Testreihen empfohlen

(vgl. Barbado et al., 2017; Lin et al., 2015; Chaudhry et al., 2011; Lafond et al., 2004). Darüber hinaus werden bei Untersuchungen zur posturalen Kontrolle, wie bereits erwähnt, üblicherweise die unterschiedlichen sensorischen Einflüsse durch unterschiedliche Testaufgaben überprüft (offene versus geschlossene Augen, Kopfposition, harte bzw. weiche Standfläche, zusätzliche Störimpulse), was sich in unterschiedlicher Reliabilität der Testaufgaben widerspiegelt (vgl. Chaudhry et al., 2011, S. 84). Pietro et al. (vgl. 1994, S. 27) schreiben dazu Folgendes:

COP measures of postural steadiness can be classified as time-domain measures of distance, area, or velocity; time- domain hybrid measures; and frequency-domain measures of spectral magnitude or distribution. [...]

The time-domain measures are the mean frequency, which is based on the mean velocity and mean distance; and fractal dimension, which is based on the number of points on the COP path, the planar diameter and total excursions of the COP. Frequency-domain measures are usually calculated from the power spectral density (vgl. Pietro et al., 1994, S. 27).

Welche zu testenden Parameter der Messvariable COP am aussagekräftigsten in Bezug auf die posturale Kontrolle sind, zum Beispiel „area, velocity, total distance, or frequency“ (Chaudhry et al., 2011, S. 84), kristallisiert sich trotz zahlreicher Studien, die sich mit CoPT beschäftigen, derzeit noch nicht klar heraus. Durch die Messgröße CoPT können unterschiedlichste Kollektive hinsichtlich Alter, Geschlecht, körperlicher Aktivität und Anthropometrie und Pathologie verglichen werden und die Messwerte zur weiteren Intervention, Therapie, etc., vor allem im medizinischen Bereich, herangezogen werden (vgl. Chaudhry et al., 2011, S. 84). Die folgende Abbildung veranschaulicht drei CoPT-Kurven (COP Trajectories), welche im Rahmen der Studie von Chaudhry et al. (vgl. 2011, S. 85) aufgezeigt wurden:

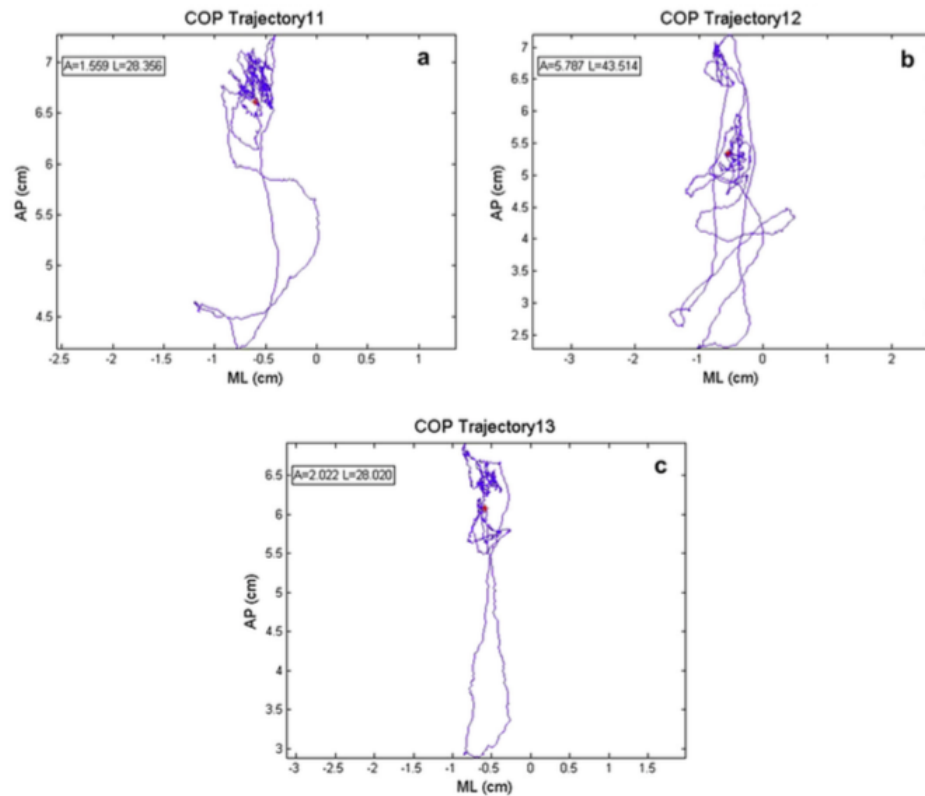


Abb. 13: COP Strecke einer Person, Messdauer 20 Sekunden ruhiger aufrechter Stand auf einer Kraftmessplatte (Chaudhry et al., 2011, S. 85).

Wie viele biologische Messgrößen hat CoPT eine intrinsische Variabilität, welche die Reliabilität sowie die Variabilität bei Messungen der posturalen Kontrolle beeinflusst (Lafond et al., 2004, S. 896). Genau diese Reliabilität bildet das Kernthema der vorliegenden Diplomarbeit.

In der vorliegenden Untersuchung wird CoPT in der Maßeinheit Zentimeter (cm) angegeben.

2.7 Range of Motion (RoM)

Neben dem CoPT (Center of Pressure Track), der Wegstrecke des CoP, war der Range of Motion (RoM) der zweite bedeutsame Parameter, welcher in der vorliegenden Diplomarbeit, behandelt wurde. Eine Definition des Messparameters Range of Motion, der Schwankungsfläche, welche von den äußeren Konturen des CoPT gebildet wird und jene Fläche beschreibt, die zum Ausgleich der Körperschwankungen während der Messdauer notwendig war, ist schwer aufzustellen, da sich nur wenige Schriften mit dem

von sensewave verwendeten Terminus RoM beschäftigen. Oft stimmt der RoM des sense wave medical® Geräts auch mit Parametern überein, deren Benennung in anderen Publikationen unterschiedlich ausfällt. Beispielsweise werden die Begriffe *Total Area of COP* oder *Sway Area* in der englischen Literatur verwendet (vgl. Lafond et al., 2004, 896). In weiteren veröffentlichten Arbeiten, werden ebenso Begrifflichkeiten wie *Area of COP Path* für diesen Parameter verwendet. Demnach wird der RoM stets als jener Teilbereich des COP gesehen, der den Schwankungsbereich, der der äußeren Umrisslinie des Messparameters CoPT entspricht, beschreibt (vgl. Timmann-Braun, 2012, 114). In der vorliegenden Diplomarbeit wird der Range of Motion in der Maßeinheit Quadratzentimeter (cm²) angegeben.

2.8 Reliabilität

Reliabilität ist, neben Objektivität und Validität, eine der drei Gütekriterien bei statistischen Testverfahren, welche erfüllt werden müssen (vgl. Rockmann, 2006, S. 125). Laut Rockmann (vgl. 2006, S. 138) wird ein Test oder eine Datenerhebung als reliabel, also wiederholbar, reproduzierbar und stabil beschrieben, „wenn eine erneute Erhebung am gleichen Subjekt bzw. Objekt unter den gleichen Bedingungen (situativ, individuell) und beim gleichen Verhalten zum gleichen Ergebnis führt.“ Ob das zu erfassende Merkmal für die zu beantwortende Fragestellung beziehungsweise Hypothese relevant, also valide, ist, kann aus der Reliabilität nicht herausgehen. Falls jedoch keine ausreichende Reliabilität vorliegt, so ist es schwierig, die Daten zu verwerten, da eine gewisse Beliebigkeit vorliegt und es folglich ohne hohe Reliabilität auch keine hohe Validität geben kann (vgl. Rockmann, 2006, S. 138).

Auch Bös et al. (vgl. 2000, S. 22) beschäftigen sich in ihrem Buch „Empirische Untersuchungen in der Sportwissenschaft“ mit der Reliabilität und schreiben, „unter der Reliabilität (Zuverlässigkeit) einer Messung versteht man den Grad der Genauigkeit von Messergebnissen in Abhängigkeit vom Messinstrument und vom gemessenen Merkmal.“ Beispielsweise kann ein Gummimaßband keine reliablen Messwerte liefern, wohingegen sich von einem Stahlmaßband reliable Messwerte ablesen lassen (vgl. Bös et al., 2000, S. 22). Bös et al. (vgl. 2000, S. 22) listen verschiedene Konzepte bzw. Testverfahren zur Ermittlung der Reliabilität auf:

- Messwiederholung (Test-Retest-Reliabilität).
- Messung paralleler Merkmale (Paralleltest-Reliabilität).

- Testhalbierung (Split-Half-Reliabilität).

Die Autoren des Buches „Foundations of Clinical Research - Application to Practice“, Leslie G. Portney und Mary P. Watkins befassen sich unter anderem ebenfalls mit dem Gütekriterium Reliabilität und schreiben dazu:

The usefulness of measurement in clinical research and decision making depends on the extent to which clinicians can rely on data as accurate and meaningful indicators of a behavior or attribute. The first prerequisite, at the heart of measurement, is reliability, or the extent to which a measurement is consistent and free fRoM error. Reli-ability can be conceptualized as reproducibility or dependability (vgl. Portney et al., 2015, S. 77).

Portney et al. (vgl. 2015, S. 77) vergleichen Reliabilität anhand klinischer PatientInnen und schreiben, dass wenn deren Verhalten reliabel (stabil) sei, auch einheitliche Reaktionen unter gleichbleibenden Umständen auftreten. Ein/e reliable/r UntersucherIn ist jemand der/die wiederholbare Untersuchungen mit gleichbleibenden Werten sicherstellt. Ein reliables Messinstrument ist dazu imstande, vorhersehbare Beständigkeit unter gleichen Umständen zu gewährleisten (vgl. Portney et al., 2015, S. 77). Wie bereits beschrieben, betonen auch Portney et al. (vgl. 2015, S. 77) die fundamentale Wichtigkeit der Reliabilität bei statistischen Messungen, da ohne diese weder zuverlässige Daten gewährleistet werden können, noch rationale Schlüsse von den Daten gezogen werden können.

Eine weitere Größe, welche mit der Reliabilität in enger Verbindung steht, ist die Validität. Da auf diese in der Studie nicht explizit eingegangen wird, wird hierzu nur eine kurze Definition und Erklärung gegeben. Böß et al. (vgl. 2000, S. 22) definieren diese wie folgt: „Unter Validität versteht man die Gültigkeit einer Messung im Hinblick auf das Messziel.“ Portney et al. (vgl. 2015, S. 77) schreiben „validity assures that a test is measuring what it is intended to measure. Validity is necessary for drawing inferences fRoM data, and determining how the results of a test can be used.“

2.8.1 Messfehler

Messungen sind von Natur aus selten perfekt reliabel. Alle Messinstrumente sind zu einem gewissen Grad fehlbar und alle Menschen reagieren unbeständig. Ein

Messbeispiel dazu wäre die Größe einer Person zu messen (vgl. Portney et al., 2015, S. 77). Die Größe der Person wird zu drei verschiedenen Zeitpunkten und von drei verschiedenen UntersucherInnen gemessen. Hierbei würde man Messunterschiede erwarten, obwohl die wahre Körpergröße der Person eigentlich gleich geblieben ist. Würde man nun annehmen, dass die Messprozedur nach einem genauen Protokoll bei jeder der Messungen gleich durchgeführt wurde, kann, die wahre Repräsentation der Körpergröße der Person durch die drei Messungen nicht herausgefunden werden und folglich ist unklar, wie viel Error in den Messungen inkludiert ist (vgl. Portney et al., 2015, S. 77).

Portney et al. (vgl. 2015, S. 77) fassen dieses Konstrukt in eine Formel zusammen. X repräsentiert den „*observer score*“ (Beobachterwert), welcher sich aus zwei Komponenten zusammensetzt: T „*true score*“ (wahrer Wert) und den E „*error component*“ (Error-komponente). Diese Zusammenhänge sind in der folgenden Gleichung ersichtlich (vgl. Portney et al., 2015, S. 78): $X = T \pm E$

Diese Gleichung besagt, dass es für jede gegebene Messung X , einen hypothetischen wahren oder fixen Wert T gibt, von welchem der Beobachterwert mit einer unbestimmten Höhe abweicht. Der wahre Wert ist der Wert, welchen die Person bekommen hätte, wäre die Messung mit perfekten Messinstrumenten sowie unter idealen Umständen durchgeführt worden (vgl. Portney et al., 2015, S. 78). Der Unterschied zwischen dem wahren Wert und dem beobachteten Wert ist der Messerror. Ein Beispiel dazu wäre der Messwert 180 cm Körpergröße, wobei die wahre Körpergröße der Person bei 180,5 cm liegt. Der Messfehler wäre folglich bei +0.5 cm. Bei einer weiteren Messung wird die Körpergröße der Person mit 179,5 cm gemessen und so wäre der Messfehler bei -0,5 cm. In der Realität ist es nicht möglich, diesen Messerror zu bestimmen, da der wahre Wert nicht bestimmbar ist. Aus diesem Grund ist es von Nöten, mit einer Art Einschätzung zu prognostizieren, wie groß der Anteil der Messung dem Error und wie viel der akkuraten Messung zugeschrieben werden kann. Diese Einschätzung ist die sogenannte Reliabilität (vgl. Portney et al., 2015, S. 78).

2.8.2 Systematischer Fehler und Zufallsfehler

Um Reliabilität zu verstehen, ist der Unterschied zwischen zwei verschiedenen Typen von Messfehlern von großer Bedeutung. Der sogenannte systematische Fehler ist ein vorhersehbarer Fehler bei der Messung. Diese Fehler sind beständig in eine Richtung und über- oder unterschreiten den wahren Wert (vgl. Portney et al., 2015, S. 78). Dieser

Error kann normalerweise leicht korrigiert und so die Messung kalibriert werden, indem ein konstanter Wert addiert oder subtrahiert wird. Portney et al. (vgl. 2015, S. 78) schreiben, „by definition, systematic errors are constant and, therefore, do not present a problem for reliability.”

Zufallsfehler hingegen verändern den Wert einer Person unvorhersehbar von Messversuch zu Messversuch (vgl. Portney et al., 2015, S. 78). Diese Veränderungen können den wahren Wert erhöhen oder vermindern und entstehen durch unabsehbare Faktoren wie Ermüdung, Unachtsamkeit, mechanische Ungenauigkeit oder einfache Fehlmessungen (vgl. Portney et al., 2015, S. 78).

Reliabilität fokussiert sich auf das Ausmaß des Zufallsfehlers innerhalb eines Messverfahrens. Je geringer der Zufallsfehler, desto mehr nähert sich der Beobachtungswert dem wahren Wert an und folglich wird die Messung mehr und mehr reliabel. Generell wird davon ausgegangen, dass der Zufallsfehler mit der Größe des wahren Werts nicht in Verbindung steht und daraus folgt, wenn genug Messungen durchgeführt werden, heben sich die Zufallsfehler schlussendlich auf und der Durchschnittswert ist ein relativ guter Schätzwert des wahren Wertes (vgl. Portney et al., 2015, S. 78).

2.8.3 Messfehlerquellen

Bei der Entwicklung oder Testung eines Messinstrumentes werden normalerweise spezifische und detailgenaue Protokolle benötigt, um die Reliabilität dessen zu maximieren. WissenschaftlerInnen müssen dazu wissentliche oder vorhersehbare Fehlerquellen adressieren, um diese zu limitieren beziehungsweise eliminieren, sodass eine größtmögliche Reliabilität gewährleistet ist (vgl. Portney et al., 2015, S. 79). Allgemein können die Messfehlerquellen in drei Kategorien unterteilt werden:

1. Die durchführende Person - der/die PrüferIn oder UntersucherIn („*tester or rater*“).
2. Das Messinstrument
3. Die Variabilität der zu messenden Größe(n)

Viele dieser Fehlerquellen können durch vorausschauendes Planen, Üben sowie klare operationale Definitionen und der Inspektion von Equipment minimiert werden (vgl. Portney et al., 2015, S. 79). Ein Messprotokoll sollte deshalb das Messverfahren genauestmöglich beschreiben, welches einheitlich bei allen Messversuchen ausgeführt werden muss. Die Isolation und Definition jedes Elements verringert das Fehlerpotential

und erhöht die Reliabilität zur selben Zeit (vgl. Portney et al., 2015, S. 79).

Jedoch können, auch wenn alle vorhersehbaren Fehlerquellen kontrolliert und so gut wie möglich limitiert werden, der/die WissenschaftlerIn immer wieder mit Unvorhersehbarkeit von Umgebungsumständen und -veränderungen sowie unterschiedlichen menschlichen Reaktionen konfrontiert werden. Viele Instrumente, speziell mechanische, erzeugen gewisse Hintergrundgeräusche und willkürliche Fluktuationen der Ausführung können auftreten. Antworten sowie Reaktionen des Testers bzw. der Testerin und der getesteten Person werden von Persönlichkeitsvariablen, wie zum Beispiel Motivation, Kooperation, Ermüdung und Umgebungsfaktoren, hierzu gehören Geräusche und Temperatur, beeinflusst (vgl. Portney et al., 2015, S. 79).

Laut Portney et al. (vgl. 2015, S. 79) ist die größte Challenge bei der Testung der Reliabilität, wenn die Größe, welche getestet wird, selbst instabil bzw. nicht reliabel ist. Ein Beispiel für eine instabile Größe wäre der Blutdruck. Es ist zu erwarten, dass Fluktuationen bei der Messung des Blutdruckes entstehen und so kann keine der Messergebnisse eine akkurate Repräsentation des wahren Wertes geben, da dieser unmöglich einzuschätzen ist (Fields, 2000, S. 12). Daraus schließend, ist es von hoher Bedeutung, die zu untersuchende Größe genau zu verstehen, um Fehlerquellen bei der Messung angemessen zu interpretieren (vgl. Portney et al., 2015, S. 79).

2.8.4 Arten der Reliabilität

Schätzungen der Reliabilität sind stark abhängig von der Art der zu analysierenden Reliabilität. In diesem Subkapitel werden zwei Arten der Reliabilität näher beschrieben (vgl. Portney et al., 2015, S. 79):

- Test-Wiederholungstest Reliabilität („*test-retest reliability*“).
- UntersucherIn Reliability („*rater reliability*“).

2.8.4.1 Test-retest reliability

Eine Grundvoraussetzung der Reliabilität ist die Stabilität des Messinstrumentes (vgl. Portney et al., 2015, S. 85; Fields, 2000, S. 12). Mit Stabilität ist gemeint, dass das Instrument die gleichen Ergebnisse bei wiederholter Ausführung des Tests liefert (vgl. Fields, 2000, S. 12). Bei dieser Art der Reliabilitätsmessung wiederholt eine Gruppe von Personen den identen Test zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten, während alle Umstände so gut wie möglich konstant bleiben (vgl. Portney et al., 2015, S. 85). Der

Koeffizient, welcher durch diese Art der Testung entsteht, ist ausschlaggebend für die Reliabilität in Situationen, in welchen der/die UntersucherIn nicht direkt involviert ist, zum Beispiel bei Selbsteinschätzungen mittels Fragebögen und physikalischen und physiologischen Messverfahren mit mechanischen oder digitalen Anzeigen. Falls der Test reliabel ist, sollte der Wert über mehrere Versuche hinweg sehr ähnlich bzw. gleich sein (vgl. Portney et al., 2015, S. 85). Um zu überprüfen, ob das Instrument reliabel ist, muss der/die WissenschaftlerIn annehmen, dass das Messinstrument stabil in Bezug auf seine zu messende Größe ist. Unglücklicherweise, verändern sich viele Größen im Laufe der Zeit, wie zum Beispiel der Schmerzlevel einer Person. Ist dies der Fall, ist die „*test-retest reliability*“ nahezu unmöglich zu erfassen (vgl. Portney et al., 2015, S. 85).

2.8.4.2 Rater Reliability

Zahlreiche Untersuchungen benötigen eine/n menschliche/n BeobachterIn oder eine untersuchende Person, welche Teil des Messverfahren-Systems ist. In manchen Fällen, ist der/die UntersucherIn selbst das eigentliche Messinstrument (vgl. Portney et al., 2015, S. 86). In anderen Situationen kann es sein, dass der/die UntersucherIn Leistungen von Personen beobachtet und folglich gewisse Konsequenzen aus diesen Beobachtungen zieht. Es kann auch sein, dass die Testperson Teil des Messinstruments ist oder gewisse Informationen von dem Messinstrument vor- und/oder ablesen und auch interpretieren muss (vgl. Portney et al., 2015, S. 86).

Dieser Aspekt der Reliabilität ist von größter Wichtigkeit, auch in Bezug auf die Validität jeder Forschung, in welcher Testpersonen involviert sind, sei es einer oder mehrere Personen. Reliabilität von Testpersonen ist demzufolge von großer Bedeutung und die einzelnen Schritte jedes Messverfahrens sollten stets im Protokoll zur Überprüfbarkeit niedergeschrieben werden. Um festzustellen, ob die Test-Rater Reliabilität die Fehlerquelle ist, muss die Reliabilität von der zu messenden Größe sowie des Messinstruments sichergestellt werden (vgl. Portney et al., 2015, S. 87). Portney et al. (vgl. 2015, S. 87). unterscheiden zwei Arten der Test-Rater Reliabilität:

1. „*Intrarater Reliabilität*“: Diese bezieht sich auf die Stabilität der Daten, gemessen von einer Person über mehrere Messversuche hinweg. „*Rater Bias*“ beschreibt den Einfluss von Erinnerung und Gedächtnis der Testperson, welcher sich auf weitere Testversuche auswirken kann.
2. „*Interrater Reliabilität*“: Betrifft die Variation von zwei oder mehreren Testpersonen, welche dieselben Personengruppen testen.

2.8.5 Generalizability Theory

Die „*Generalizability Theory*“ (Verallgemeinerbarkeitstheorie oder auch G Theory) besagt, dass jeder individuelle Wert als ein möglicher Wert der Gesamtheit von allen möglichen Werten angenommen werden kann, wenn unter den gleichen Testbedingungen gemessen wird. Diese Testbedingungen definieren die Gesamtheit und folglich, welche Messungen auf Reliabilität generalisiert werden können (vgl. Portney et al., 2015, S. 91). Da die meisten Forschungstätigkeiten kleine Proben bei Messverfahren anwenden, kann angenommen werden, dass der Beobachtungswert eine Repräsentation von der unendlichen Streuung von möglichen Werten ist. Ein einzelner Messwert bekommt so die beste Schätzung des wahren Wertes unter diesen Testbedingungen. Reliabilität ist, wie schon oben beschrieben, ein Maß der Einschätzung wie gut das Messverfahren ist (vgl. Portney et al., 2015, S. 91).

In der Verallgemeinerbarkeitstheorie werden die Testumstände nicht als unabhängige Faktoren angesehen. Der wahre Wert ist eine Funktion von zugrundeliegenden theoretischen Komponenten, welche nur unter spezifischen Umständen existieren. Schlussfolgernd bedeutet dies, dass nicht alle Variationen von Messversuchsreihen lediglich auf den Messfehler zurückgeschlossen werden sollen. Wenn relevante Testumstände, welche die Messung beeinflussen, identifiziert werden können, können auch die entstehenden Werte besser erklärt und verstanden werden (vgl. Portney et al., 2015, S. 91). Jeder Testumstand wird als sogenannte *Fazette* bezeichnet. Die Kombination aller Fazetten wird als Gesamtheit bezeichnet, in anderen Worten, die Reliabilität. Portney et al. (vgl. 2015, S. 92) verbildlichen die Verallgemeinerbarkeitstheorie in der folgenden Abbildung:

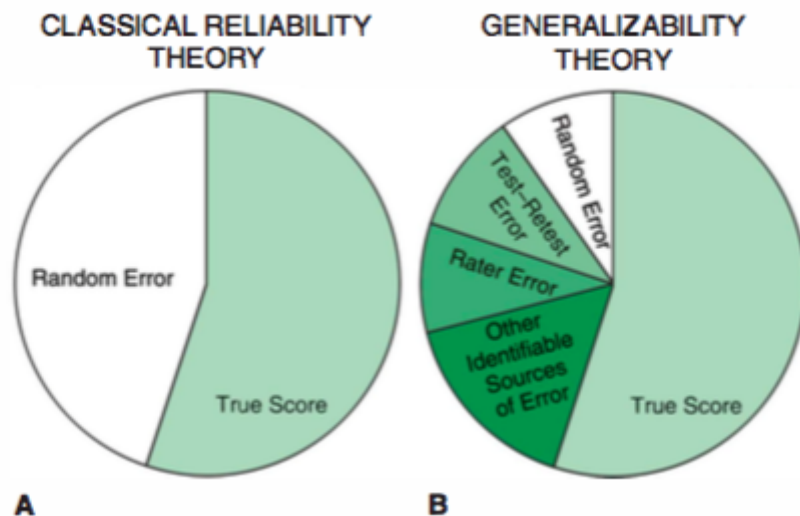


Abb. 14: Reliabilität vs. Verallgemeinerbarkeitstheorie (Portney et al., 2015, S. 91).

Die Illustration A veranschaulicht die klassische Reliabilitätstheorie, bei welcher sich der Wert aus dem wahren Wert und dem unerklärbaren Messfehler zusammensetzt. Die Illustration B hingegen beschreibt die Verallgemeinerbarkeitstheorie, welche zum unerklärbaren Messfehler zusätzlich einige Fehlerquellen klar definiert, wobei diese so bei der Interpretation der statistischen Werte helfen.

2.9 Intraclass Correlation Coefficient (ICC)

Wie bereits im vorigen Kapitel angesprochen, spielt der Messfehler in statistischen Messverfahren und deren Interpretation und Auswertung eine große Rolle. Aus diesem Grund ist es von größter Wichtigkeit, diesen sogenannten „*Reliability Index*“ zu bestimmen. Die geläufigste Form, diesen zu bestimmen, ist der „*Intraclass Correlation Coefficient*“ (ICC) (vgl. Shrout et al., 1979, 420).

Portney et al. (vgl. 2015, S. 523) beschreiben „*correlation coefficients*“ wie folgt, „they are used to quantitatively describe the strength and direction of a relationship between two variables.“ Der ICC wird definiert als „a reliability coefficient based on an analysis of variance; a generalizability coefficient“ (vgl. Portney et al., 2015, S. 870). Baldini et al. (2013, 1476) schreiben, „the ICC was estimated to ensure test-retest reliability between sessions; ICC may be defined as the percentage of variability in measurements explained

by the subject effect thus the larger the percentage the better the reliability.” Lin et al. (vgl. 2008, S. 340) bezeichnen den ICC als „the ratio of the variance between subject to the total variance.” Diesen angegebenen Definitionen ist gemein, dass der ICC das Verhältnis der Varianzen zwischen dem Subject und der absoluten Varianz aller Personen beschreibt.

Korrelationen sind limitiert in Bezug auf die Reliabilität, da sie bivariat sind. Dies bedeutet, dass lediglich zwei Wertungen bzw. Personen die untersucht werden, auf deren Beziehung zueinander überprüft werden können. Es ist also nicht möglich, simultan die Reliabilität mehrerer UntersucherInnen oder die Beziehung mehrerer verschiedener Aspekte der Reliabilität, wie zum Beispiel UntersucherInnen, Testform und Testereignis zu vergleichen. Da dies jedoch oftmals wichtige Elemente der Reliabilitätsbildung darstellt, ist es eine eingeschränkte und nicht wirklich effiziente Form der Reliabilitätsmessung (vgl. Portney et al., 2015, S. 588).

Um diese und einige weitere Limitationen des Korrelationskoeffizienten zu überwinden, wurde von einigen WissenschaftlerInnen mehr als nur ein Reliabilitätsindex bei einer einzelnen Studie verwendet. Zum Beispiel wurden in einer Test-Retest Situation oder einer Rater Reliabilitätsstudie beide Korrelationen und ein t-test durchgeführt, um die Einheitlichkeit sowie die allgemeine Übereinstimmung zwischen Daten-Sets zu bestimmen (vgl. Portney et al., 2015, S. 588).

Der Intraclass Correlation Coefficient (ICC) ist ein Index, welcher die Resultate der im obigen Paragraph beschriebenen Verfahren vereinigt und sie dadurch interpretieren lässt. Der ICC bewegt sich von 0,00 bis 1,00. Ein negativer Wert, sprich beispielsweise -0,5, entspricht einem ICC-Wert von 0. Er wird durch die Varianzschätzung berechnet und reflektiert dadurch das Ausmaß der Korrespondenz und die Übereinstimmung über mehrere Bewertungen hinweg (vgl. Portney et al., 2015, S. 589).

Laut Portney et al. (vgl. 2015, S. 588) hat der ICC mehrere Vorteile:

- Der ICC kann dafür verwendet werden, zwei oder mehrere Bewertungen bzw. Werte zu messen/vergleichen.
- Der ICC benötigt nicht dieselbe Anzahl an UntersucherInnen für jede zu testende Person.
- Der ICC kann für Datensätze der Ordinalskala verwendet werden.

Shrout und Fleiss (vgl. 1979) beschreiben drei Modelle des ICC, wo sie die verschiedenen Modelle anhand der UntersucherInnen und ProbandInnen klassifizieren:

1. Modell 1: Jede Person wird von einem/einer anderen UntersucherIn getestet. Die UntersucherInnen werden von einer großen Grundgesamtheit zufällig ausgewählt (vgl. Shrout & Fleiss, 1979, S. 421).
2. Modell 2: Geläufigste Art, die *inter-rater reliability* zu testen. Jede Person wird von derselben Gruppe von UntersucherInnen getestet. Diese Testerguppen können miteinander verglichen werden und so bei der Interpretation der statistischen Auswertung miteinfließen. Testpersonen sowie UntersucherInnen werden zufällig ausgewählt (vgl. Shrout & Fleiss, 1979, S. 421).
3. Modell 3: Im dritten und letzten Modell beschreiben Shrout und Fleiss (vgl. 1979, S. 421), dass die Personen bei einer Gruppe von bewusst gewählten UntersucherInnen getestet werden. Zu testende Personen werden jedoch zufällig ausgewählt und zugeteilt.

Hinsichtlich der Reliabilität-Klassifikation durch den ICC wird diese auch von Shrout und Fleiss in ihrer Publikation „Intraclass Correlations: Uses in Assessing Rater Reliability“ (vgl. 1979) eingeteilt.

- >0,75 good to excellent reliability
- 0,40 - 0,75 fair to good reliability
- < 0,40 low reliability

Bei der in der Arbeit durchgeführten und beschriebenen Studie wird ein Signifikanzlevel von $p = 0,05$ angenommen.

2.10 Coefficient of Variance (CV)

Der Coefficient of Variance (CV) oder deutsch Variationskoeffizient ist ein weiteres Maß der Reliabilität und Variabilität, welches für die Beschreibung von Messdaten einer Intervall- oder Verhältnisskala verwendet werden kann (vgl. Portney et al., 2015, S. 398). Er relativiert die Standardabweichung am Mittelwert (vgl. Bortz, 2005, S. 44):

Die Formel zur Berechnung des CVs ist folgende: $CV = \left(\frac{s}{\bar{x}}\right) * 100$ (vgl. Portney et al., 2015, S. 398).

Die Standardabweichung in Mittelwert-Einheiten wird durch den CV ausgedrückt und ist aus diesem Grund maßstabsunabhängig (vgl. Bortz, 2005, S. 44). Laut Bortz (vgl. 2005, S. 44) wird dieses Maß eingesetzt, „wenn Streuungen von Verteilungen mit

unterschiedlichen Mittelwerten zu vergleichen sind und Mittelwert und Streuung voneinander abhängen.“ Auch Doyle et al. (vgl. 2005, S. 2035) definieren den CV und schreiben, „the CV indicates random measurement error and is a critical descriptor for any test as to the background noise and thus what magnitude of difference can be detected.“

Der CV hat zwei große Vorteile gegenüber anderen Messgrößen. Erstens ist er unabhängig von Maßeinheiten, da sich diese mathematisch aufheben. Angegeben wird der CV daher auch als relative Zahl (in %). Schlussfolgernd ist dies eine praktische, statistische Messgröße um Verteilungen und Werte, welche in verschiedenen Maßeinheiten gemessen, miteinander zu vergleichen (vgl. Portney et al., 2015, S. 398). Zweitens beschreibt der CV die Standardabweichung als Verhältnis zum Mittelwert und berechnet Unterschiede der Größenordnung des Mittelwertes mit ein. Der Varianzkoeffizient ist genau aus diesem Grund ein Maß der relativen Variation. Er ist am aussagekräftigsten, wenn zwei Verteilungen miteinander verglichen werden sollen (vgl. Portney et al., 2015, S. 398). Ein CV unter 10 % weist auf reliable Werte bei einem Test mit Messwiederholung hin (vgl. Atkinson & Nevill, S. 1998).

2.11 Aktueller Forschungsstand

Im folgenden Kapitel wird der aktuelle Forschungsstand in Bezug auf das Thema dieser wissenschaftlichen Arbeit behandelt. Der Großteil veröffentlichter Studien zur posturalen Kontrolle wird im Zusammenhang mit den antropometrischen Faktoren behandelt. Diese sind aufgrund des medizinischen Einsatzes von großer Bedeutung, werden jedoch in der vorliegenden Arbeit nicht behandelt. Im Hauptteil dieses Kapitels werden Studien beschrieben, welche den aktuellen Forschungsstand hinsichtlich Posturographie und Reliabilität aufzeigen. Darüber hinaus werden Studien zum CV-Wert als auch Studien in Bezug auf die Messvariable RoM adressiert.

Zum besseren Verständnis der Begrifflichkeiten:

- Eine Messung ist nach unserer Auffassung einem Test bzw. Messdurchgang gleichzusetzen, während eine Messreihe oder Testung als Gesamtheit aller acht Messungen zu sehen ist.
- Eine Ersttestung wird als erste Messung der ersten Messreihe gesehen. Dabei bezieht man sich immer auf die zugehörige Kondition. Beispielsweise die erste Messung von CoPT 1 wird kontinuierlich im Zusammenhang mit

allen anderen CoPT 1-Daten gesetzt, der CoPT 2-Wert immer mit allen CoPT 2-Date usw.

- Die Benennungen „stabile Oberfläche“ hat dieselbe Bedeutung wie „Keine/ohne Schaumstoffmatte“.

2.11.1 Posturographie und Reliabilität

Da sich die durchgeführte Studie auf die Reliabilität des sense wave medical® spezialisiert, werden in dem folgenden Subkapitel Studien beschrieben, welche sich mit der Reliabilität bei posturographischen Messverfahren auseinandersetzen. Bei diesen Studien wird zwischen den Intra- und Intersession Reliabilitäts-Studien unterschieden. Corriveau et al. (vgl. 2000, S. 45) definieren die Intrasession Reliabilität wie folgt:

The immediate retest reliability, which is related to the random variability of the measurement per se: when the measurement is repeated immediately, there are variations in the results related to the lack of precision of the instrument or the variability and the phenomena measured (Corriveau et al., 2000, S. 45).

Bei der Intersession Reliabilität werden Messungen verglichen, welche nicht sofort nacheinander stattfinden bzw. nicht am selben Tag getestet werden (vgl. Barbado et al., 2017, S. 222).

2.11.1.1 Intrasession Reliabilität

Die sogenannte Intrasession Reliabilität wurde bereits von mehreren WissenschaftlerInnen (vgl. Corriveau et al., 2000; Lafond et al., 2004; Lin et al., 2008; Doyle et al., 2005) untersucht, analysiert und interpretiert. Die Studie „Reliability of Traditional and Fractal Dimension Measures of Quiet Stance Center of Pressure in Young, Healthy People“ von Doyle et al. (vgl. 2005) befassen sich mit der Reliabilität einer posturographischen Messung innerhalb eines Tages, wobei die Messgröße CoP die zu messende Variable ist. Zur statistischen Auswertung wurde der ICC sowie der CV verwendet. Die Reliabilität wurde bei dieser Studie auf zwei verschiedenen Oberflächen sowie unter zwei verschiedenen Bedingungen, nämlich Augen offen und

Augen geschlossen, getestet (vgl. Doyle et al., 2005, S. 2035). Die Bedingung Augen geschlossen wurde durchgeführt, um zu überprüfen, welchen Einfluss das visuelle System auf das gesamte posturale System hat, um so das somatosensorische System zu testen, welches die verschiedenen Feedback-Informationen der unterschiedlichen Subsysteme integriert und folglich dem Gehirn Informationen über die Körperposition weiterleitet. Insgesamt werden durch die Variation von Oberfläche und Zugriff auf das visuelle System vier verschiedene Testbedingungen unterschieden (vgl. Doyle et al., 2005, S. 2035). An der Studie nahmen 30 gesunde, junge Erwachsene teil. Nachdem die Fußposition der Personen standardisiert wurde, wurden die Personen in allen vier Bedingungen (Augen offen bzw. Augen geschlossen, auf fester Oberfläche, sowie das selbige auf Schaumstoffoberfläche) für eine jeweilige Dauer von zehn Sekunden getestet. Insgesamt wurde dieser Test drei Mal am selben Tag durchgeführt (vgl. Doyle et al., 2005, S. 2035). Fünf verschiedene Variablen in Bezug auf COP wurden von Doyle et al. (2005) analysiert. „*Range of Sway*“ (bzw. Bewegungsstrecke in cm) in der *anterior-posterior direction* (AP) stellte die reliabelste Variable mit einem ICC von 0,72 in allen vier Bedingungen dar. „*Peak sway velocity*“ (Höchst-Schwingungsgeschwindigkeit) war die Variable mit der geringsten Reliabilität in allen vier Konditionen (ICC 0,05-0,29). Nur eine der Variablen hatte exzellente Reliabilität, die „*Total Excursion Area*“ (Bewegungsfläche in cm²) in AP-Richtung bei geschlossenen Augen und stabiler Bodenfläche mit einem ICC von 0,95. Der ICC bei offenen Augen und stabiler Oberfläche ist 0,49 (vgl. Doyle et al., 2005, S. 2035) und bei den Versuchen mit Schaumstoffoberfläche entstanden ICC-Werte von -0,1 und 0,14 (vgl. Doyle et al., 2005, S. 2038). Der CV reichte von 12,7 % (Augen geschlossene, feste Oberfläche, Total Excursion Area) bis hin zu 40,5 % bei offenen Augen und einer Schaumstoffoberfläche (vgl. Doyle et al., 2005, S. 2036).

Die Studie „Reliability of COP-based postural sway measures and age-related differences“ von Lin et al. (vgl. 2008) beschäftigt sich mit der Reliabilitätsprüfung innerhalb eines Tages sowie zwischen mehreren Tagen. Das eigentliche Ziel dieser Studie ist es, zukünftige Studien bei der Auswahl der COP Messdaten zu unterstützen. Bei der Studie nahmen 32 gesunde Personen, 16 junge und 16 ältere, teil, wodurch sich zwei Altersgruppen herauskristallisierten. Jede der Testpersonen absolvierte vier Messdurchgänge, an vier verschiedenen Tagen im selben Labor mit einem Zeitabstand von mindestens zwei Tagen (vgl. Lin et al., 2008, S. 338). Während der Testungen standen die Personen barfuß, mit engen Fußabstand, geschlossenen Augen und herunterhängenden Armen auf einer Messplattform. Die Reliabilität wurde

mit der Hilfe des ICC gemessen. „*Mean Velocity*“ (AP und ML) war die zuverlässigste Messvariable und hatte exzellente ICC-Werte (Intra jüngere Personen ML: 0,91; AP: 0,86; Intra ältere Personen ML: 0,95; AP: 0,95; Inter jüngere Personen ML: 0,79; AP: 0,77; Inter ältere Personen ML: 0,91; AP: 0,92). „*Root Mean Square*“ (RMS), in anderen Worten der Effektivwert, und Bewegungsfläche zeigen gute bis exzellente ICC-Werte (Bewegungsfläche: Intra jüngere Personen: 0,79; Intra ältere Personen: 0,92; Inter jüngere Personen: 0,72; Inter ältere Personen: 0,90). Generell war die Intrareliabilität höher als die Interreliabilität. Fast alle ICC-Werte waren höher nur die „*Median Power Frequency*“ (AP bei älteren Testpersonen) war bei der Inter- und Intrareliabilität gleich (vgl. Lin et al., 2008, S. 339). Lin et al. (vgl. 2008, S. 341) schreiben, dass die schlechtere Interreliabilität durch die Veränderung der posturalen Kontrolle über mehrere Tage hinweg möglicherweise zu erklären sei, da ein multivariater Tageseffekt aufgedeckt wurde. Als ein weiteres Ziel dieser Studie der Vergleich der Reliabilität zwischen Altersgruppen wurde festgestellt, dass die ICC-Werte für ältere Personen im Vergleich höher zu jüngeren sind. Laut Lin et al. (vgl. 2008, S. 341) ist eine mögliche Erklärung dafür, dass altersbedingte Einschränkungen, wie zum Beispiel verschlechtertes Sehvermögen, reduzierte Muskelkraft, etc. die posturale Stabilität bei älteren Personen verschlechtern und so zu einer höheren Zwischen-Subjekt Varianz führen (vgl. Lin et al., 2008, S. 341).

Die Wissenschaftler Danik Lafond und Helene Corriveau publizierten gemeinsam Artikel (vgl. Lafond et al., 2004; Corriveau et al., 2000) zum Thema Intrareliabilität. Der Bericht von Lafond et al. (2000) behandelt die Intrareliabilität der Messvariable COP bei gesunden, älteren Personen. Das Ziel der Studie ist es herauszufinden, wie viele Testreihen durchgeführt werden müssen, um reliable Ergebnisse zu erhalten. Weiters soll der „*Minimal Metrically Detectable Change*“ (MMDC), also die *minimal metrische erkennbare Veränderung* gemessen werden (vgl. Lafond et al., 2000, S. 897). Bei der Studie nahmen sieben gesunde ältere Personen teil, welche insgesamt neun Messreihen zu je 120 Sekunden bei offenen Augen absolvierten. Die Pause zwischen den Messreihen betrug ca. fünf Minuten. Die Fußposition wurde von Beginn an standardisiert, um diesen Störfaktor zu eliminieren. Ein weiterer Reliabilitätsstörfaktor, welcher von den Versuchsleitern beachtet und aufgegriffen wurde, war die Temperatur der Messplatte, die aus diesem Grund auf immer konstante Temperatur stabilisiert wurde (vgl. Lafond et al., 2000, S. 897). Die Messvariable COP wurde auf mehrere Variablen in AP- und ML-Richtung analysiert: „RMS, COP Range, COP Mean Velocity, Sway Area etc.“ Das hier verwendete Maß zur Testung der Reliabilität stellt der ICC

dar. Allgemein wurde bei dieser Studie herausgefunden, dass sich die Reliabilität bei der Verlängerung der Testungsdauer signifikant erhöht hat (vgl. Lafond et al., 2000, S. 898). Alle Variablen haben sich bei den Messreihen von 30 Sekunden, 60 Sekunden bis hin zu 120 Sekunden sichtlich verbessert. Zum Beispiel die „Sway Area“ bzw. Bewegungsfläche (ICC 0,22; 0,47; 0,41) sowie auch die „COP Range“ bzw. Bewegungsstrecke (ICC ML/AP: 0,29/0,44; 0,38/0,57; 0,52/0,62), etc. Der ICC der Variable der Bewegungsstrecke wird in der folgenden Abbildung veranschaulicht

Hier ist ersichtlich, dass die Reliabilität bei ansteigender Testdauer zunimmt. Die Graphen zu anderen Variablen, welche in der Studie zu finden sind, sehen ähnlich aus. Diese Studie veranschaulicht klar, dass sich die Reliabilität bezogen auf den Messparatmert COP in bei einer längeren Testdauer erhöht (vgl. Lafond et al., 2000, S. 900). Die Dauer von 120 Sekunden sollte jedoch nicht überschritten werden, da sonst der Störfaktor Ermüdung, besonders bei älteren Personen, präsent wird (vgl. Lafond et al., 2000, S. 900).

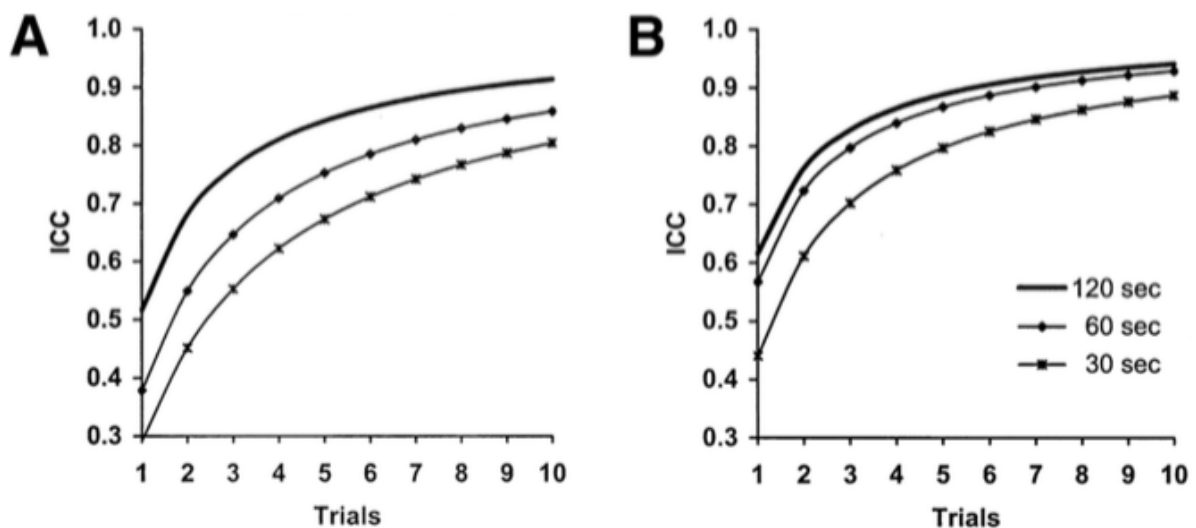


Abb. 15: ICC-Werte der COP Range in (A). AP und (B). ML- Richtung (Lafond et al., 2000, S. 899).

Eine weitere Studie, welche sich mit der Dauer der Testmessungen bei Intrareliabilität beschäftigt, wurde von Helene Corriveau et al. (2000) publiziert. Die Studie bewertet die Intrareliabilität einer einzelnen Messung, wobei sie sich auf die Messvariable COP im Zusammenhang mit COM (COP-COM) bezieht. Darüber hinaus wird in dieser Studie, so wie bei Lafond et al. (2000), die optimale Testungsdauer zu bestimmen versucht. Der dritte und letzte Forschungsaspekt, welchen diese Studie behandelt, ist die MMDC von COP-COM. Die StudienteilnehmerInnen waren 63 bis 79 Jahre alt und selbstständig lebend. Die sieben älteren Testpersonen wurden auf einer zweiteiligen Messplatte neun Mal hintereinander jeweils 120 Sekunden mit einer Pause von ca. fünf Minuten getestet. Nachdem die Fußposition standardisiert wurde, wurden die Testungen ausschließlich mit offenen Augen durchgeführt (vgl. Corriveau et al., 2000, S. 46). Für die statistische Auswertung der Werte wurde, wie bei den meisten Studien, der ICC herangezogen, welcher mitunter die Variabilität innerhalb der Testpersonen und zwischen den Testpersonen vergleicht. Die ICC-Werte für die Variable COP-COM reichten von 0,58 bis 0,99 in der AP-Richtung und von 0,44 bis 0,92 in der ML-Richtung. Die Ergebnisse zeigen, dass nach der vierten Testung die Reliabilität auf 0,94 (AP) beziehungsweise 0,90 (ML) ansteigt. Diese wird als exzellent bewertet und so reicht eine Testreihe von vier Messungen aus (vgl. Corriveau et al., 2000, S. 47). Nach vier Messungen erreicht die Kurve des ICC-Test-Graphen ein Plateau und verbleibt auf ca. derselben Höhe. Die Reliabilität von COP-COM (ICC AP: 0,79; ML: 0,69) verweist auf eine moderate Intrareliabilität. Für den MMDC kamen Corriveau et al. (vgl. 2000, S. 47) zum Resultat, dass dieser in der AP-Richtung bei $\pm 0,19$ und ± 28 in der ML-Richtung liegt. Am Ende der Studie werden noch mögliche Fehlerquellen aufgelistet. Zum einen sind dies die nicht vollständig vorhandene Präzession des Messgerätes sowie die Variabilität des zu messenden Phänomens, zum anderen die mangelnde Reliabilität der zu testenden Messvariablen.

2.11.1.2. Intersession Reliabilität

Rugelj et al. (2015) führten die Studie „Reliability of modified sensory test as measured with force platform“ zur posturalen Kontrolle durch und spezialisierte sich besonders auf die Reliabilität von Messdatenerhebungen. Einschlusskriterien für die Teilnahme an der Untersuchung waren, das weibliches Geschlecht und ein guter gesundheitlicher Zustand ohne vorliegende Verletzungen, die das Gleichgewicht beeinflussen könnten (vgl. Rugelj et al., 2015, S. 526). Bei der Abnahme der Tests wurden zwölf unterschiedliche

Parameter unter unterschiedlichen Messbedingungen erfasst. Eine Testung umfasste vier differente Messdurchgänge. Zu den beigeordneten Messkriterien zählten der Versuch im aufrechten Stand mit oder ohne einer Schaumstoffplatte, jeweils mit geöffneten und geschlossenen Augen (vgl. Rugelj et al., 2015, S. 527). Jede Messung dauerte 60 Sekunden an, wobei die Probandinnen barfuß im aufrechtem Stand und geschlossenen Füßen auf die Kraftmessplatte standen, die Arme hingen dabei locker neben dem Körper der Blick geradeaus auf einen gekennzeichneten Punkt gerichtet. Die Testteilnehmer wurden angewiesen während der Testphase in dieser Position so ruhig wie möglich, zu verharren. Bei unvorhersehbaren Störfaktoren wurde der Messdurchgang sofort abgebrochen, verworfen und wiederholt. Nach jeder Messung war eine Pause von 60 Sekunden vorgeschrieben, in welcher sich die Testpersonen ausruhen sollten und auch hinsetzen durften. Die Probandinnen wurden gesamt zwei Mal getestet, wobei eine Wochen Pause bis zur nächsten Analyse erforderlich war (vgl. Rugelj et al., 2015, S. 527). Teilgenommen hatten 26 jüngere und 15 ältere Frauen (vgl. Rugelj, et al., 2015, S. 525).

Bei der Auswertung wurden die Ergebnisse von jüngeren und älteren Testteilnehmern verglichen. Dabei schwankte der ICC-Wert unter Berücksichtigung einzelner Messbedingungen in den meisten Fällen bei den jungen Frauen höher (vgl. Rugelj et al., 2015, S. 532). Dennoch konnte überwiegend eine gute bis exzellente Test-Reliabilität bei den Ergebnissen ermittelt werden, die natürlich wiederum von den Bedingungen abhängig war. In beiden Testgruppen konnte eine exzellente Reliabilität bestimmt werden, wobei diese bei anspruchsvolleren Bedingungen größer war. Ältere Damen konnten unter allen Messvoraussetzungen bis auf eine Ausnahme mit offenen Augen höhere ICC-Werte erreichen, was auf eine bessere Gleichmäßigkeit der Daten hinweist. Während unterschiedlichen Messungen mit geschlossenen Augen konnte annähernd dieselbe Testreliabilität beider Gruppen angeführt werden. Dennoch konnten Differenzen bezüglich der dominierenden Parameter der Testgruppen verzeichnet werden. So konnte der höchste ICC bei jungen Frauen mit offenen Augen auf einer Schaumstoffplatte beim Schankungsparameter erreicht werden ($ICC=0,77$), während ältere Damen einen besseren ICC-Wert bei der medio-lateralen Weglänge erzielt haben ($ICC=0,91$). Auf demselben Untergrund mit geschlossenen Augen konnten junge Teilnehmerinnen gute Werte bei der vorderen/hinteren Weglänge und dem Schwankungsbereich erlangen ($ICC=0,85$). Ältere Frauen hingegen wieder bei der medio-lateralen Weglänge größten ICC-Wert zustande brachten ($ICC=0,93$). In den Messungen ohne speziellen Untergrund zeigten die besten Ergebnisse bei der medio-lateralen Variabilität ($ICC=0,83$) bei jungen

Frauen, und totale Weglänge und mittleren Geschwindigkeit ($ICC=0,92$) bei älteren Frauen. Die Resultate ohne visuellen Einfluss ergaben ein und dieselben Werte für die mittlere Geschwindigkeit bei jungen und älteren Frauen ($ICC=0,90$) (vgl. Rugelj et al., 2015, S. 525).

Die Publikation „Test-retest reliability of postural stability on two different foam pads“ von Lin et al. (2015) beschäftigt sich mit der Testreliabilität von Posturographie unter Verwendung zweier Schaumstoffmatten. In der Medizin wird Schaumstoff auch als Gleichgewichtslehrwerkzeug verwendet, um Leistung der posturalen Kontrolle zu verbessern. Zehn freiwillige junge Personen nahmen an der Testung teil und führen die Studie auf inhomogenen Untergründen durch (vgl. Lin et al., 2015, S. 2). Zweimalig wurden Untersuchungen gemacht, wobei die zweite Messung entsprechend 24 Stunden bis 36 Stunden nach der ersten Messung erfolgen musste. Jede Messreihe bestand aus sechs Bestimmungen, welche jeweils mit offenen und geschlossenen Augen bewältigt wurden. Die ersten zwei der sechs Versuche wurden rein statisch ohne Schaumstoffauflage absolviert. Anschließend wurden vier weitere Messungen auf zwei divergenten Matten erfasst. Die Probanden und Probandinnen mussten sich zwischen der Erhebung aufrecht mit bloßen und geschlossenen Füßen auf die Messplatte bzw. Schaumstoffmatte stellen und ihre Arme vor der Brust verschränken. Während den 90 Testsekunden sollten die Teilnehmer und Teilnehmerinnen versuchen Schwankungen zu vermeiden und so stabil wie möglich stehen zu bleiben. Nach jedem abgeschlossenen Durchgang war eine Pause von 60 Sekunden gewährleistet. Wurde eine einzelne Messung aus banalen Gründen abgebrochen, so musste diese erneut wiederholt werden. Nach dem dritten Fehlversuch wurde dieser als Fehlgeschlagen notiert, damit beendet und es wurde zur nächsten Messbedingung übergegangen (vgl. Lin et al., 2015, S. 3). Laut den Ergebnissen konnten keine signifikanten Ungleichheiten durch andersartige Schaumstoffpads geschlussfolgert werden. Lediglich hinsichtlich ihrer Konsistenz kann zwischen den Schaummatten differenziert werden (vgl. Lin et al., 2015, S. 5). Bei der Verwendung beider Grundlagen eine akzeptable bis gute Reliabilität bewiesen (vgl. Lin et al., 2015, S. 2). Dabei können folgende Ergebnisse miteinander verglichen werden. Bei der Messdatenerhebung auf einem günstigen Untergrund konnten für beide Voraussetzungen (offene /geschlossene Augen). ICC-Werte zwischen 0,61-0,64 erzielt werden. Auf der Airex Matte schwankten die Beträge zwar mehr, dennoch konnte eine annehmbare bis exzellente Reliabilität der Weglänge berechnet werden ($ICC=0,41-0,81$). Hingegen beim Neurocom Schaumstoff lag der ICC zwischen 0,29 -0,45, was nach unsrigen Reliabilitätsrichtlinien nach Shrout und Fleiss (1979) auf keine Reliabilität

hindeutet (vgl. Lin et al., 2015, S. 1).

Die nächste Studie „Test-Retest Reliability of Tetrax Static Posturography System In Young Adults With Low Physical Activity Level“ von Akkaya et al. (2015) wurde anhand von acht Messkriterien behandelt. Diese wurden mit dem Tetrax Gerät aufgenommen und anschließend ausgewertet. Alle Messreihen wurden sowohl mit offenen und geschlossenen Augen durchgeführt, als auch mit und ohne Schaumstoffpads. Die Unterscheidung bei den einzelnen Messdurchgängen waren jeweils die visuellen Bestimmungen und die Lage des Kopfes. Dieser wurde je nach Vorgabe entweder gerade nach vorne gerichtet, nach rechts oder links gedreht oder zum Boden gerichtet. Anhand den unterschiedlichen Auswirkungen durch die Kopfposition, wollte man auf das Fallrisiko schließen. Bei der Datenerhebung wurde je das Sturzrisiko und der Stabilitätsindex einer Person gemessen. Die Testpersonen wurden insgesamt drei Mal getestet, indem jeweils 24h und 48h nach der erstmaligen Testung wiederholt erhoben wurde (vgl. Akkaya et al., 2015, S. 895). An der Studie nahmen 65 Teilnehmer und Teilnehmerinnen (über 18 Jahren) teil mit minimaler körperlichen Tätigkeit definiert nach IPAQ. Ziel war es festzustellen, ob ein Zusammenhang zwischen den posturographischen Bilanzen und der niedrigen aktiven Betätigung besteht. Faktoren wie beispielsweise der Einbeinstand, Gewicht, körperliche Ausdauer und viele weitere Einflüsse wurden in Bezug mit den Ergebnissen gestellt (vgl. Akkaya et al., 2015, S. 893). Speziell wurde auf Schwankungen aufgrund der Position des Kopfes geachtet. Dabei konnte festgestellt werden, dass bei den meisten Personen die Kopfposition zur rechten Seite dominierend ist und dadurch weniger Körperschwankungen in dieser Lage auftreten. Die Resultate für die erste und zweite Testung bezüglich des Fallrisikos ($ICC=0,858$) und der Stabilitätsindex ($ICC= 0,850$) konnten als exzellent eingestuft werden (vgl. Akkaya, 2015, 896). Vergleicht man die Werte anhand der Kopfposition, wird mit geschlossenen Augen und dem Kopf zur rechten Seite gedreht, ein ICC von 0,832 erreicht, wogegen auf der linken Seite bloß ($ICC= 0,679$) erzielt werden konnte. Die beachtlichsten Werte der Intraclass correlation coefficient (ICC) konnten unter den Bedingungen der Halsbeugung nach unten, geschlossene Augen auf hartem Untergrund entnommen werden ($ICC=0,864$) und der beste Stabilitätsindex dem gerade gerichteten Kopf mit offenen Augen und hartem Untergrund in beiden Testungen (vgl. Akkaya, 2015, S. 897). Der Studie nach, kann das Tetrax-Messgerät eine hohe Verlässlichkeit gewähren (vgl. Akkaya, 2015, S. 899).

Eine weitere Studie zur Testung von Daten innerhalb von mehreren Wochen wurde von Baldini et al. (2013) mit dem Titel “Intersession reliability of a posturo-stabilometric test,

using a force platform“ veröffentlicht. Bei dieser Studie wurden gesamt 44 Probanden und Probandinnen untersucht (vgl. Baldini et al., 2013, S. 1474). Diese wurden vorab nicht über das Ziel der Forschung informiert und mussten vorgegebenen Kriterien entsprechen, um für die Kontrollgruppe ausgewählt zu werden. Jede Messung dauerte 51,2 Sekunden unter vorgegebenen Messbedingungen (offene/geschlossene Augen). auf verschiedenen Plattformen. Von folgenden Faktoren wurden Daten durch die einzelnen Messungen ermittelt: „mandibular rest position, mandibular position of centric occlusion and mandibular position with cotton rolls“ (Baldini et al., 2013, S. 1475). Alle Daten gemeinsam, ergaben eine Messreihe, welche zweimalig erhoben wurde. Um korrekte Ergebnisse zu erhalten wurden die Testpersonen gebeten, 24h vor der Testung keinen Alkohol zu konsumieren oder Sport zu betreiben. Während der Analyse sollten die Probanden und Probandinnen eine entspannte und stabile Haltung einnehmen, wobei die Arme locker neben dem Körper liegen. Jede Testperson unterlag einer zweimaligen Testung, mit einem zweiwöchigen Abstand nach dem ersten Messdurchgang. Dabei wurde genauestens darauf geachtet, dass dieselben Voraussetzungen bestanden, um die Zuverlässigkeit der Tests zu garantieren. Zudem wurde darauf geachtet, dass alle Messungen von ein und demselben Prüfer abgetan wurden (vgl. Baldini et al., 2013, S. 1475). Zur Kontrolle der Daten hinsichtlich ihrer Reliabilität wurde der ICC verwendet (vgl. Baldini et al., 2013, S. 1476). Demnach konnte eine hohe Reliabilität zwischen den Interday-Daten erforscht werden. Die Resultate der Arbeit ergaben, dass die Reliabilität zunimmt, wenn der visuelle Einfluss wegfällt und eine Messung mit geschlossenen Augen erfolgt, ausgenommen der Testung mit Baumwollrolle (vgl. Baldini et al., S. 2013, 1477). Außerdem konnte herausgefunden werden, dass alle ICC-Werte eine gute Verlässlichkeit aufweisen, bis auf die des Schwankungsbereichs, bei welchem die Resultate folgend sind (ICC 0.44, offene Augen; ICC= 0.55, geschlossene Augen) (vgl. Baldini et al., 2013, S. 1474). Um diese auch im medizinischen Bereich einsetzbar zu machen, wäre es sinnvoll diese genauer zu testen (vgl. Baldini et al., 2013, S. 1478).

Die Studie „Reliability and Repetition Effect of the Center of Pressure and Kinematics Parameters That Characterize Trunk Postural Control During Unstable Sitting Test“ von Barbado et al. (2017) beschäftigt sich mit der posturalen Kontrolle während des Sitzens auf einem instabilen Sessel. Vergleichbare Studien zur Posturographie werden überwiegend im Stand erprobt. Durch die Messungen im aufrechten Stand, kann auf Defizite der Ganzkörperstabilität geschlossen werden. Allerdings beeinflussen die unteren Extremitäten die posturale Stabilität im Stehen, die laut Barbado et al. (2017) durch das Testen im Sitzen wegfällt. Ziel der Studie war es die Reliabilität und den Lerneffekt von

CoPT und den kinematischen Parametern zu messen. Unter anderem wurden die CoPT-Werte mit den kinematischen Werten verglichen, um einen besseren Zusammenhang erkennen zu können (vgl. Barbado et al., 2017, S. 224). Diese Forschungsweise zur Defizitkontrolle wird insbesondere bei Patienten verwendet, die an Rückenschmerzen oder Krankheiten wie Parkinson oder Skoliose leiden. Bei der Untersuchung nahmen dreiundzwanzig junge Männer teil, die körperlich gesund waren (vgl. Barbado et al., 2017, S. 221). Zur Erfassung der Daten setzten sich die Probanden auf eine instabile Messplatte bestehend aus einem 50cm x 50cm großen Holzstück, das zur Erschwerung der Stabilisation mit einer runden Polyester-Harzhalbkugel verbunden war. Der Sitz ist mit hölzernen Bein- und Fußstützen ausgestattet, um Körperbewegungen relativ zur Plattform zu verhindern. Die Fußstützenhöhe konnte dabei individuell angepasst werden, um für die Testung notwendigen 90° Winkel der Kniekehlen zu erreichen. Für die Sicherheit der Testpersonen wurde eine Anhalte Vorrichtung auf Schulterhöhe montiert, falls die Probanden gänzlich aus dem Gleichgewicht kommen sollten. Während der Analyse wurden die Testpersonen dazu aufgefordert, ihre Hände seitlich an die Brust in etwa auf Rippenhöhe zu halten, und so still wie möglich in dieser Position während der Probe zu verweilen. Die Datenerfassung pro Messung dauerte 70 Sekunden. Bei der ersten Sitzung wurden fünf Versuche abgeschlossen mit zwei Minuten Pause zwischen den einzelnen Erhebungen. Eine Plattformstabilisierungsvorrichtung wurde während der Pause eingesetzt, zur Erholung der Probanden, die nach abgelaufener Pause durch das Anheben der Teilnehmer wieder entfernt wurde. Die ersten 10 Sekunden einer 70 Sekunden Messung wurden zur Wieder Stabilisation des Gleichgewichts der Teilnehmer verworfen und in die Auswertung nicht miteinbezogen. Insgesamt wurden die Probanden drei Mal getestet, mit jeweils einer Woche Abstand in zwischen (vgl. Barbado et al., 2017, S. 221). Dabei wurden die Parameter des CoPT und der Fluktuation des Gleichgewichts gemessen (vgl. Barbado et al., 2017, S. 220). Um die relative und absolute Zuverlässigkeit zu prüfen, wurde der ICC und der SEM zur Beurteilung der Reliabilität herangezogen (vgl. Barbado et al., 2017, S. 222). Die Überprüfungen der Varianz zeigten unterschiedliche Leistungen zwischen den Testtagen auf, wobei die Differenzen zwischen Tag 2 und Tag 3 eher gering ausfielen (vgl. Barbado et al., 2017, S. 220). Der SEM präsentierte in dieser Studie ähnliche Effekte wie der ICC-Wert. Wurden für die Auswertung einzelne Werte herangezogen, so waren die Ergebnisse der Reliabilität von CoPT äußerst gering (ICC 0,18-0,25). Wurde jedoch der Mittelwert für die Analyse betrachtet, stieg der ICC-Wert langsam an (ICC 0,44-0,60). Insgesamt erreichten die CoPT-Werte bessere Resultate als die Standardabweichung, konnten jedoch auch nur

eine hohe Zuverlässigkeit erreichen ($ICC > 0.70$) in vordere/hintere und mediale/laterale Richtungen unter Verwendung durchschnittlicher bzw. guter Messmethoden. Zudem ergab die Forschung, dass die CoPT Parameter höhere Verlässlichkeit bieten als kinematische Parameter (vgl. Barbado et al., 2017, S. 220).

Zudem setzte man sich während der Studie damit auseinander ob ein Lernfortschritt entsteht. Aufgrund der Ergebnisse und auf Basis früherer Testungen wurde folgendes Fazit geschlossen: Zumindest eine Übungseinheit ist erforderlich, damit ein Lerneffekt bemerkbar wird. In dieser Publikation wurden aufeinanderfolgende Sitzungen oder Versuche über die Studie hinweg bereits als Lernwirkung betrachtet. Dies hat dazu beigetragen, dass eine minimale Anzahl von Messungen ausreichend erschien. Durch die Analyse wurde jedoch ersichtlich, dass das alleinige ausführen dieser Methodik ohne Übungseinheiten keinen Lernerfolg hervorbringt (vgl. Barbado et al., 2017, S. 219).

Die Arbeit von Quatman-Yates et al. (2013) zu „Test-Retest Consistency Of A Postural Sway Assessment Protocol For Adolescent Athletes Measured With A Force Plate“, befasste sich damit, ob das Messen der posturalen Kontrolle mittels einer Kraftmessplatte bei erwachsenen Athleten als reliabel gilt. Die Testung wurde mit einer Stichprobenanzahl von 19 weiblichen erwachsenen Sportlerinnen abgehalten unter Erschwernis inkongruenter visueller Bedingungen (vgl. Quatman-Yates et al., 2013, S. 742f.). Jede Teilnehmerin wurde durch Zufallsgenerator einer von zwei Gruppen (offene/geschlossene Augen) zugeordnet. Wurde man beispielsweise der Gruppe „OA“ zugeteilt, musste der erste Testdurchgang mit offenen Augen absolviert werden, die folgende Messung mit geschlossenen Augen und der dritte Versuch wiederholt mit offenen Augen (vgl. Quatman-Yates et.al, 2013, S. 743). Demnach wurde abhängig von der Zuweisung eine Messbedingung am ersten Testtag doppelt gemessen. Die Daten jeder Messung wurden 2 Minuten lang aufgezeichnet. Die Probandinnen mussten drei Messreihen beenden, wobei die Zeit der Erholungsphase zwischen den einzelnen Durchgängen von den Testpersonen selbst gewählt werden konnte. Nach Abschluss des Testtages wurden die Teilnehmerinnen gebeten, zu einer erneuten Untersuchung, 120 Tage nach der ersten Messerhebung, zu kommen. Bei dieser wurden die Frauen unter beiden Bedingungen (offene/geschlossene Augen) jeweils nur einmal getestet (vgl. Quatman-Yates et al., 2013, S. 743). Von den zehn weiblichen Personen, die der Testgruppe mit offenen Augen zugeteilt wurden, konnten bei der Testung nach 120 Tagen lediglich sieben neuerlich kommen. Bei der zweiten Gruppe standen auch nur sechs der neun getesteten Probandinnen erneut zur Verfügung. Demnach waren beim zweiten Testtag nur 13 der ursprünglich 19 untersuchten Frauen vertreten (vgl. Quatman-Yates, 2013, 744). Die

erhobenen Werte wurden bei der Auswertung mit den Resultaten des ersten Tages verglichen. Die Ergebnisse wiesen sowohl bei den eintägigen Testungen als auch bei den vollständigen Untersuchungen (beide Testtage) eine gute Zuverlässigkeit aller Messbedingungen auf. Die ICC-Werte reichten von 0,38 bis 0,9, wobei die höchste Reliabilität bei der Intraday-Testung mit offenen Augen erfasst werden konnte. Die schlechtesten ICC-Werte konnten in der Interday-Testung gemacht werden mit geschlossenen Augen.

Die erhobenen Resultate präsentierten eine gute Verlässlichkeit sowohl bei den kurzzeitigen als auch langzeitigen Untersuchungen.

Der Interclass correlation coefficient wurde dann berechnet, um den Grad der Vereinigung zwischen den erreichten CoPT-Werten der einzelnen Teilnehmerinnen zwischen der ersten und zweiten Probe zu bestimmen (vgl. Quatman-Yates, 2013, S. 743). Auch zwischen den beiden Testtagen konnten keine statistischen Differenzen festgestellt werden. Der ICC des ersten Testtages schwankte zwischen 0.77-0.90 für die Messbedingung mit offenen Augen und zwischen 0,69-0,84 mit geschlossenen Augen. Auch bei der Testung nach 120 Tagen konnten ähnliche ICC-Werte erfasst werden (ICC offene Augen 0,68-0,91; geschlossene Augen 0.66-0.88). Demzufolge konnte unter beiden Bedingungen eine hohe Reliabilität an beiden Untersuchungstagen behauptet werden (vgl. Quatman-Yates, 2013, S. 745).

Eine konkrete Zuweisung dieser Publikation war recht schwierig, da auf der einen Seite zweimalig Daten erhoben wurden, jedoch nicht alle ursprünglichen Testpersonen bei der wiederholten Prüfung zur Verfügung standen. Demnach könnte die Arbeit sowohl bei dem Bereich Interday-Studien als auch Intraday-Studien eingeschlossen werden. Dennoch fiel unsere Zuordnung zu den Interday-Studien, da anfänglich das Ziel war, eine Interday-Untersuchung zu machen.

Santos et al. (2007) führte für seine Arbeit "Reliability of centre of pressure summary measures of postural steadiness in healthy young adults" eine Interday-Studie durch mit 12 jungen und gesunden Männern. Ziel der Studie war es, eine Einschätzung über die Zuverlässigkeit von den 36 zusammengefassten Maßnahmen des CoPT-Parameters bei gesunden Probanden zu geben und mögliche Gründe für Veränderungen zu identifizieren, um passende Strategien und Maßnahmen zu setzen, die Methoden zur Erfassung der Reliabilität verbessern könnten (vgl. Santos et al., 2007, S. 408). Die Probanden mussten acht Messungen vollenden, davon vier mit offenen und vier mit geschlossenen Augen. Jeder Messdurchgang erstreckte sich über 60 Sekunden. Nach

Abschluss eines Versuchs stieg der Teilnehmer kurz von der Kraftmessplatte ab und anschließend gleich wieder auf diese auf, um sich nochmals für die nächste Messung zu positionieren. Dementsprechend sondert sich diese Studie von den bisherigen ab, da die Testpersonen keine Pause in zwischen einer Messreihe hatten. Um eine wiederholte Erhebung zu machen, kamen die Probanden abermals im Laufe der nächsten Woche, um eine zweites Messverfahren zu durchlaufen (vgl. Santos et al., 2007, 409).

Für die Datenauswertung wurde die Generalizability-Theorie verwendet, um den Umfang verschiedener Abweichungsbestandteile (Thema, Probe, Tag, etc.) und die Zuverlässigkeit der Messungen zu erforschen. Die Reliabilität zeigte schwache bis mäßige Ergebnisse auf. Dabei waren die ICC-Werte allgemein höher unter der Bedingung mit offenen Augen (ICC 0,46) als mit geschlossenen Augen (ICC 0,41) über alle Maßnahmen hinweg. Die Reliabilität konnte effizienter durch die Mittelwertbildung der Maße zwischen den Tagen verbessert werden, als durch das Steigen der Zahl von Proben während eines Tages. Um eine höhere Reliabilität zu erreichen, wären zumindest 7 oder mehr Messreihen an demselben Tag nötig, um die Zuverlässigkeit zu steigern (vgl. Santos et al., 2007, S. 408).

2.11.1.3 Intra- und Interday-Studien

Neununddreißig junge Testpersonen wurden ausgewählt, um eine Untersuchung zum Einbeinstand auszuführen. Um sowohl Intraday- als auch Interday-Daten analysieren zu können, wurden am ersten Testtag zwei Mal eine Kontrolle ausgeführt. Die zweite Testung erfolgte 30 Minuten nach der ersten. Die dritte Messreihe fand genau eine Woche nach dem ersten Messtag statt, zur selben Zeit wie die Erstmessung (vgl. Muelbauer et al., 2011, S. 2228). Bei jeder Testung mussten drei Durchgänge mit dem dominanten Bein erfasst werden. Die Reliabilität der Daten wurde mittels dem ICC und dem CV ermittelt. Dieses Vorkommnis ist nicht häufig bei Studien zur Posturographie zu finden und die Auswertungsmethoden beschränken sich meist auf einen Parameter. Bei beiden Geschlechtern waren die ICC-Werte stets über 0,75 bis auf bei einem Parameter der männlichen Probanden. Dies weist auf eine ausgezeichnete Intraday- und Interday-Reliabilität hin. Durch den Einbeinstand wird die Unterstützungsfläche reduziert und dadurch die Aufgabe umso schweiger. Muehlbauer et al. (2011, S. 2230) schreiben: „The base of support is reduced during 1-leg standig, which creates a more challenging balance task and may thus be an appropriate tool for the measurement of balance ability in young healthy subjects.“ Die Testung erfasste Daten von sechs oft verwendeten

Gleichgewichtsparametern (vgl. Muehlbauer et al., 2011, S. 2230). Vor Beginn der Testung mussten sich alle Teilnehmer und Teilnehmerinnen einem 5-minütigen Aufwärmprogramm widmen. Anschließend begaben sich die Testpersonen einzeln auf die Kraftmessplatte und versuchten den idealen Stand zur Stabilisierung zu finden. Dabei sollten die Probanden und Probandinnen zuerst ihren dominanten Fuß mittig auf die Messplatte legen und das Knie etwa 30° abwinkeln. Folgend sollten die Testpersonen versuchen ihr Bein noch weiter abzuwinkeln, bis sie einen 45° Winkel der Knie erreichten. Um diese Haltung besser beibehalten zu können, wurden noch die Arme in der Hüfte abgestützt und ein Kreuz an der Wand mit den Augen fixiert. Zur Eingewöhnung wurden 2-3 Testdurchgänge gemacht, bis zu den drei Sitzungen für die Datenanalyse übergegangen wurde. Jede Messung wurde 3 mal 30 Sekunden lang ausgeführt, wobei inzwischen immer eine Pause von einer Minute eingeplant war (vgl. Muehlbauer, 2011, S. 2230). Die Personen sollten während der gesamten Messdurchgänge versuchen, so ruhig wie möglich stehen zu bleiben. Alle Messungen wurden barfuß und mit offenen Augen abgehalten (vgl. Muehlbauer et al., 2011, S. 2231). Es konnten annähernd keine Unterschiede zwischen der ersten hin bis zur dritten Testung festgestellt werden. Ein ICC-Wert von 0,59 konnte für CoPT Verdrängungen in der mediolateralen Richtung diagnostiziert werden, demnach kann von einer annehmenden bis gute Interday-Reliabilität gesprochen werden (vgl. Muehlbauer et al., 2011, S. 2232). Betrachtet man die Ergebnisse der Intraday- und Interday-Testungen separat, so können folgende Schlüsse gezogen werden: Um die Richtigkeit der Auswertung zu bestimmen, werden nicht einzelne Werte, sondern die Gesamtheit des ICCs betrachtet. Dessen zur Folge ist die Reliabilität beider Testtage überaus hoch, jedoch überwiegt die Zuverlässigkeit des ersten Tages etwas gegenüber den Interday-Daten (vgl. Muehlbauer et al., 2011, S. 2231). Zudem konnten Gegensätze vermerkt werden zwischen den Geschlechtern, unter Betrachtung der Interday-Daten. Der ICC-Wert der mediolateralen Richtung des CoPT war in diesem Fall bei den Frauen hervorragend, während die der männlichen Probanden lediglich in Ordnung bis gut waren. Insgesamt konnte sowohl bei den Untersuchungen innerhalb eines Tages als auch bei den Testungen an mehreren Testtagen eine auffallend gute Reliabilität bestimmt werden (vgl. Muehlbauer et al., 2011, S. 2233).

2.11.1.4 Studien zum Coefficient of Variation

Nur wenige Studien (Samson et al., 1996; Rogind et al., 2002) haben die Reliabilität bei posturographischen Messverfahren, anstatt mit der meist verwendeten Messgröße ICC,

mit dem CV berechnet. Da die in dieser Arbeit durchgeführten und beschriebenen Studie die Reliabilität unter anderem mit dem CV berechnet und interpretiert wird, werden im folgenden Text zwei Studien dazu vorgestellt.

Die erste der zwei hier adressierten wissenschaftlichen Arbeiten wurde von Samson und Crowe im Jahre 1996 publiziert. Diese Arbeit beschreibt eine Studie, bei welcher die Schwingungen von Personen durch posturographische Messungen mittels der Messvariable COP, genauer gesagt der zurückgelegten Weglänge, berechnet wurde. Insbesondere die Inkonsistenzen der Intra-Subjekt-Messungen führten jedoch zu Zweifel an der Reliabilität der Messtechnik, welche die individuellen Schwingungen bzw. die posturale Stabilität von Personen testen. Definitiv wurde von Samson et al. (vgl. 1996, S. 253) festgehalten, dass die Arbeit die Gründe dieser Inkonsistenz jedoch nicht behandelt und der Fokus lediglich auf dem Messen der Reliabilität selbst liegt. Bei der Studie nahmen männliche und weibliche Personen im Alter zwischen 20 und 60 Jahren teil. Die Personen waren dazu angehalten, vier verschiedene Standpositionen während der Tests einzunehmen: Füße geschlossen, Augen offen (*“Feet Together Eyes Open - FTEO”*); Füße geschlossen, Augen geschlossen (*“Feet Together Eyes Closed – FTEC”*); Füße in einer Linie, Augen offen (*“Feet in Line Eyes Open - FLEO”*); Füße in einer Linie, Augen geschlossen (*“Feet in Line Eyes Closed - FLEC”*) (vgl. Samson et al., 1996, S. 253). Die „Kistler force platform (type 9281)“ wurde verwendet, um die Messvariable COP zu beschreiben. Darüber hinaus gab es ein exaktes Protokoll, nach welchem die Messverfahren durchgeführt wurden (vgl. Samson et al., 1996, S. 253):

1. Protokoll: Testpersonen wurden jeweils ein Mal für eine Minute in den vier unterschiedlichen Standpositionen, mit den Händen in der sogenannten Jendrassik manoeuvre Position (Arme vor dem Körper), getestet. Nach jeder Minute folgte ein weiterer Test in derselben Position für 15 Sekunden. Für jedes der folgenden Protokolle wurde das 1. Protokoll als Basis genommen.
2. Protokoll: Einzelmessungen, wie im 1. Protokoll, wurden an fünf verschiedenen Tagen innerhalb von zwei Wochen absolviert, um eine day-to-day-Beständigkeit in den CoPT-Werten herauszufinden.
3. Protokoll: Bei den Messungen im 3. Protokoll wurden nur die Standpositionen (mit der Jendrassik manoeuvre Armposition) FTEO und FTEC eingenommen. Jede dieser Positionen wurde zehn Mal eine Minute mit drei Minuten-Intervallen zwischen den Tests getestet. Diese Prozedur wurde an zwei weiteren aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführt. Die an einem Tag entstandenen Daten

wurden mit den dazugehörigen Werten eines anderen Tages verglichen und auf Signifikanz überprüft.

4. Protokoll: dieses Protokoll ist ident mit dem 3. Protokoll mit der Ausnahme, dass die Hände anstatt in der Jendrassik Position zu sein, frei hingen (vgl. Samson et al., 1996, S. 253).

Alle vier Protokolle wurden vom/von dem/r gleichen PrüferIn durchgeführt und generell wurde darauf geachtet, die Testsituationen so einheitlich wie nur möglich durchzuführen (vgl. Samson et al., 1996, S. 253). Das 1. Protokoll zeigt eindeutig uneinheitliche Schwingungen in der Amplitude sowie eine Frequenz über 60 Sekunden hinweg, besonders in der FLEC. Die darauffolgenden Vergleichswerte der 15 Sekunden Testung veranschaulichen ebenfalls unterschiedliche Werte. Die Schwingungsvariationen waren bei geschlossenen Augen stärker als bei offenen Augen (vgl. Samson et al., 1996, S. 254). Für das 2. Protokoll ist in der folgenden Abbildung eine COP-Auslenkung für die Standposition FTEC an vier aufeinanderfolgenden Tagen dargestellt:

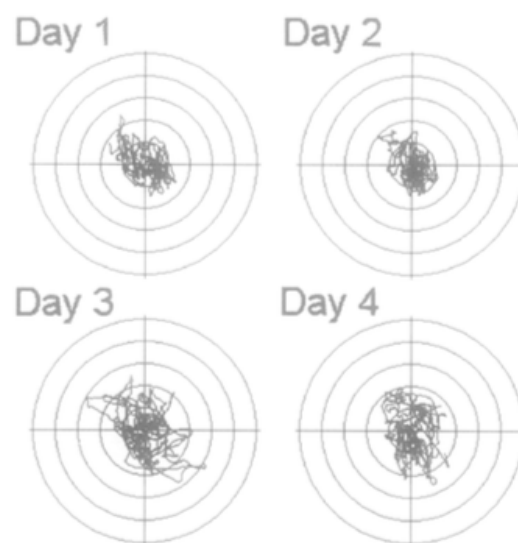


Abb. 16: COP-Auslenkung bei geschlossenen Füßen und geschlossenen Augen (FTEC) von vier aufeinanderfolgenden Tagen (Santos et al., 1996, S. 255).

Da sich die Studie im 2. Protokoll mit der Gegenüberstellung der Performance der einzelnen Personen mit sich selbst befasst, wurden die individuellen Werte der Personen über die vier Tage hinweg miteinander verglichen. In den vier Positionen wurden generell

große Wertunterschiede festgestellt und es wurden keine verbesserten Leistungen in einer der Positionen eruiert (vgl. Samson et al., 1996, S. 255). Eine Messung wurde als nicht-beständig bzw. inkonsistent im 3. Protokoll bezeichnet, sobald die Testung eines Tages mit einer Testung einer der anderen beiden Tage nicht signifikant anders war. 15 Personen absolvierten dieses Protokoll. Vier Personen waren in den Positionen FTEO und FTEC inkonsistent; drei Personen konsistent in der FTEO aber nicht in der FTE; vier Personen inkonsistent für FTEC aber nicht für FTEO und vier Personen zeigten keine Inkonsistenz für FTEC oder FTEO. The CV war generell niedriger für FTEO als für FTEC. Die CV-Werte für FTEO bewegen sich im Bereich zwischen 2,83 % und 8,52 % (Mittelwert 8,52 %, von allen fünfzehn TeilnehmerInnen von drei Tagen, dies bedeutet 45 Daten), wohingegen sich die FTEC-Werte im Bereich von 3,02 % bis hin zu 16,93 % (Mittelwert 10,55 %) abspielen (vgl. Samson et al., 1996, S. 255). Das letzte und 4. Protokoll wurde auch von fünfzehn Personen absolviert. Der CV war auch hier generell für FTEO- im Vergleich zu der FTEC-Position. Die Werte reichten hier für FTEO von 4,55 % bis 29,38 % (Mittelwert: 9,46 %), verglichen mit dem FTEO, von 3,68 % bis 24,28 % (Mittelwert 10,53 %).

Abschließend schreiben Samson und Crowe (vgl. 1996, S. 256) über die Zweifel der Messtechnik und Analyse. Bei ca. 50 % der Personen wurden Inkonsistenzen im 3. Protokoll nachgewiesen sowie zeigen 50 % Inkonsistenzen in mindestens einer der Standpositionen im 4. Protokoll. Folglich weisen diese Ergebnisse nicht nur auf die Intra-Personen-Inkonsistenz, wenn Resultate der gleichen Person über mehrere Tage hinweg verglichen werden, sondern auch auf große Inkonsistenzen innerhalb von Gruppen, welche denselben Test während einer Messreihe wiederholten, hin (vgl. Samson et al., 1996, S. 256).

Eine zweite Studie, welche sich mit dem CV als Messgröße beschäftigt, wurde von Rogind et al. (vgl. 2002) verfasst. Das primäre Ziel dieser Arbeit war es, zwei Kräfte-Messplattformen, nämlich „*Kristler 9861A force platform (KIS)*“ und „*Chattecx Balance System® (CBS)*“, miteinander zu vergleichen. KIS basiert auf piezoelektrischen Messungen von Bodenreaktionskräften in drei orthogonalen Ebenen (antero-posterior, medio-lateral und vertikal) (vgl. Rogind et al., 2002, S. 107). CBS hingegen, basiert auf Belastungsmessungen von nur Vertikal-Bodenreaktionskräften, welche jedoch eine vielseitige Platzierung des Wandlers erlauben (vgl. Rogind et al., 2002, S. 107). Die beiden Methoden werden miteinander verglichen, indem die Übereinstimmung der beiden Systeme während Testungen mit ansteigendem Schwierigkeitsgrad überprüft wird. Das zweite Ziel dieser Studie war es, die test-retest Reliabilität von KIS Und CBS zu

evaluieren (vgl. Rogind et al., 2002, S. 107). Bei der Studie selbst nahmen 29 weibliche Testpersonen teil, wobei nur zwölf der Personen die weiterführende Studie (zwei bis vier Wochen später) absolvierten. Die zu messende Variable war, wie bei den meisten Studien, COP. Die Messplatte KIS misst die Messgröße COF („*Center of Forces*“) und berechnet dadurch die Größe COP, wohingegen CBS COP direkt misst, da dieses Messgerät Momente messen kann, wohingegen KIS Reaktionskräfte misst. Um etwaige Störfaktoren zu minimieren, wurde sichergestellt, dass der Raum während der Tests absolut ruhig war sowie die Geräte auf einem flachen und stabilen Untergrund standen (vgl. Rogind et al., 2002, S. 108). Der Vorgang war wie folgt: Die Personen waren dazu angehalten, zwei Balance-Tests zu absolvieren. Die Vorgaben waren dabei: Barfuß, mit identer Fußstellung auf beiden Geräten. Die zu testenden Personen führten eine Messreihe, bestehen aus vier Tests, durch. Die Tests dauerten jeweils 25 Sekunden und der Schwierigkeitsgrad steigerte sich durch die Kombination der Bedingungen Augen offen, Augen geschlossen, parallele Fußstellung und RoMberg-Fußstellung (Füße in einer Linie) von Test zu Test. Die Testpersonen wurden nach dem Zufallsprinzip zuerst KIS oder CBS zugeordnet. Nachdem eine Person den Balancetest auf einer Plattform durchgeführt hat, führte diese im sofortigen Anschluss den Balancetest auf der anderen Messplattform durch. Nach einer 15-minütigen Pause wiederholte sich dieser Vorgang. 13 der Personen absolvierten einen weiterführenden Testablauf zwei bis vier Wochen später (vgl. Rogind et al., 2002, S. 108). Für die statistische Auswertung und darauffolgende Interpretation wurde der CV als Messgröße verwendet. Die Resultate zeigen eine verminderte Schwingung bei dem Messgerät KIS bei zwei von drei gemessenen Parametern, jedoch nicht bei CBS. Der Vergleich von mehreren Tagen zeigte Effekte in allen drei gemessenen Parametern bei CBS, nicht aber bei KIS. Die CV-Werte erstreckten sich beim Messgerät KIS auf 13 % bis 23 % und bei CBS von 11 % bis 25 %. Laut Atkinson und Nevill (vgl. 1998) sind diese Werte nicht reliabel. Generell waren die CV-Werte bei KIS bei einigen Parametern höher, beziehungsweise ähnlich im Vergleich zum Messgerät CBS (vgl. Rogind et al., 2002, S. 108). In der Arbeit von Rogind et al. (vgl. 2002) wird nicht explizit beschrieben, welches Messgerät besser für die Testung der Reliabilität geeignet ist. Die Studie fand jedoch heraus, dass die Schwingungen bei der zweiten Messreihe nach 15 Minuten abgenommen hatten. Dies wurde von KIS sowie von CBS gemessen. Bei der Messreihe, welche zwei bis vier Wochen später durchgeführt wurde, konnte nur CBS jedoch nicht KIS, Unterschiede in Bezug auf die Reliabilität feststellen.

3 Forschungsfragen

Die Posturographie beschreibt einen sehr breiten und komplexen Bereich. In dieser Arbeit werden die bei der Studie entstandenen COP- und RoM-Werte zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten analysiert und interpretiert. Darüber hinaus wird auf die Reliabilität und deren (Stör-)faktoren eingegangen. Bei der Analyse und Interpretation, vor allem in den Kapiteln *Ergebnisse* und *Diskussion* wird versucht, folgende Forschungsfragen zu beantworten:

- Ist ein Lerneffekt bei der durchgeführten Studie bei Intra- und/oder Inter-Datenerhebungen festzustellen?
- Welche Zusammenhänge können bei einer Analyse der Daten, erhoben innerhalb eines Tages (Intraday), eruiert werden?
- Werden Zusammenhänge sind, bei der Gegenüberstellung der Daten über mehrere Tage hinweg (Interday), erkennbar?

4 Methodik

Dieses Kapitel widmet sich der Methodik der Forschungsarbeit und wird, hinsichtlich der gewählten Methode und Analyse, näher erläutert. Die Wahl der Testpersonen und ausschlaggebende Einschluss- und Ausschlusskriterien dafür, die die Selektion bestimmten, werden thematisiert. Daneben wird das Testgerät sense wave medical® ausführlich beschrieben, indem die Handhabung und der Ablauf der Messung genau geschildert werden. Abschließend werden noch mögliche Messparameter des Geräts und die Datenauswertung durch das SPSS-Programm vorgestellt, um die Methodik zu vervollständigen.

4.1 Sense wave medical® (Sense Product GmbH, Wien, Österreich)

Sense wave medical® ist ein neues Mess-, Trainings- und Therapiegerät, welches laut Hersteller in verschiedensten Bereichen des Gesundheits- und Sportbereiches Verwendung finden sollte. Durch eine bewegliche Sensorplattform und zahlreiche Drucksensoren ist es möglich, eine statische als auch dynamische Gleichgewichtsanalyse durchzuführen. Die erworbenen Daten werden genauestens ermittelt und offerieren verlässliche Resultate. Überdies verfügt sense wave medical®

über die Funktion eines Trainingsmodus, wodurch die posturale Stabilität trainiert werden kann (Sense Product, 2016).

Seit August 2015 ist auch die Universität Wien in der Abteilung für Trainingswissenschaft am Zentrum für Sportwissenschaft und Universitätssport, Auf der Schmelz, mit einem sense wave medical® Messgerät ausgestattet.



Abb. 17: sense wave medical® (Sense Product, GmbH, Wien, Österreich, 2016).

4.2 Probandinnen und Probanden

Zur Ermittlung der Daten wurde eine stichprobenartige Erhebung durchgeführt. In Summe wurden 16 ProbandInnen herangezogen, die sich dazu bereit erklärten, sich für die Studie zur Verfügung zu stellen. Die Teilnahme erfolgte auf freiwilliger Basis und die Testpersonen wurden vorab über den Ablauf und den Belang der Studie informiert. Bei den ProbandInnen handelt es sich um junge und gesunde Personen, zwischen 20 und 25 Jahren, die gerade ihr Studium an der Universität Wien absolvieren. Um einen Ausgleich zwischen den Geschlechtern zu schaffen, fiel die Auswahl auf acht männliche und acht weibliche ProbandInnen.

Die beigefügte Tabelle, soll Informationen über die anthropometrischen Daten der

einzelnen Testpersonen liefern.

Tab. 1: Anthropometrische Daten der Testpersonen

Männlich (n=8)	Mittelwert	±Std	Min	Max
Alter (Jahre)	23,6	0,7	22	25
Größe (cm)	179,3	4,2	171	183
Gewicht (kg)	78	7,9	67	90
Schuhgröße	43,7	1,5	42	46
BMI	24,1	1,9	21,8	27,8
Weiblich (n=8)	Mittelwert	±Std	Min	Max
Alter (Jahre)	22,3	0,7	21	24
Größe (cm)	167,2	5,3	160	178
Gewicht (kg)	57,6	5,6	51	65
Schuhgröße	38,5	1,3	37	41
BMI	21	2,4	16,4	23,3

4.3 Ein- und Ausschlusskriterien

Alle jungen Personen im Alter zwischen 20 und 25 Jahren konnten an der angeführten Studie mitwirken, unter der Bedingung, dass die Personen zum Erhebungszeitpunkt in einem körperlich sowie geistig stabilen Zustand waren und durch keine Krankheiten, oder akuten Verletzungen beschränkt waren. Nur jene Testpersonen, die garantierten, während der gesamten Studiendauer an allen vorgegebenen Testtagen, jeweils am selben Wochentag zur selben Uhrzeit, an der Untersuchung teilnehmen zu können, wurden zur Studie zugelassen. Ein zusätzliches Ausschlusskriterium der Testung war der Höhe des BMI (Body Mass Index). Für die herangezogenen Testungen wurden ausschließlich ProbandInnen gewählt, deren BMI den Wert 30 nicht überstieg. Diese Ergebnisse der Datenerhebungen werden im Kapitel 5 dargelegt. Um die Daten für die Analyse verwertbar zu machen, mussten alle acht Teilmessungen korrekt, ohne jegliche Störungen (Abbruch aufgrund enormer Gleichgewichtsschwankungen oder dem

Verlassen der Messplatte), abgeschlossen werden.

4.4 Ziel und Ablauf der Studie

Die Studie beschäftigt sich mit dem Forschungsaspekt der posturalen Kontrolle, welcher unter Verwendung des Untersuchungsinstruments sense wave medical® genauer erforscht wurde. Ziel der vorliegenden Studie war es mittels Retest-Reliability die Übereinstimmung bzw. Konstanz der Testergebnisse zu untersuchen, wenn dieselben Testpersonen das selbe Untersuchungsprotokoll mehrmals an einen Tag absolvieren (Intraday Reliability) bzw. die Stabilität der Testergebnisse zu überprüfen, wenn dasselbe Untersuchungsprotokoll genau eine Woche, bzw. zwei Wochen nach der Erstmessung durchgeführt wird (Interday Reliability). Darüber hinaus sollte untersucht werden, ob die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse der posturographischen Messungen von Lerneffekten beeinflusst wird.

Um eine aussagekräftige Analyse zu gewährleisten, wurde an dem jeweils ersten Testtag jede/r TeilnehmerIn insgesamt fünf Mal mit einem Zeitabstand von je einer Stunde zwischen den Einzelmessungen getestet, wobei jeder Tests 8 verschiedene Testitems untersuchte. In den darauffolgenden Wochen, in Testwoche zwei und drei, wurde derselbe Test jeweils noch ein Mal wiederholt. Die Tests in den Folgewochen fanden für die einzelnen Testteilnehmer jeweils zur selben Uhrzeit, wie der erste Test an Testtag eins statt. Die Vollendung eines Testdurchgangs, der aus acht Einzelmessungen bestand, nahm pro Testteilnehmer etwa acht Minuten in Anspruch (Erklärung, 30 Sekunden Erhebung, etwa 15 Sekunden Pause – acht Einzelmessungen) und schloss mehrere Aspekte mit ein. Zu diesen wurde beispielshalber die Erfassung des Gleichgewichts mit offenen oder geschlossenen Augen auf verschiedenen Untergründen (mit oder ohne 40 mm Schaumstoffpolster) aber auch zwischen einer fixierten und frei beweglichen Standfläche (stabil/dynamisch), gezählt.



Abb. 18: Kibun - Schaumstoffpads als Auflage für das Messgerät (Sense Product, 2016).

Aufgrund der Tatsache, dass jede/r ProbandIn am ersten Testtag mehrmals die Untersuchung durchlaufen musste, konnten pro Tag nur Daten von jeweils vier Testpersonen mittels des Posturographiesystems erhoben werden. Jede Testperson konnte einen für sich möglichen Tag bestimmen (Montag-Donnerstag), an dem er/sie in den kommenden Wochen die Testung ausführen konnte, unter der Voraussetzung, dass an jedem Tag vier Testpersonen zur Verfügung standen. Die Studie wurde von drei Studierenden (Ervis Gjoni, Jacob Wolkenstein und Tanja Trampusch) betreut und für die Abschlussarbeit herangezogen. Durch die Kooperation der TestleiterInnen war jedes Mal eine andere Person für die Abhaltung der Messung zuständig. Die Verantwortlichkeit bei den einzelnen Messungen wurde vorab unter den Studierenden geklärt, sodass alle Tester gleich oft beansprucht wurden.

4.4.1 Ablauf einer Messreihe

Die Messungen zur Erfassung der Daten wurden mittels dem Gerät sense wave medical® (Sense Product GmbH, Wien, Österreich) am Zentrum für Sportwissenschaft und Universitätssport abgehalten. Laut Herstellerinformationen werden die erfassten Daten folgend erhoben: „Eine dreidimensional bewegliche (statisch/dynamisch) Sensorplattform, die mit über 5300 hochsensiblen Drucksensoren (Tekscan Pressure

Mapping, Boston, USA) ausgestattet ist, misst die durch Körperschwankungen verursachte Veränderung der Druckkräfte im Fußsohlenbereich, auch „*pressure mapping*“ genannt (mit einer Abtastfrequenz von bis zu 100 HZ – bei vorliegender Untersuchung mit 32 Hz) und visualisiert diese in Echtzeit.“ (Sense Product, 2016). Dabei werden die Druckschwankungen in vier Quadranten (Zehenbereich und Fersenbereich jedes Fußes) separat erfasst und daraus mit mathematischen Algorithmen die Bewegung des Druckmittelpunktes (centre of pressure) auf der Standfläche berechnet und damit eine Vielzahl von Analysemöglichkeiten eröffnet.



Abb. 19: Aufbau des Messgeräts sense wave medical ® (Sense Product, 2016).

Das Messgerät verfügt über einen Bildschirm, der durch Touch-Berührungen gesteuert werden kann. Um mit den Messungen starten zu können, muss der Monitor und das Gerät gestartet und anschließend die Nummer eines/r ProbandenIn eingetippt werden. Die Nummern wurden den Testpersonen zufällig zugewiesen und bestimmten die Reihenfolge der Personen für die Testung. Weiters öffnete sich selbstständig ein Testprogramm, welches einen geregelten Ablauf vorprogrammiert hatte, sodass die Untersuchung genormt durchgeführt werden konnte. Dies diente dem Tester insofern, da der Monitor die Standposition der Füße abbildete, als auch die nächstfolgende Testung mit zugehörigen Merkmalen und den Fortschritt bzw. auch die Pausen mit Zeitangabe für jede Testung angezeigt wurden.



Abb. 20: Monitorabbildung während einer Messreihe (Sense Product, 2016).

Alle Zeitangaben und Messverfahren waren genauestens geregelt und von dem Gerät sense wave medical® vorgegeben. Während der Testaufzeichnung wurden dem Tester ausschließlich Informationen über die Standposition der ausübenden Person und dessen Druckverteilung auf die Fußsohlen in Echtzeit geliefert. Somit konnte man die Veränderung der Belastung der unteren Extremitäten, durch entsprechende Verfärbungen der Fußsohlenabbildung am Monitor mitverfolgen. Nach insgesamt acht unterschiedlichen Testitems war die Testreihe zu Ende und ein Protokoll über die Ergebnisse konnte auf einem Computer eingesehen werden. Weitere Informationen zu den Parametern können erst im Datenbericht eingelesen werden, welches von sense wave medical® Gerät automatisiert an den Computer weitergeleitet wird und folglich bearbeitet und interpretiert werden können.

4.4.2 Aufbau einer Messreihe

Eine Messreihe umfasste acht Einzeltests unter Berücksichtigung verschiedener Bedingungen. Um diese verwertbar zu machen, mussten die Datenerhebungen fehlerfrei erfolgen. Von den acht Messungen, wurden je vier statisch und vier in dynamischer Form (fixierte versus dynamische Standfläche) abgehalten. Bei den statischen Messungen,

wurde die Platte durch einen Kipphebel befestigt, damit ein sicherer bipedaler Stand ermöglicht wurde. Bei der dynamischen Messreihe war der Kipphebel gelöst, sodass die Plattform (entsprechend der auftretenden Körperschwankungen) frei beweglich war und das Aufrechterhalten der Balance erschwerte wurde.

Die unten angeführte Tabelle beschreibt die Einzeltestungen näher und vermerkt, welche Messbedingungen bei den Untersuchungen berücksichtigt wurden.

Tab. 2: Anführung der einzelnen Messung

Messung	Beschreibung der einzelnen Messungen	Abkürzungen
1. Messung	statisch, Standplattform, Augen offen	stat, open
2. Messung	statisch, Standplattform, Augen geschlossen	stat, close
3. Messung	statisch, Schaumstoffmatte, Augen offen	stat, foam, open
4. Messung	statisch, Schaumstoffmatte, Augen geschlossen	stat, foam, close
5. Messung	dynamisch, Standplattform, Augen offen	dyn, open
6. Messung	dynamisch, Standplattform, Augen geschlossen	dyn, close
7. Messung	dynamisch, Schaumstoffmatte, Augen offen	dyn, foam, open

8. Messung	dynamisch, Schaumstoffmatte, Augen geschlossen	dyn, foam, close
------------	--	------------------

4.4.3 Ablauf der ersten Messreihe

Die gesamte Gestaltung der Testung beinhaltete mehrere Schritte der Vorbereitung, die jedoch nur an dem ersten Testtag durchgeführt wurden. In den folgenden Wochen waren bereits alle Daten und Abläufe bekannt, sodass man direkt mit den Messdatenerhebungen starten konnte. Folgend wird der Vorgang am ersten Testtag beschrieben: Vor der ersten Untersuchung eines/r ProbandIn, mussten für die Online-Erhebung der Firma Sense Product, Angaben zu den anthropometrischen Daten der Testpersonen (Körpergewicht, Körpergröße, Schuhgröße und Geburtsdatum) erhoben werden. Die Körpergröße und das Gewicht der Personen wurden mittels Stadiometer und geeichter Waage (Seca GmbH Hamburg, Deutschland) erfasst. Zudem erfolgte eine umfassende Anamnese Befragung der Testpersonen zu überwindenen bzw. bestehenden Krankheiten, und dem Ausmaß der körperlicher Aktivität. Nach Erfassung aller notwendigen Daten wurde mittels Online-Datenblatts eine zufällige Reihenfolge der Testpersonen bestimmt. Nach Abschluss der Zuteilung der Personen wurde zu der Einführung in das Messgerät übergegangen. Den Testpersonen wurde vor Beginn ganz genau erklärt, was sie erwartet und wie vorgegangen wird. Die erste Person bereitete sich vor und musste sich ohne Schuhe auf die Plattform stellen. Hierbei war besonders wichtig, dass die Probanden einen guten, hüftbreiten Stand einnahmen und sich mittig auf die Standplattform stellten. War die Standposition nicht optimal bzw. lagen die Zehenspitzen nicht auf selber Höhe, wurde dies durch den Monitor angezeigt und eine Neupositionierung des Standes musste erfolgen. Bei der Messung sollten die Arme locker neben dem Körper hinunterhängen und der Blick nach vorne, an einen selbst zu fixierenden Punkt, gerichtet werden. Nachdem alle Faktoren berücksichtigt wurden und die Person gut auf der Standplattform positioniert war, konnte mit der eigentlichen Testung begonnen werden. Die erste Messung wurde auf der stabilen Plattform mit geöffneten Augen ausgeführt. Nachdem der/die TestleiterIn die Starttaste am Bildschirm drückte, musste die Testperson versuchen sich zu konzentrieren und möglichst ruhig auf der Messplatte stehen zu bleiben. Während der Durchführung durfte die Standposition keinesfalls geändert werden, da die Testung dadurch verfälscht werden würde. Außerdem durfte ab Beginn einer Messung nicht mehr gesprochen werden, um ein

möglichst leises Umfeld zu gestalten. Jede Einzelmessung wurde genau 30 Sekunden lang durchgeführt. Im Anschluss folgte eine kurze Pause von 15 Sekunden, in welcher, die Testperson die Kraftmessplatte kurzzeitig verlassen musste. In der Zwischenzeit hatte der/die TesterIn Zeit den nächsten Messvorgang vorzubereiten. Zur erneuten Testung der nächsten Einzelmessung musste abermals auf alle Kriterien geachtet werden, sodass eine präzise Durchführung gewährleistet wurde. Dieser Vorgang wurde so lange wiederholt, bis alle acht Testungen vollendet waren. Nach der vierten abgeschlossenen Messung wurde die Plattform auf dynamisch umgestellt, indem die Kipphebel gelöst wurden. Die Kraftmessplatte konnte nun durch die Schwankungen der ProbandInnen dreidimensional bewegt werden. Nachdem alle acht Messungen durchlaufen wurden, war die Messreihe abgeschlossen und die nächste Person wurde für die Untersuchung herangezogen.

Zur Verständnissicherung und Veranschaulichung des Ablaufs einer Messreihe wurde folgende Abbildung (siehe Abb. 20) kreiert. Diese soll eine konkrete Beschreibung liefern, wie ein vollständiger Messdurchgang aussieht.

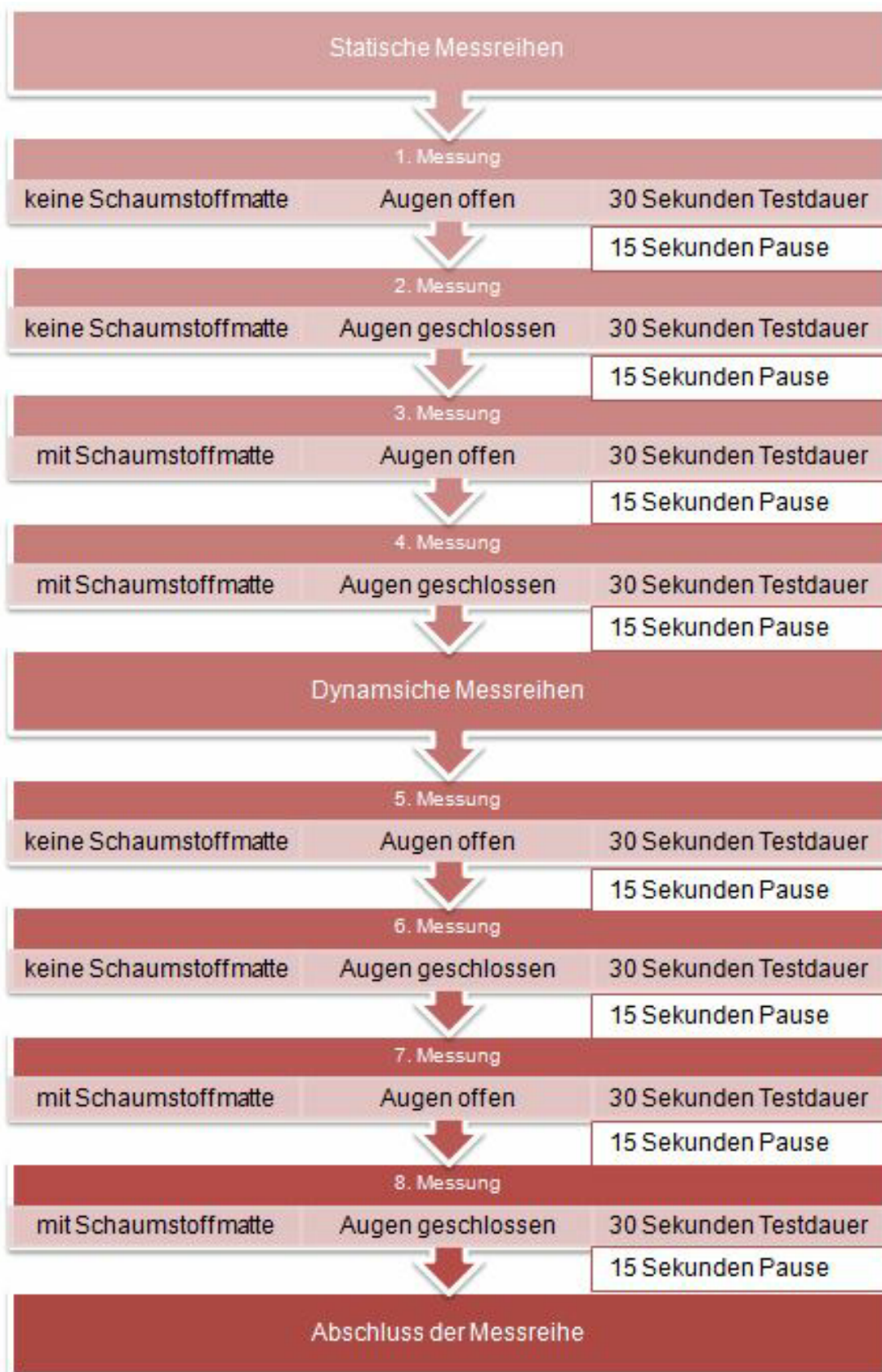


Abb 21: Zusammenfassungen der Messreihen (vgl. Marksteiner, 2016)

4.5 Messparameter

Das Diagnose- und Trainingsgerät sense wave medical® (Sense Product GmbH, Wien, Österreich) erfasst Druckveränderungen im Zehen und Fersenbereich beider Fußsohlen im aufrechten bipedalen Stand, welche durch Körperschwankungen bzw. Ausgleichsbewegungen bei der Gleichgewichtskontrolle auftreten. Daraus wird, durch entsprechende Algorithmen eine Vielzahl von Parametern berechnet, welche Aussage über die Gewichtsverteilung bzw. über Bewegungen des Druckmittelpunktes geben, sowie eine Aussage über die Beteiligung unterschiedlicher sensorischer Systeme bei der Gleichgewichtskontrolle ermöglichen.

Dazu gehören unter anderem:

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

In der vorliegenden Diplomarbeit beschränkt sich die Analyse auf den Weg des Druckmittelpunktes (entspricht CoPT) welcher in cm gemessen wird, sowie auf die Fläche, die diese Exkursionen des Druckmittelpunktes auf der Standfläche beschreibt und als (Range of Motion beziehungsweise RoM) angegeben wird. Dieses computergestützte System erlaubt Messungen sowohl auf einer stabilen, nicht beweglichen Standfläche, durch Entriegelung eines Fixierungsmechanismus, sind aber auch dynamische Messungen möglich, wobei sich die Standfläche im dreidimensionalen RoM entsprechend der Körperschwankungen und Ausgleichsbewegungen bewegt.

Da es sich bei diesem Gerät um ein neues Messsystem handelt, welches im Gegensatz zu den anderen Posturographiesystemen nicht Kraft sondern Druck misst gilt, es im Rahmen der vorliegenden Untersuchung zunächst die Zuverlässigkeit (die Reliabilität) zu erfassen.

Die Referenzwerte für die hier vorliegenden Messparameter wurden der Diplomarbeit von Mag. Dominik Marksteiner entnommen. Da diese Ergebnisse auch als Referenzwerte der Firma Sense Product GmbH dienen, wurden diese auch für diese Studie herangezogen,

um einzelne Aussagen besser interpretieren zu können.

Die beiden Abbildungen verweisen auf eine statische und dynamische Messung per sense wave medical®. Diese werden in jener Art angezeigt, die mittels der Datenübertragung des Messgeräts, erhalten wurden. Die Grafik weist speziell auf die Standposition, die verschiedenen Parameter, die Bewegungskontrolle, die Haltung sowie die Wahrnehmung der Testperson hin.

Sensewave medical

STATISCHE MESSUNG

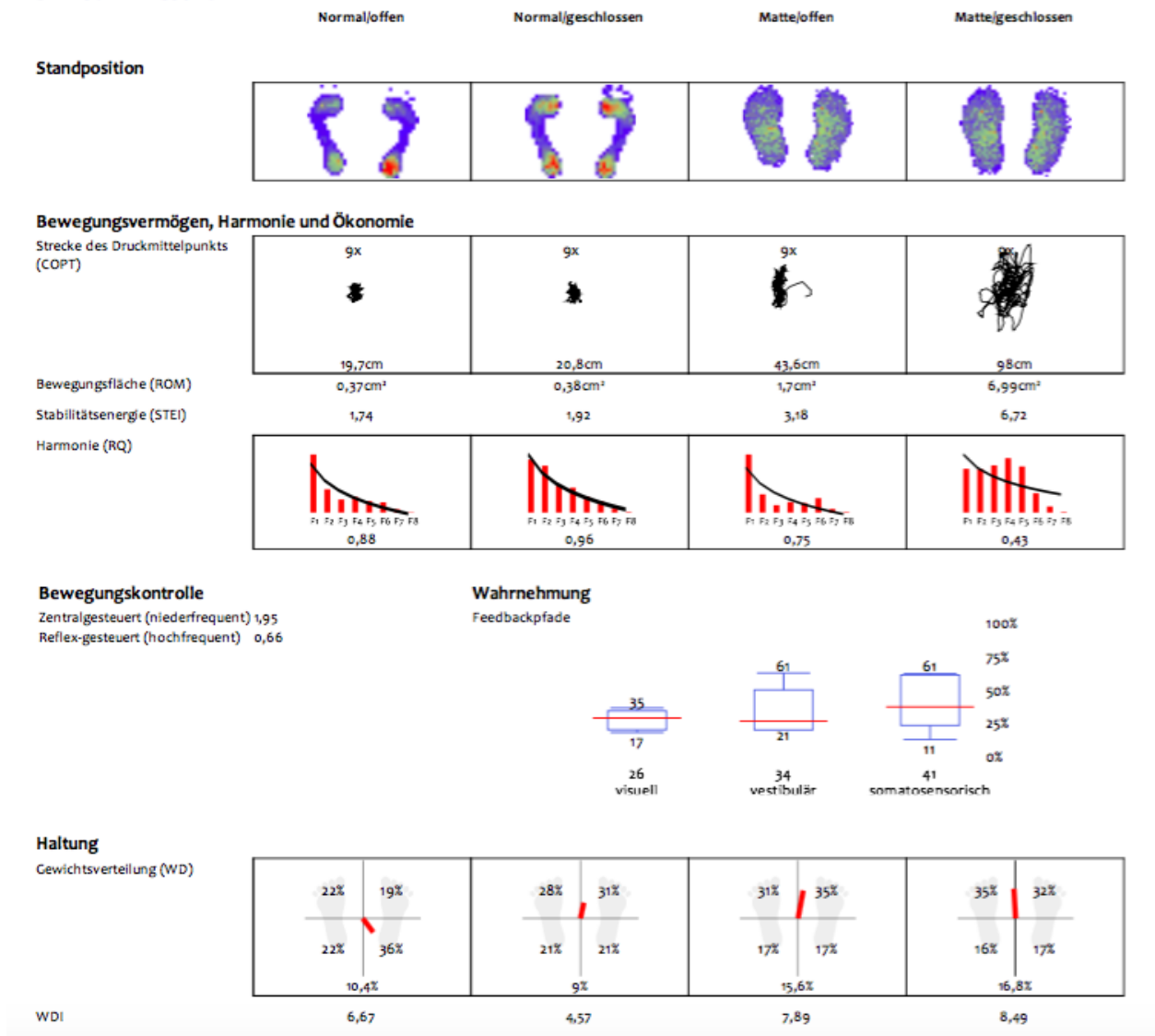


Abb 22: Sensewave Datenblatt statisch (Sense wave Ausgabedokument, Sense Product, 2016)

Sensewave medical

DYNAMISCHE MESSUNG

Normal/offen

Normal/geschlossen

Matte/offen

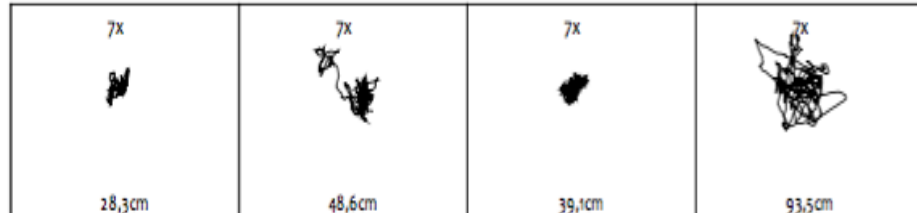
Matte/geschlossen

Standposition



Bewegungsvermögen, Harmonie und Ökonomie

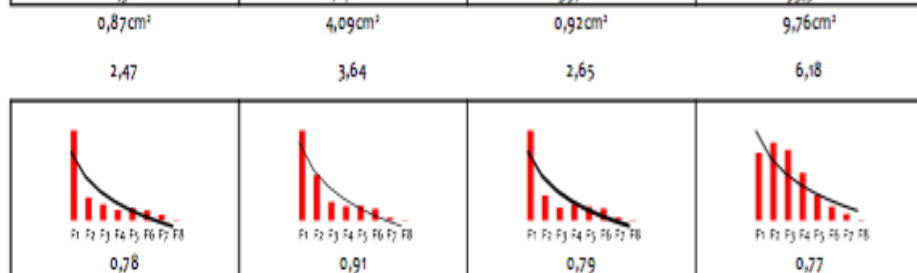
Strecke des Druckmittelpunkts (COPT)



Bewegungsfläche (ROM)

Stabilitätsenergie (STEI)

Harmonie (RQ)



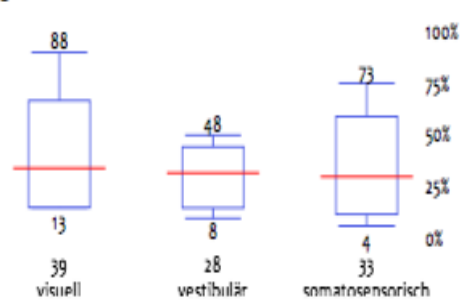
Bewegungskontrolle

Zentralgesteuert (niederfrequent) 2,59

Reflex-gesteuert (hochfrequent) 0,93

Wahrnehmung

Feedbackpfade



Haltung

Gewichtsverteilung (WD)



Abb 23: Sensewave Datenblatt dynamisch (Sense wave Ausgabedokument, Sense Product, 2016)

4.6 Statistische Auswertung der Daten

Die statistische Analyse der Daten erfolgte mit Hilfe des Statistikprogramm SPSS für Windows (Version 23.0). Abhängig von dem Skalenniveau der einzelnen Parameter und den Voraussetzungen wurden bestimmte Signifikanztests zur Auswertung gewählt. Diese sollen Informationen liefern, ob bei den Variablen signifikante Unterschiede oder lineare Zusammenhänge bestehen. Für alle Testungen wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit bzw. ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ gewählt (vgl. Fahrmeir et al., 2016). Je geringer dieser Wert ausfällt, umso höher liegt die Qualität der gelieferten Information (vgl. Bortz & Schuster, 2010). Dabei wird ein Signifikanzwert von $p \leq 0,05$ als signifikant, $p \leq 0,01$ als sehr signifikant bzw. hochsignifikant und $p \leq 0,001$ als höchst signifikant angesehen (vgl. Zöfel, 2002).

Um Unterschiede zwischen den einzelnen Tests festzustellen und sowohl Intraday-Daten als auch Interday-Daten auf deren Reliabilität zu überprüfen, wurden diese mit dem SPSS Programm mittels einer ANOVA ermittelt. Diese wurde mit Hilfe des Mauchly-Tests überprüft. Kam es zu einer Verletzung der Sphärizität ($p < 0,001$), so musste eine Korrektur durch Greenhouse Geisser ($p < 0,05$) erfolgen.

Die aus SPSS gewonnenen Daten wurden zudem in ein Excel Datenblatt (Spreadsheet) eingetragen, um die ICC und CV- Werte (in %) herauslesen zu können (vgl. Hopkins, 2015). Der ICC und CV- Wert dienen zur Feststellung der Reliabilität und werden im Kapitel 5 Ergebnisse miteinander verglichen und interpretiert. Die Daten werden zur Erleichterung der Analyse in Tabellen präsentiert und zusätzlich in Form von Box-Plots. Die nachfolgende Abbildung dient zum Verständnis der Bestimmung eines Box- Plots.

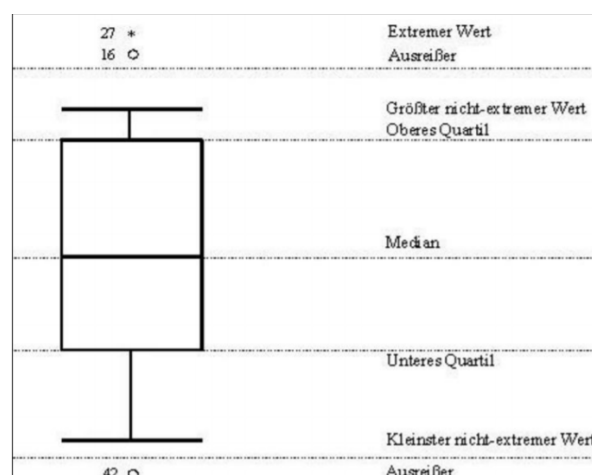


Abb. 24: Erklärung eines Box-Plots (Marktforschung Wiki, 2017)

5 Ergebnisse (Jacob Wolkenstein und Tanja Trampusch)

Die Messdaten für die Parameter CoPT und RoM ermittelt. Wie bereits erwähnt, wurden diese Messparameter gewählt, da diese für die vorliegende Arbeit relevante Daten bereitstellten und auch jene Messwerte sind welche in der entsprechenden Fachliteratur am Häufigsten Verwendung finden. Aufgrund der Tatsache, dass am ersten Testtag fünf Mal gemessen wurde, und in den folgenden beiden Wochen jeweils nur eine Messreihe erfasst wurde, werden die zusammengefassten Werte zwischen "Intraday" und "Interday"-Daten unterschieden. Intraday-Daten (Nummern in den folgenden Tabellen: 1-5) beinhalten all jene Messungen, die am ersten Tag stattgefunden haben. Die Interday-Daten (Nummern in den folgenden Tabellen: 6-7) hingegen sind Werte, die zwischen verschiedenen Wochen erfasst wurden und etwaige Veränderungen zwischen den drei Testwochen herausstreichen sollen. Alle Tabellen, der Inter-Werte beziehen sich dabei jeweils auf den CoPT- bzw. RoM-Wert bei Erstmessung des ersten Tages.

Die Übersichten zeigen alle Datenerhebungen von CoPT 1 bis CoPT 8 bzw. RoM 1 bis RoM 8 an. CoPT 1 bezieht sich hierbei auf die jeweils erste Messung aller Messreihen (offene Augen, statisch, stabile Oberfläche), CoPT 2 wiederum auf alle zweiten Tests der Messreihen, sprich mit geschlossenen Augen, statisch und stabiler Oberfläche usw.

Die folgenden Tabellen wurden bewusst so gestaltet, um möglichst übersichtlich alle relevanten Daten zusammenzufassen und in diesem Zusammenhang Vergleiche der erhobenen Messdaten untereinander erheben zu können.

Zudem ist eine Erklärung des ICC- Wertes und CV- Wertes (angegeben in %) von großer Bedeutung für eine ausführliche Analyse. Sowohl der ICC als auch der CV-Wert sind Maßzahlen für die Reliabilität und geben Auskunft über die Zuverlässigkeit der Daten. In den meisten Fällen wird alleinig auf die Analyse mittels ICC zurückgegriffen, wobei in unserer Studie auch der Coefficient of Variation in die Auswertung miteinbezogen wird, da dieser zusätzliche Informationen liefern kann. Demnach wurden für die Auswertung und Interpretation der Studie beide Koeffizienten zur Analyse herangezogen, um diese vergleichbar machen zu können und auch eine Affinität zu anderen Studien herstellen zu können. Für alle Wertinterpretationen wurde auf die ICC Richtlinienwerte von Shrout und Fleiss (vgl. 1979) eingegangen und beim CV auf die Daten von Atkinson und Nevill (vgl. 1998).

5.1 Mittelwerte aller CoPT und RoM-Daten

Tab. 3: Mittelwerte aller CoPT-Daten in cm (statische Plattform) (mean $\pm$ SD n=16).

	open eyes fixed support surface	closed eyes fixed support surface	open eyes foam pad fixed support surface	closed eyes foam pad fixed support surface
1 st measurement	28,5	38,0	53,3	106,9
2 nd measurement	27,4	33,2	50,5	91,3
3 rd measurement	25,0	32,2	46,2	92,7
4 th measurement	26,2	33,0	50,1	94,0
5 th measurement	24,0	33,4	49,9	93,4
6 th measurement	29,3	33,3	55,7	98,0
7 th measurement	31,4	34,7	58,3	98,3

Der Index zeigt eine Auflistung der Mittelwerte unter verschiedenen Bedingungen der ersten vier Messreihen (statischer Erhebungsfläche). Vergleicht man die Zahlen der einzelnen Messungen, wird deutlich, dass die Mittelwerte am ersten Testungstag jeweils beim ersten Messdurchgang am höchsten ausfallen. Allerdings nehmen die Mittelwerte der jeweiligen Konditionen am ersten Untersuchungstag nicht stetig ab, sondern schwanken sehr stark untereinander. Die schlechtesten Werte wurden bei dem Test mit geschlossenen Augen und Schaumstoffplatte erzielt. Am ersten Untersuchungstag können hier nach der ersten Erhebung geringere Mittelwerte erlangt werden, während

sich diese an den weiteren Testtagen (Messung 6 und 7) wieder verschlechtert haben.

Tab. 4: Mittelwerte aller CoPT-Daten in cm (dynamische Plattform) (mean $\pm$ SD n=16).

	open eyes sway - referenced support surface	closed eyes sway - referenced support surface	open eyes foam pad sway - referenced support surface	closed eyesfoam pad sway- referenced support surface
1 st measurement	47,2	155,9	62,2	171,4
2 nd measurement	41,4	138,5	56,4	155,3
3 rd measurement	40,5	133,5	57,1	153,3
4 th measurement	36,1	123,7	55,1	149,7
5 th measurement	37,4	124,0	54,9	153,1
6 th measurement	46,5	144,6	62,9	189,2
7 th measurement	48,6	129,1	69,5	172,7

Die Daten der obigen Tabelle zeigen die Mittelwerte aller CoPT- Daten bei einer dynamischen Plattform. Dabei kommt klar zum Ausdruck, dass die Schwankungen bei offenen Augen merklich geringer ausfallen, als mit geschlossenen Augen. Zudem ist der

Mittelwert bei der Erhebung auf einer Schaumstoffmatte höher, als ohne Auflage. Daneben wird deutlich erkennbar, dass die Werte in den meisten Fällen an den Folgetagen (6. und 7. Messung) größere Ergebnisse zur Folge haben, als innerhalb eines Tages.

Tab. 5: Mittelwerte aller RoM-Daten in cm² (statische Plattform) (mean ± SD n=16).

	open eyes fixed support surface	closed eyes fixed support surface	open eyes foam pad fixed support surface	closed eyes foam pad fixed support surface
1 st measurement	1,1	3,1	2,9	12,0
2 nd measurement	2,9	1,4	3,2	9,7
3 rd measurement	1,1	1,5	2,2	10,4
4 th measurement	1,2	1,8	3,1	9,9
5 th measurement	1,2	1,4	3,8	11,0
6 th measurement	2,0	2,3	3,1	9,6
7 th measurement	3,0	2,0	3,8	9,4

Vergleichsweise zu den CoPT-Daten zeigen die RoM-Daten des abgebildeten Index überaus niedrige Werte auf. Diese schwanken gering untereinander und schildern bei der vierten Kondition mit geschlossenen Augen und Schaumstoffmatte die höchsten RoM-

Daten Ergebnisse. In diesem Fall konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Testungen am ersten Tag mit den Folgetagen festgehalten werden, da die Mittelwerte recht ausgeglichen ausgefallen waren.

Tab. 6: Mittelwerte aller RoM-Daten in cm^2 (dynamische Plattform) (mean $\pm$ SD n=16).

	open eyes sway - referenced support surface	closed eyes sway - referenced support surface	open eyes foam pad sway - referenced support surface	closed eyes foam pad sway- referenced support surface
1 st measurement	2,5	28,5	3,3	33,9
2 nd measurement	2,2	25,4	2,9	32,2
3 rd measurement	2,1	21,8	2,5	26,9
4 th measurement	1,9	20,7	2,5	27,5
5 th measurement	2,1	20,5	2,4	34,1
6 th measurement	2,4	22,6	4,8	43,8
7 th measurement	3,0	19,4	7,4	37,3

Die Zahlentafel beschreibt die Mittelwerte aller RoM-Daten bei einer dynamischen Plattform. Hierbei können erhebliche Abweichungen bei den einzelnen Messbedingungen veranschaulicht werden. Besonders bei den Messergebnissen mit geschlossenen Augen fallen die Werte sichtbar höher aus, als dies bei offenen Augen der Fall ist. Zudem wird erkannt, dass bei den Untersuchungen mit offenen Augen die Analyse der Folgetage schlechter ausfällt als am ersten Testtag. Allerdings kann dies nicht bei allen Messbedingungen verzeichnet werden, so schwanken die Daten der Messung mit geschlossenen Augen auf der dynamischen Plattform von Messung zu Messung unterschiedlich. Durch die merklichen Schwankungen kann darauf zurück gefolgert werden, dass es zu keinem Lerneffekt kommt und kein Muster bei den einzelnen Erhebungen festzustellen ist.

5.4 Box-Plots-CoPT/RoM

Die folgenden Abbildungen veranschaulichen die statistischen Daten der CoPT-Daten in Box-Plots. Die erste Ziffer nach CoPT bezeichnet den Test (beispielsweise 1 steht für den ersten Test (Augen offen, statische, stabile Oberfläche)); die zweite Ziffer den Messdurchgang (zum Beispiel 1 wäre hierbei der erste Messdurchgang am ersten Tag, 5 der letzte Messdurchgang am ersten Tag, 6 der Messdurchgang nach einer Woche, 7 der Messdurchgang, zwei Wochen nach dem ersten Testtag).

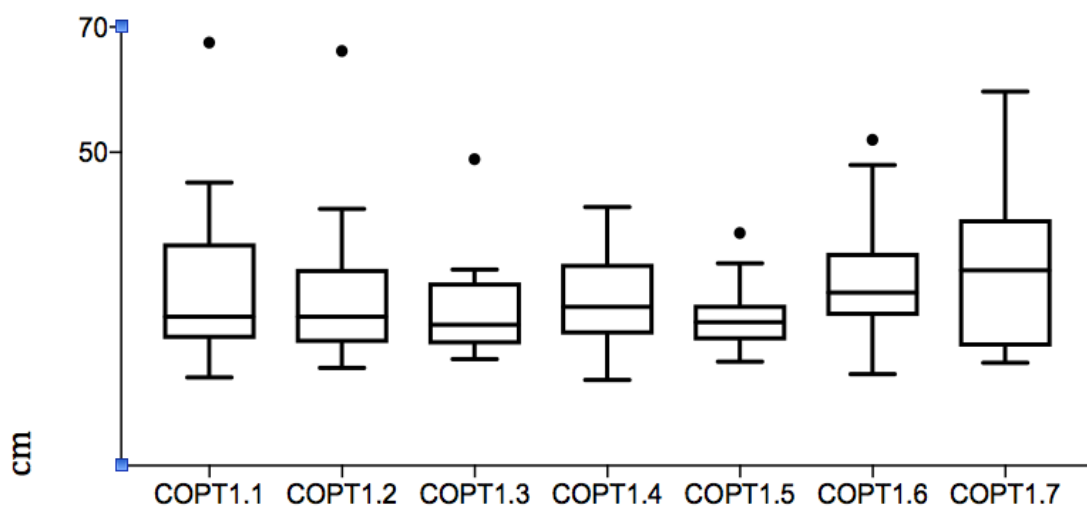


Abb. 25: Box-Plots CoPT 1.

Die Abbildung 25 zeigt Box-Plots der ersten Messung bei allen 7 Messreihen. Die Box-Plots zeigen einen Schwankungsbereich zwischen ca. 20 cm bis hin zu fast 50 cm auf. Bei CoPT 1.2 - COTP 1.3 sowie CoPT1.5 und CoPT 1.6 lassen sich Ausreißer im oberen Bereich bis hin zu 70 cm erkennen.

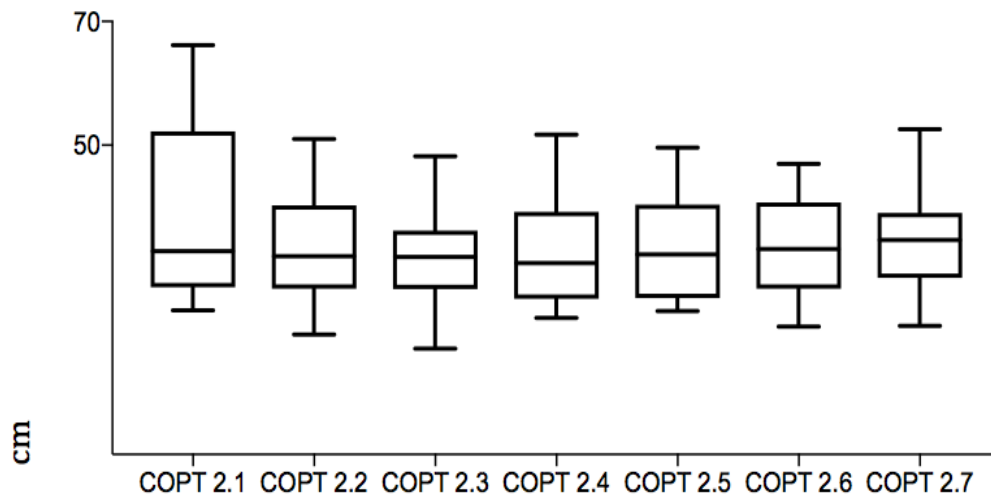


Abb. 26: Box-Plots CoPT 2.

Die zweite Messung zeigt ähnliche Box-Plots wie die Abbildung 26. Der Schwankungsbereich liegt auch hier bei ca. 20 cm bis hin zu fast 70 cm. Ein Verlauf bzw. eine Struktur der sieben Box-Plots lässt sich hier nicht erkennen.

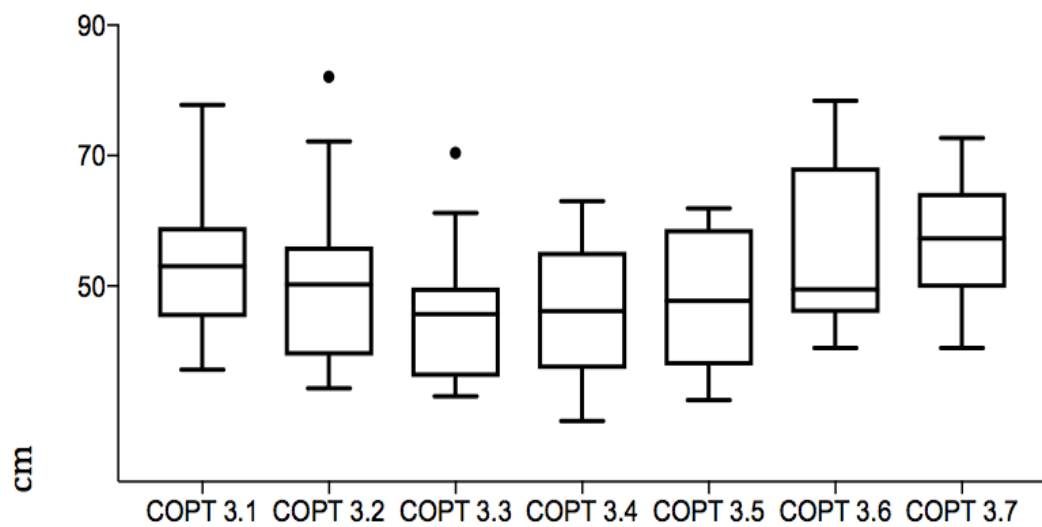


Abb. 27: Box-Plots CoPT 3.

Bei der dritten Messung (Augen offen, statisch, Schaumstoffoberfläche) lassen sich im Gegensatz zu den Messwerten bei CoPT 1 und CoPT 2 größere Schwankungen zwischen den Box-Plots erkennen. Der Schwankungsbereich liegt hierbei zwischen ca. 20 cm bis hin zu ca. 80 cm. CoPT 3.2 und CoPT 3.3 weisen Ausreißer auf.

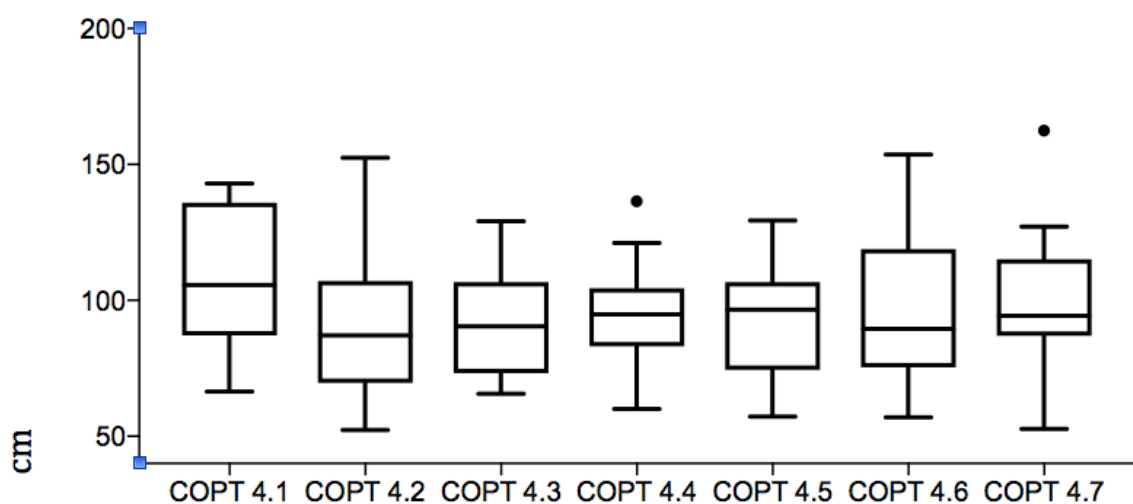


Abb. 28: Box-Plots CoPT 4.

Die Box-Plots in Abb. 4 sind sehr wahllos angeordnet. CoPT 4.4 und CoPT 4.7 weisen Ausreißer auf. Allgemein liegt das Minimum bei ca. 50 cm. Das Maximum ist höher im Vergleich zu vorangehenden Messungen und liegt bei CoPT 4.3 und CoPT 4.6 bei ca. 150 cm.

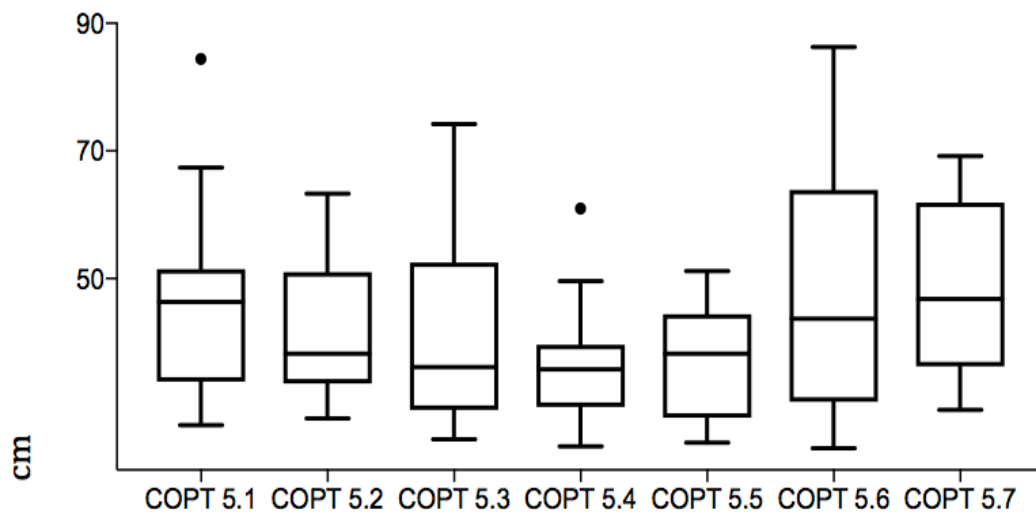


Abb. 29: Box-Plots CoPT 5.

Die Box-Plots der fünften Messung zeigen große Unterschiede zwischen den Messreihen auf. Vor allem im Interday-Vergleich lässt sich erkennen, dass die Box-Plots CoPT 5.6 und CoPT 5.7, im Kontrast zu den Messreihen am ersten Tag, sehr groß sind. Der Schwankungsbereich ist generell größer als bei den meisten davor beschriebenen Box-Plot-Abbildungen (10 cm bis 90 cm).

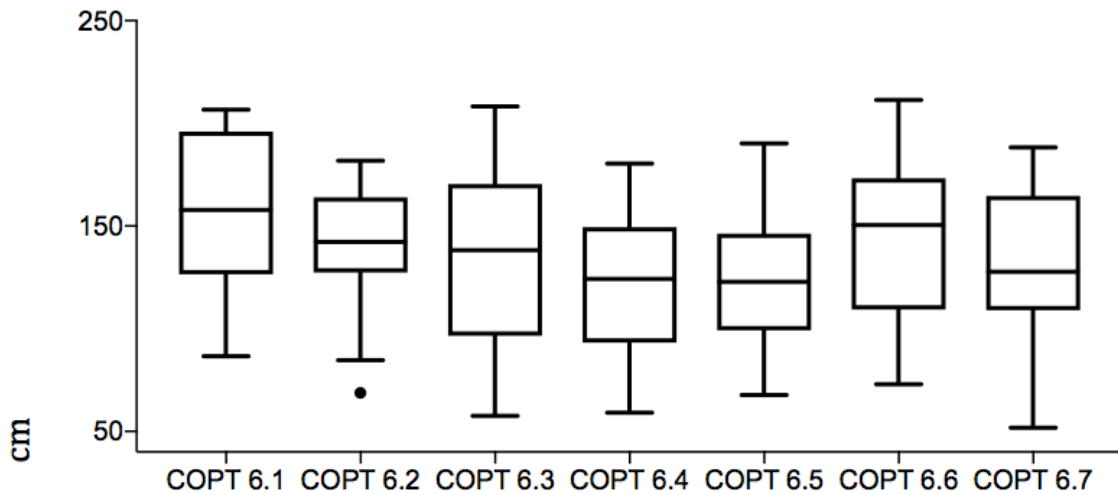


Abb. 30: Box-Plots CoPT 6.

Diese Box-Plots bilden die sechste Messung (Augen offen, dynamisch, stabile Oberfläche) ab. Auffallend sind hierbei die Whiskers, welche bei allen Box-Plots stark ausgeprägt sind. Der Schwankungsbereich bei dieser Messung liegt weit höher als bei den vorhergehenden Messungen. Das Minimum der Schwankungen liegt bei ca. 50 cm - das Maximum bei ca. 200 cm.

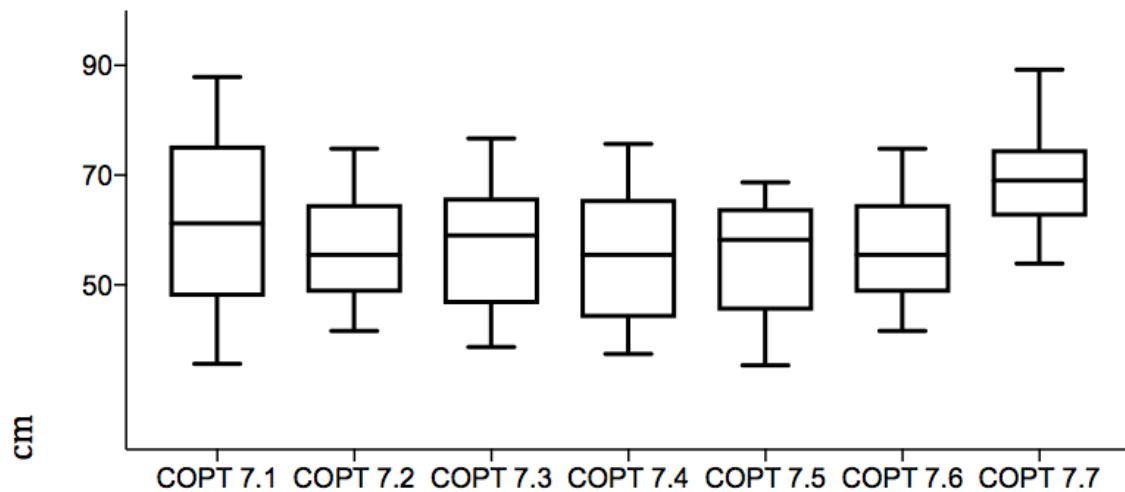


Abb. 31: Box-Plots CoPT 7.

Der Schwankungsbereich ist bei der siebten Messung sichtlich kleiner als bei CoPT 6. Die Personen hatten bei dieser Messung die Augen offen wohingegen sie bei der vorangehenden Messung die Augen geschlossen hielten. Allgemein lässt sich sagen, dass die Box-Plots auch hier, sowie bei den meisten Abbildungen sehr wahllos angeordnet sind. Zu hervorheben ist CoPT 7.7, welche den höchsten Wert von einer Bewegungsstrecke von bis zu 90 cm beschreibt.

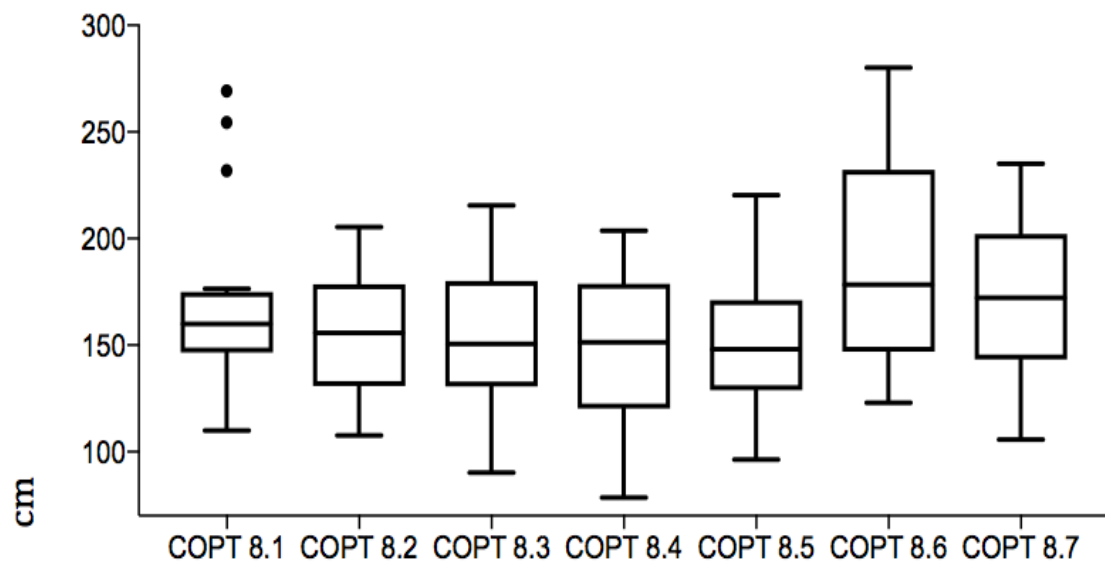


Abb. 32: Box-Plots CoPT 8.

Die letzte Messung aller Messreihen ist in der obigen Abbildung veranschaulicht. Der Schwankungsbereich bei CoPT 8 mit den Konditionen Augen geschlossen, dynamisch und Schaumstoffoberfläche, welche die am schwierigsten zu bewältigende Kondition darstellt, weist auch den höchsten Schwankungsbereich (80 cm bis hin zu 280 cm) auf. Die Box-Plots generell sind wahllos angeordnet und es lässt sich kein Trend erkennen. CoPT 8.1 mit Ausreißer sowie das Maximum von CoPT 8.6 weisen die größten Werte von bis zu 280 cm auf.

RoM-Box-Plot-Abbildungen:

Die folgenden Abbildungen verbildlichen die statistischen Daten der RoM-Daten in Box-Plots. Bezüglich der Ziffern, welche auf die Messung bzw. den Messdurchgang verweisen, ist gleich wie bei CoPT nach RoM vorzugehen.

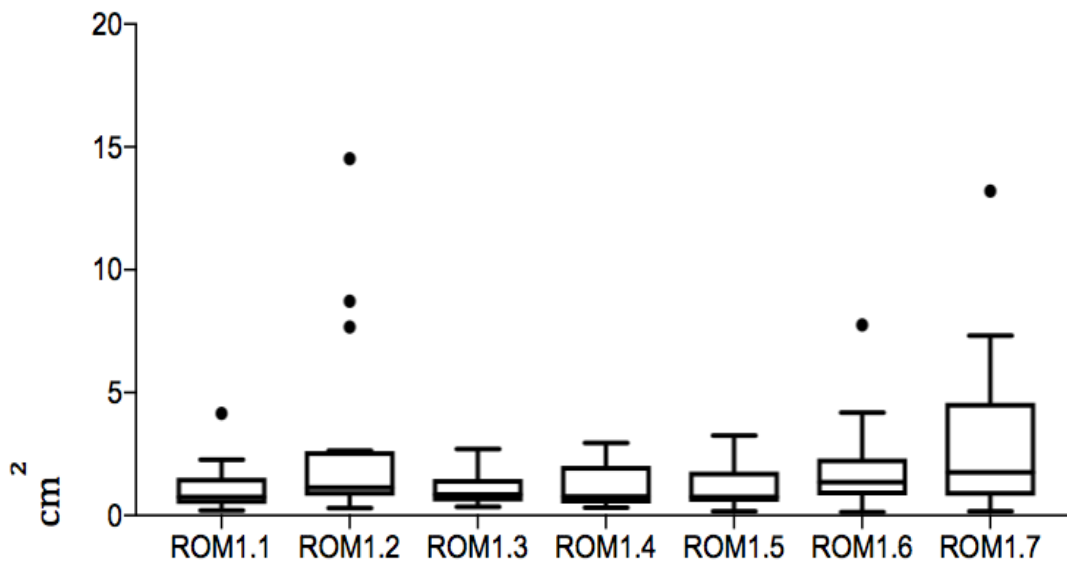


Abb. 32: Box-Plots RoM 1.

Die obige Abbildung zeigt Box-Plots in Bezug auf die Messvariable RoM. Der RoM-Bereich liegt hier zwischen 0cm^2 und ca. 8cm^2 . Bei den Messungen RoM 1.1, RoM 1.2, RoM 1.6 sowie RoM 1.7 lassen sich Ausreißer bis hin zu 15cm^2 erkennen. Allgemein lässt sich ein leichter Verlauf bezüglich der Größe des Schwankungsbereiches erkennen (Schwankungsbereich RoM1.1: 0 cm^2 - 3 cm^2 ; RoM 1.7: 0 - 8 cm^2).

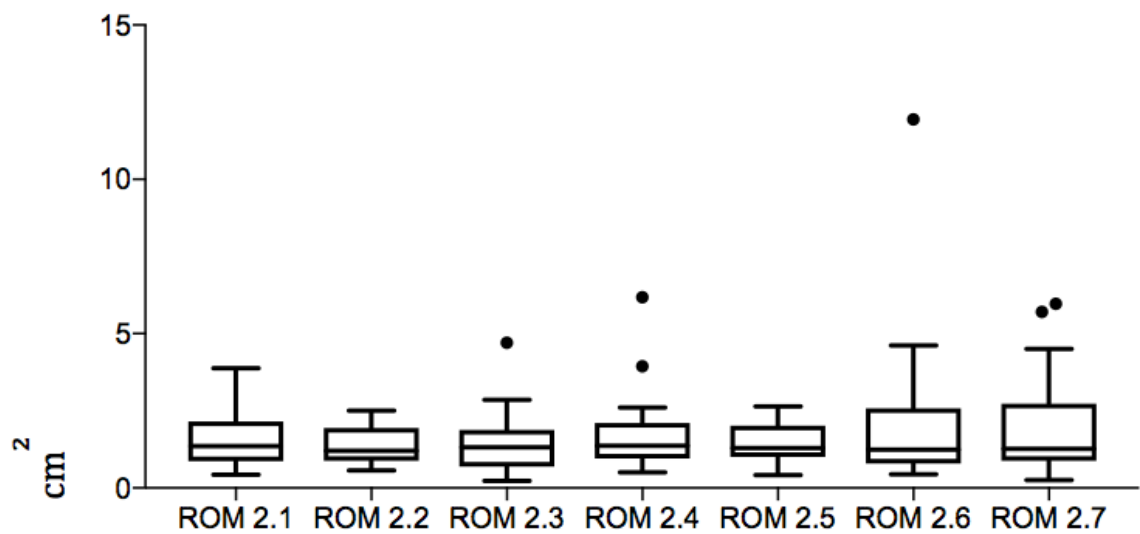


Abb. 33: Box-Plots RoM 2.

In der Abbildung 33 hingegen, lässt sich absolut keine Struktur in Bezug auf den Verlauf und die Größe der Box-Plots erkennen. Diese sind wahllos dargestellt und lassen sich in einen Bereich von ca. 1 cm^2 bis hin zu etwa 4 cm^2 beschreiben. Einige der Box-Plots (RoM 2.3, RoM 2.4, RoM 2.6 und RoM 2.7) haben Ausreißer nach oben hin.

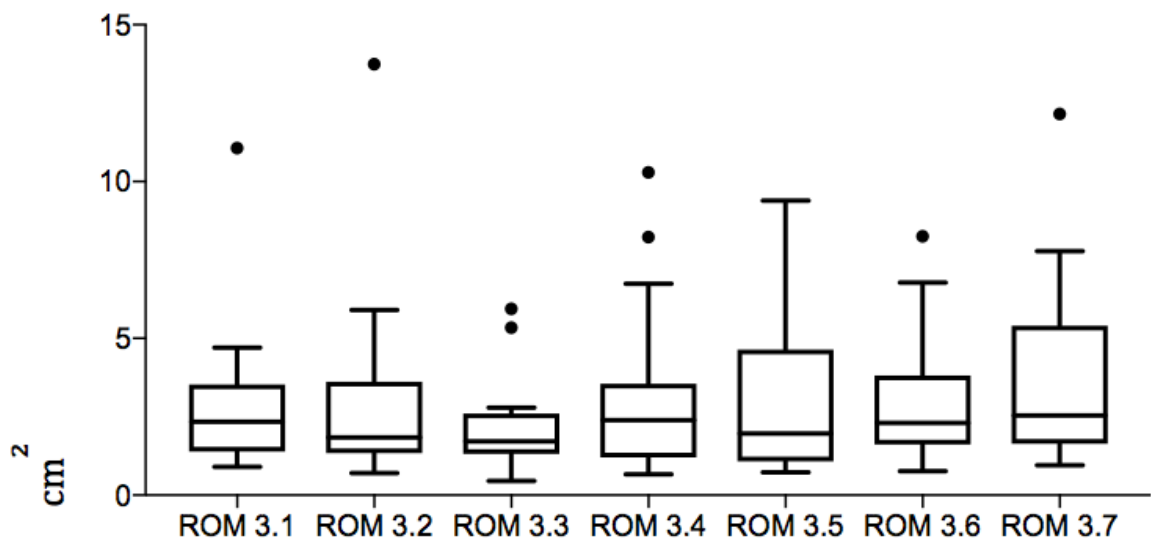


Abb. 34: Box-Plots RoM 3.

Bei der dritten Messung, Augen offen, statisch, Schaumstoffoberfläche, lässt sich ein größerer RoM-Bereich erkennen als bei den vorangehenden Messungen (Bereich: 1 cm^2 - 9 cm^2). Eine Struktur lässt sich nicht erkennen. Die Werte der dritten Messreihe stellen den kleinsten RoM-Bereich mit 1 cm^2 bis ca. 3 cm^2 dar; der RoM3 Wert bei der fünften Messreihe den größten mit 1 cm^2 - 9 cm^2 .

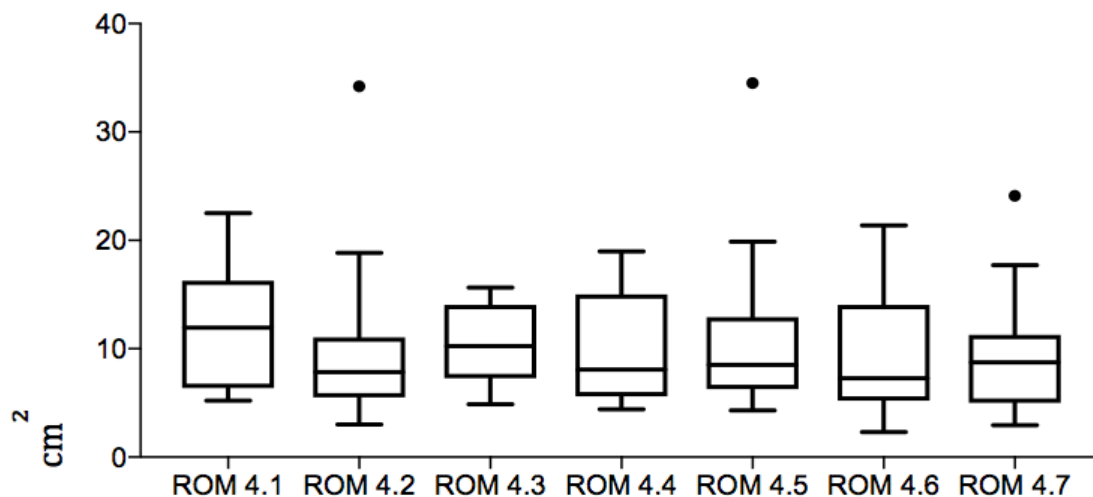


Abb. 35: Box-Plots RoM 4.

Der RoM-Bereich der vierten Messung liegt zwischen ca. 5 cm^2 und 25 cm^2 . Die Box-Plots sind wahllos angeordnet und lassen auf kein strukturiertes Muster verweisen. Die Werte der Messungen RoM 4.2, RoM 4.5 und RoM 4.7 beinhalten Ausreißer im Bereich von 25 cm^2 bis 45 cm^2 .

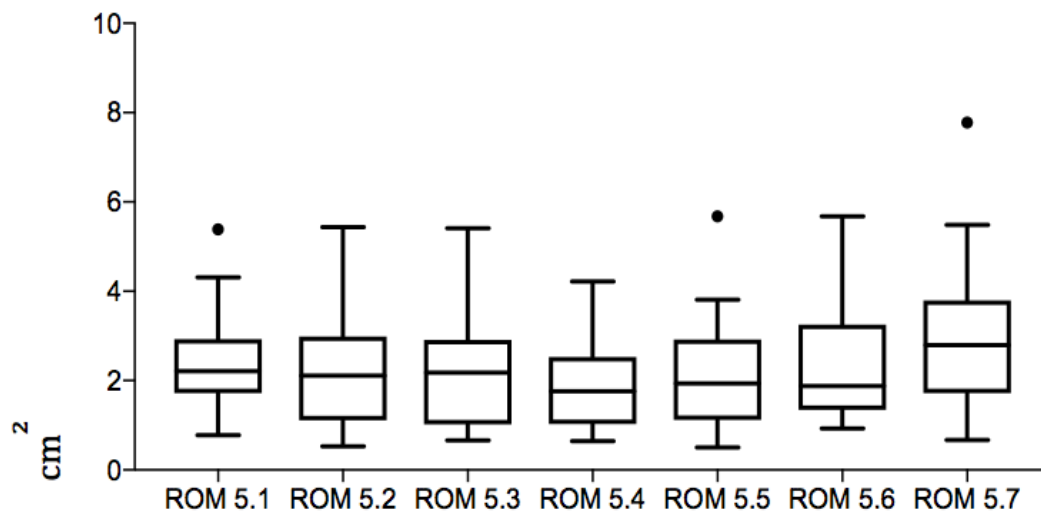


Abb. 36: Box-Plots RoM 5.

Die obige Abbildung verbildlicht alle fünften Messungen (Augen offen, dynamisch, stabile Oberfläche) über alle 7 Messreihen hinweg. Der RoM-Bereich bei diesen Messungen ist wieder etwas kleiner als bei vorherigen Tests ($1 \text{ cm}^2 - 6 \text{ cm}^2$). Folglich, Die RoM-Werte sind bei der fünften Messung relativ homogen.

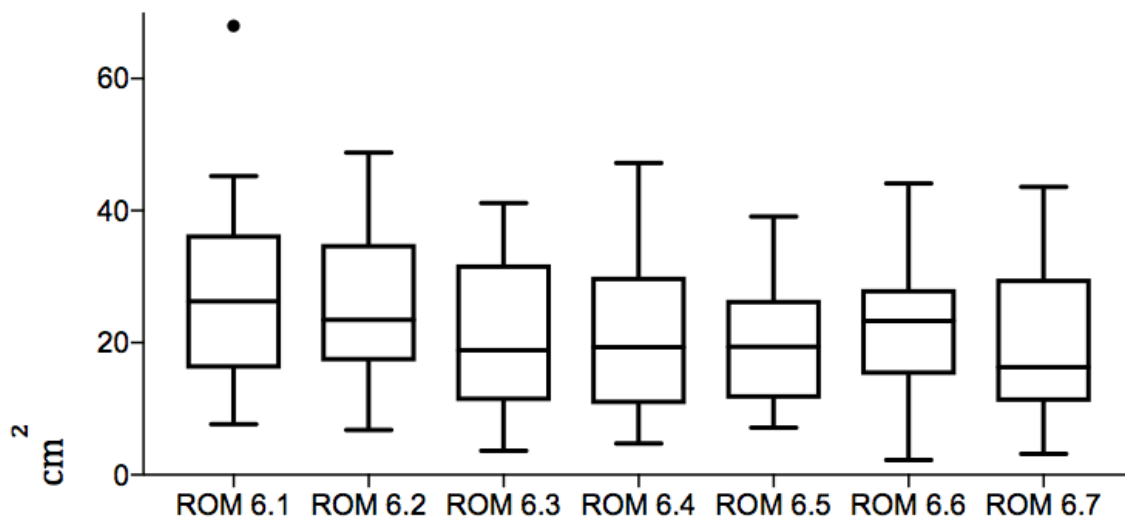
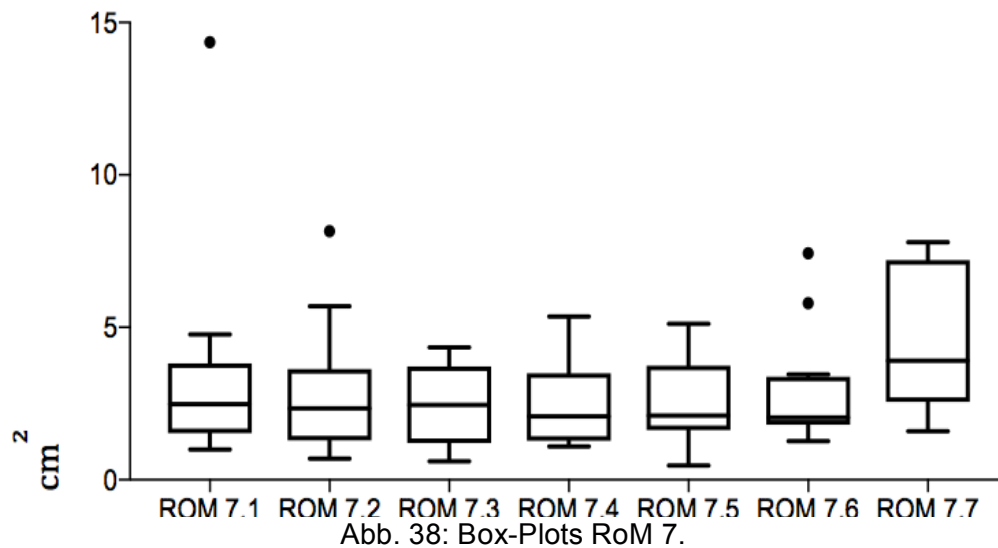


Abb. 37: Box-Plots RoM 6.

Der RoM-Bereich der sechsten Messung ist herausragend größer im Kontrast zu allen

vorangehenden Messungen. Der Bereich liegt zwischen 5 cm^2 und 50 cm^2 . Die Box-Plots sind sehr wahllos angeordnet wodurch sich auch hier keine Struktur erkennen lässt.



Die Werte der vorletzten Messung (Augen offen, dynamisch, Schaumstoffoberfläche) befinden sich in einem Bereich von 1 cm^2 - 8 cm^2 , welche im Vergleich zur nachfolgenden Messung, bei der gleiche Bedingungen herrschen, außer der Zugriff auf das visuelle System, äußerst klein sind. RoM 7.1, RoM 7.2 sowie RoM 7.6 weisen Ausreißer nach oben auf.

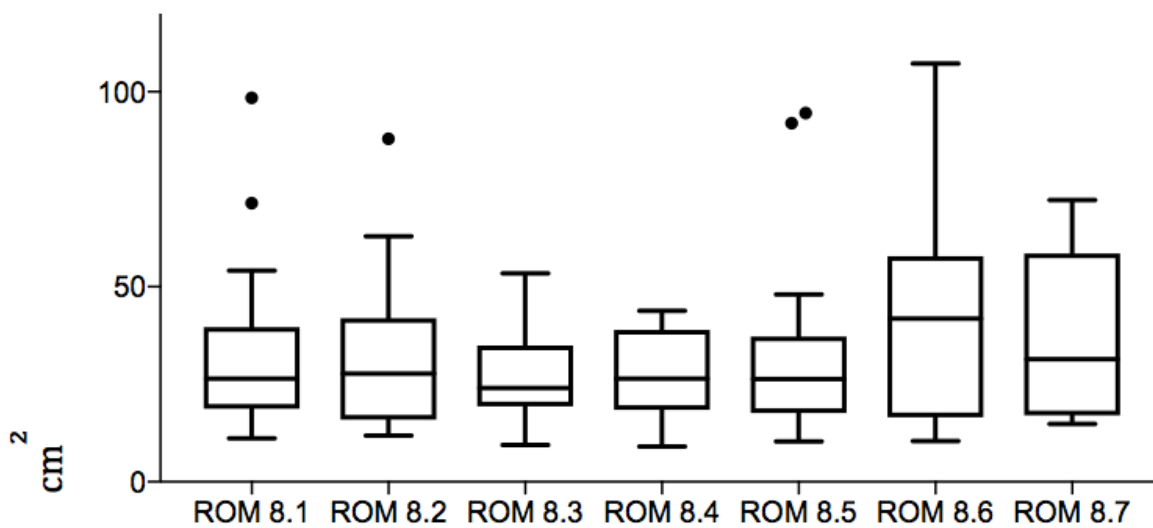


Abb. 39: Box-Plots RoM 8.

Die Box-Plots der achten und somit am schwierigsten zu bewältigende Testung (Augen geschlossen, dynamisch, Schaumstoffoberfläche) hat auch den größten RoM-Bereich. Die Werte erstrecken sich von ca. 20 cm² bis hin zu 120 cm². Herausstechend in Bezug auf den RoM-Bereich ist definitiv die Messung RoM 8.6. Drei Messungen (RoM 8.1, RoM 8.2 und RoM 8.6) beinhalten Ausreißer.

5.2 CoPT Werte

Tab. 7: Test-Retest Releabilität (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei stabiler Standfläche, festem Untergrund & offenen Augen (CoPT-1)

Intraday	ICC	CV (%)
Messvergleich: 1-2	0,65	22,1
Messvergleich: 2-3	0,32	26,9
Messvergleich: 3-4	0,82	13,1
Messvergleich: 4-5	0,88	10,9

Die obige Tabelle zeigt den Grad der Übereinstimmung der Testergebnisse bei

denselben Testpersonen, welche denselben Test fünfmal am selben Tag durchführten. Hierbei wurde jeweils eine Messung mit der Folgemessung verglichen. Die ICC -Werte sind dabei äußerst heterogen und schwanken zwischen 0,32 und 0,88 und damit zwischen schwacher und exzellenter Reliabilität. Da die höchste Reliabilität im 4. und 5. Messdurchgang erzielt wurde (ICC 0,82 beziehungsweise ICC 0,88), könnte vermutet werden, dass ein Trainings- beziehungsweise Lerneffekt hier dazu geführt hat, mit zunehmender Anzahl der Messwiederholungen, die Reliabilität erhöht wird. Dies spiegelt sich auch im Variationskoeffizient (CV) wider, welches als Streuungsmaß (relative Standardabweichung dividiert durch den Mittelwert) hier als Prozentwert angegeben wird. Ein CV unter 10% weist auf reliable Werte bei einem Test mit Messwiederholung hin (vgl. Atkinson & Nevill, S. 1998), was aber bei vorliegender Testreihe auch im 4. und 5. Messdurchgang knapp nicht der Fall ist.

Tab. 8: Test-Retest Reliabilität (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei stabiler Standfläche, festem Untergrund & offenen Augen (CoPT-1)

Intra- und Interday	ICC	CV (%)
Messvergleich: 1-2	0,65	22,1
Messvergleich: 1-3	0,70	22,5
Messvergleich: 1-4	0,67	21,7
Messvergleich: 1-5	0,58	22,0
Messvergleich: 1-6	0,5	28,5
Messvergleich: 1-7	0,31	36,5

Bei dieser Tabelle sind besonders die Interday-Daten interessant zu ergründen. Diese setzt nämlich die erste Messung von CoPT 1 am ersten Tag mit allen weiteren CoPT 1 Messungen in Verbindung. Dazu zählen auch die Werte der beiden Folgemessungen, die mit der Erstmessung am ersten Testtag miteinander verglichen werden. Bei den ICC-Werten in dieser Tabelle, kann kein Wert als exzellent, jedoch alle Werte bis auf den letzten, als gut eingestuft werden. Die CV-Daten weisen beim CoPT 1-Wert alle eine schwache Reliabilität auf. Hervorgehoben, kann der Vergleich zwischen dem ersten und siebten Versuch werden, da hier die Daten enorm voneinander abweichen und keine Reliabilität besteht.

Tab. 9: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei stabiler Standfläche, festem Untergrund & geschlossenen Augen (CoPT-2)

Intraday	ICC	CV (%)
Messvergleich: 1-2	0,40	25,8
Messvergleich: 2-3	0,57	16,7
Messvergleich: 3-4	0,74	14,7
Messvergleich: 4-5	0,70	15,1

Die CoPT 2-Werte zeigen bei den ICC-Werten annehmbare bis gute Reliabilität auf. Die CV-Daten bestätigen diese Annahme und weisen auf ähnliche Resultate hin. Die geringste Zuverlässigkeit konnte zwischen der ersten und zweiten CoPT 2 Messung erfasst werden.

Tab. 10: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei stabiler Standfläche, festem Untergrund & geschlossenen Augen (CoPT-2)

Intra- und Interday	ICC	CV (%)
Messvergleich: 1-2	0,40	25,8
Messvergleich: 1-3	0,36	27,5
Messvergleich: 1-4	0,46	25,5
Messvergleich: 1-5	0,28	28,3
Messvergleich: 1-6	0,40	26,6
Messvergleich: 1-7	0,33	28,8

Betrachtet man die Ergebnisse der ICC-Werte so kann kein einziger Wert, bis auf jener mit einem ICC von 0,46 der obigen Tabelle als annehmbar reliabel eingeordnet werden. Laut den CV-Daten kann kein einziger Wert als reliabel klassifiziert werden. Hier unterscheiden sich die beiden Reliabilitätsmaße, da beim ICC nach Shrout und Fleiss

(1979) ein Wert als zuverlässig eingestuft wird, wenn dieser über 0,45 liegt.

Tab. 11: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei stabiler Standfläche, Schaumstoffoberfläche & offenen Augen (CoPT-3)

Intraday	ICC	CV (%)
Messvergleich: 1-2	0,66	15,5
Messvergleich: 2-3	0,69	15,1
Messvergleich: 3-4	0,33	22,1
Messvergleich: 4-5	0,32	24,8

In der CoPT 3 Tabelle zeigen die Werte zwischen Messung 1-2 und Messung 2-3 eine gute Reliabilität, während die Messvergleiche 3-4 und 4-5 eine geringe Verlässlichkeit der Daten bietet. Der CV unterstützt diese Analyse.

Tab. 12: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei stabiler Standfläche, Schaumstoffoberfläche & offenen Augen (CoPT-3)

Intra- und Interday	ICC	CV (%)
Messvergleich: 1-2	0,66	15,5
Messvergleich: 1-3	0,82	11,1
Messvergleich: 1-4	0,33	23,2
Messvergleich: 1-5	0,46	19,1
Messvergleich: 1-6	0,69	13,7
Messvergleich: 1-7	0,45	16,8

Die Intra- und Interday-Daten von CoPT 3 schwanken sehr stark untereinander. Laut dem CV kann keiner dieser Werte als reliabel klassifiziert werden, wogegen der ICC beinahe alle Werte als reliabel einstuft. Lediglich der Wert zwischen dem ersten und vierten Messdurchgang liegt unter der ICC- Richtlinie und wird daher als nicht reliabel

angesehen. Die höchste Reliabilität ist zwischen den Tests 1 und 3 gegeben. Dies wird sowohl durch den ICC- Wert zum Vorschein gebracht, als auch durch den CV.

Tab. 13: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei stabiler Standfläche, Schaumstoffoberfläche & geschlossenen Augen (CoPT-4)

Intraday	ICC	CV (%)
Messvergleich: 1-2	0,67	15,4
Messvergleich: 2-3	0,56	18,5
Messvergleich: 3-4	0,85	9,4
Messvergleich: 4-5	0,74	12,3

Bei der statischen Testung mit geschlossenen Augen auf einer Schaumstoffmatte (CoPT 4) konnte man folgende Ergebnisse erzielen. Laut den Intraday-Daten von CoPT 4 werden alle Daten mittels dem ICC als zuverlässig segmentiert, während die CV-Werte teilweise gegensätzliche Resultate liefern. Der CV-Wert liegt bei drei von vier Messvergleichen über 10%, was auf keine reliablen Daten hinweist, obwohl die ICC-Daten zum Teil recht hoch sind.

Tab. 14: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei stabiler Standfläche, Schaumstoffoberfläche & geschlossenen Augen (CoPT-4)

Intra- und Interday	ICC	CV (%)
Messvergleich: 1-2	0,67	15,4
Messvergleich: 1-3	0,58	15,7
Messvergleich: 1-4	0,76	11,6
Messvergleich: 1-5	0,60	15,5
Messvergleich: 1-6	0,71	16,0
Messvergleich: 1-7	0,66	16,9

Die Einordnung der Reliabilität der ICCs und CVs scheinen nach der obigen Tabelle voneinander etwas abzuweichen. Demnach liegen alle ICC-Werte im Bereich einer annehmbaren bzw. guten Reliabilität, wogegen kein einziger Wert nach CV-Klassifizierung als zuverlässig gesehen wird. Die CoPT 4-Werte dieser Tabelle scheinen keine extremen Schwankungen aufzuzeigen und liegen alle in dem Bereich zwischen 0,58 und 0,76.

Tab. 15: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei dynamischer Standfläche, festem Untergrund & offenen Augen (CoPT-5)

Intraday	ICC	CV (%)
Messvergleich: 1-2	0,71	15,8
Messvergleich: 2-3	0,84	11,4
Messvergleich: 3-4	0,63	17,0
Messvergleich: 4-5	0,86	9,6

Die CoPT 5- Daten aus Tabelle 10 zeigen recht hohe ICC-Werte auf zwischen 0,63 und 0,86. Dies deutet auf eine gute bis exzellente Reliabilität hin. Stellt man einen Vergleich zu den CV-Daten her, so ist erkennbar, dass sich nur der Messvergleich 4-5 im Reliabilitätsbereich und die restlichen CV-Daten außerhalb dieses Raums liegen.

Tab. 16: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei dynamischer Standfläche, festem Untergrund & offenen Augen (CoPT-4)

Intra- und Interday	ICC	CV (%)
Messvergleich: 1-2	0,71	15,8
Messvergleich: 1-3	0,76	15,1
Messvergleich: 1-4	0,44	20,7
Messvergleich: 1-5	0,51	19,2
Messvergleich: 1-6	0,47	26,8

Messvergleich: 1-7	0,67	18,7
--------------------	------	------

Die Intra- und Interday-Daten zu CoPT 5 zeigen unterschiedliche Reliabilitäten zwischen den Messungen auf. Vergleichsweise schwanken die ICC-Werte von 0,44, von keiner Reliabilität bis hin zu 0,76, einer annehmbaren bzw. guten Reliabilität. Die CV-Daten liegen zwischen 15,1% und 26,8%, was in allen Fällen auf keine reliablen Daten verweist.

Tab. 17: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei dynamischer Standfläche, festem Untergrund & geschlossenen Augen (CoPT-6)

Intraday	ICC	CV (%)
Messvergleich: 1-2	0,62	19,9
Messvergleich: 2-3	0,90	12,3
Messvergleich: 3-4	0,95	7,7
Messvergleich: 4-5	0,88	13,1

Tabelle 12 zeigt die Intraday-Daten von CoPT 6. Die vermerkten ICC-Werte sind überaus hoch und beschreiben eine exzellente Reliabilität mit Werten zwischen 0,88 bis 0,95. Lediglich ein Wert kann als nur gut eingeordnet werden (0,62). Entsprechend der CV-Werte liegen konträre Eindrücke vor, denn nur ein Wert, (7,7) wird als reliabel gesehen, während alle weiteren Prozentangaben mit 12,3 - 19,9% über der Reliabilitätsgrenze des CVs liegen.

Tab. 18: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei dynamischer Standfläche, festem Untergrund & geschlossenen Augen (CoPT-6)

Intra- und Interday	ICC	CV (%)
Messvergleich: 1-2	0,62	19,9
Messvergleich: 1-3	0,69	23,5
Messvergleich: 1-4	0,65	23,9

Messvergleich: 1-5	0,65	16,6
Messvergleich: 1-6	0,44	25,6
Messvergleich: 1-7	0,45	28,9

Im Vergleich zu den Intraday-Daten von CoPT 6 fallen die Werte der Intra- und Interday-Daten eher gering aus. Dennoch befinden sich die überwiegende Anzahl der ICC-Werte im Bereich einer guten Reliabilität (0,45 bis 0,69). Nur ein einziger Wert ist unter 0,45 und folglich nicht reliable. Die CV-Werte bewegen sich zwischen 16,6 und 28,9% und werden allesamt als nicht zuverlässig definiert.

Tab. 19: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei dynamischer Standfläche, Schaumstoffoberfläche & offenen Augen (CoPT-7)

Intraday	ICC	CV (%)
Messvergleich: 1-2	0,74	13,2
Messvergleich: 2-3	0,49	15,0
Messvergleich: 3-4	0,71	12,0
Messvergleich: 4-5	0,73	11,7

Der Index zu den Intraday-Werten von CoPT 7 veranschaulicht, dass eine annehmbare bzw. gute Reliabilität aller erfassten Zahlen des ICCs besteht (ICC= 0,49- 0,74). Hingegen können die Werte des CVs als nicht reliabel eingestuft werden, da diese zwischen 11,7 und 15% schwanken.

Tab 20: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei dynamischer Standfläche, Schaumstoffoberfläche & offenen Augen (CoPT-7)

Intra- und Interday	ICC	CV (%)
Messvergleich: 1-2	0,74	13,2
Messvergleich: 1-3	0,61	15,3

Messvergleich: 1-4	0,60	16,2
Messvergleich: 1-5	0,60	16,1
Messvergleich: 1-6	0,74	13,2
Messvergleich: 1-7	0,38	18,3

Alle Erhebungen der Intra- und Interday-Daten zu den CoPT 7-Werten des ICCs, bis auf den Messvergleich 1-7, können einer annehmbaren Reliabilität zugeteilt werden (0,60 - 0,74). Zudem weisen sie bis auf den einen Ausreißer einen geringen Schwankungsbereich der Daten auf. Auch beim CV liegen die Werte sehr nahe beieinander und schwanken kaum. Diese sind jedoch nicht reliabel.

Tab. 21: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei dynamischer Standfläche, Schaumstoffoberfläche & geschlossenen Augen (CoPT-8)

Intraday	ICC	CV (%)
Messvergleich: 1-2	0,65	13,0
Messvergleich: 2-3	0,71	11,7
Messvergleich: 3-4	0,84	9,8
Messvergleich: 4-5	0,56	16,0

Die CoPT 8- Werte der Intraday-Daten werden ausnahmslos als reliabel gesehen. Die Werte befinden sich zwischen 0,56, einer annehmbaren Reliabilität und 0,84, einer exzellenten Reliabilität. Der CV des Messvergleichs: 3-4 mit einem Wert von 9,8 wird im Gegensatz zu den übrigen Werten, nach CV-Richtlinien als reliabel beschrieben.

Tab. 22: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei dynamischer Standfläche, Schaumstoffoberfläche & geschlossene Augen (CoPT-8)

Intra- und Interday	ICC	CV (%)
---------------------	-----	--------

Messvergleich: 1-2	0,65	13,0
Messvergleich: 1-3	0,68	12,7
Messvergleich: 1-4	0,63	15,5
Messvergleich: 1-5	0,76	11,1
Messvergleich: 1-6	0,20	23,4
Messvergleich: 1-7	0,46	17,4

Bei den Intra- und Interday-Daten von CoPT 8 des ICCs sticht besonders ein Wert heraus. Der Messvergleich: 1-6 besitzt einen geringen ICC-Wert von 0,20. Vergleichsweise zu den anderen ICC-Daten, die Zahlen im Bereich von 0,46 und 0,76 erzielen und somit über eine Reliabilität verfügen, hebt sich dieser Wert enorm davon ab. Kein einziger Wert der CV-Daten entspricht der Reliabilität, sondern befindet sich außerhalb dieser Grenze (11,1 - 23,4%).

5.2 RoM Werte

Tab. 23: Test-Retest Reliabilität (ICC & CV) von RoM-Werten (cm²) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei stabiler Standfläche, festem Untergrund & offenen Augen (RoM-1)

Intraday	ICC	CV
Messvergleich: 1-2	0,42	81,6
Messvergleich: 2-3	0,20	92,9
Messvergleich: 3-4	0,45	62,9
Messvergleich: 4-5	0,56	80,4

Die ICCs der RoM 1-Werte der obenstehenden Tabelle fallen eher gering aus. Bis auf einen Wert der im Mittelbereich der annehmbaren Reliabilität vorkommt, liegen alle weiteren Werte an der Grenze oder unterhalb der Richtlinie für Reliabilität. Auch die CV-Daten nehmen unheimlich hohe Werte an, was auf eine nicht reliable Daten hindeutet.

Tab. 24: Test-Retest Releabilität (ICC & CV) von RoM-Werten (cm²) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei stabiler Standfläche, festem Untergrund & offenen Augen (RoM-1)

Intra- und Interday	ICC	CV
Messvergleich: 1-2	0,42	81,6
Messvergleich: 1-3	0,62	68,4
Messvergleich: 1-4	0,23	96,4
Messvergleich: 1-5	0,35	71,0
Messvergleich: 1-6	0,13	83,1
Messvergleich: 1-7	-0,08	133,9

Die Intra- und Interday-Daten von RoM 1 schwanken äußerst stark untereinander. Betrachtet man den ICC näher, so sind sogar Minuswerte erkennbar. Die Schwankungsbreite der erfassten ICC-Daten ist zwischen -0,08 und 0,62. Bei den CV-Daten ist besonders Messvergleich 1-7 hervorzuheben, da dieser Wert bereits über 100 bei 133,9 liegt. Alle weiteren CV- Werte befinden sich ebenfalls in einem hohen Bereich (68,4 - 96,4).

Tab. 25: Test-Retest Releabilität (ICC & CV) von RoM-Werten (cm²) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei stabiler Standfläche, festem Untergrund & geschlossenen Augen (RoM-2)

Intraday	ICC	CV
Messvergleich: 1-2	-0,03	104,1
Messvergleich: 2-3	0,36	59,2
Messvergleich: 3-4	0,87	34,5
Messvergleich: 4-5	0,42	55,2

Bei den Intraday-Daten von RoM 2 ist kein Muster erkennbar. Die Werte verändern sich extrem, weil der ICC beispielsweise zwischen -003 und 0,87 auf und ab schwankt. Der

CV untermauert diese Daten, da auch diese Werte äußerst hoch ausfallen, und somit zwischen 34,5 und 104,1 vorkommen. Allerdings ist laut ICC eine exzellente Reliabilität bei Messvergleich 3-4 gegeben, wogegen der CV aussagt, dass keine Reliabilität besteht.

Tab. 26: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von RoM-Werten (cm²) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei stabiler Standfläche, festem Untergrund & geschlossenen Augen (RoM-2)

Intra- und Interday	ICC	CV
Messvergleich: 1-2	-0,03	104,1
Messvergleich: 1-3	0,01	119,8
Messvergleich: 1-4	-0,03	113,0
Messvergleich: 1-5	-0,08	134,8
Messvergleich: 1-6	-0,13	155,1
Messvergleich: 1-7	-0,11	169,9

Bei den Intra- und Interday-Daten von RoM 2 ist auffällig, dass bis auf einen einzigen Wert alle Zahlenwerte des ICCs im negativen Bereich liegen (-0,03 - -0,11). Negative Werte sind gleich zu setzen mit einem ICC von 0, sprich absolut keine Reliabilität (vgl. Shrout & Fleiss, 1979). Auch der CV zeigt nur Werte über 100 an. Somit befinden sich die CV- Daten zwischen 104,1 und 169,9.

Tab. 27: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von RoM-Werten (cm²) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei stabiler Standfläche, Schaumstoffoberfläche & offenen Augen (RoM-3)

Intraday	ICC	CV
Messvergleich: 1-2	0,89	52,1
Messvergleich: 2-3	0,67	42,2
Messvergleich: 3-4	0,27	81,1
Messvergleich: 4-5	0,51	56,1

Die Intraday RoM 3- Werte der Tabelle offenbaren wechselhafte Werte. Die ICC- Daten erreichen 0,27, was auf keine Reliabilität hinweist, und 0,89, was eine exzellente Reliabilität beschreibt, vor. Die CV- Daten davon präsentieren auch höhere Werte zwischen 42,2 und 81,1% liegend.

Tab. 28: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von RoM-Werten (cm²) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei stabiler Standfläche, Schaumstoffoberfläche & offenen Augen (RoM-3)

Intra- und Interday	ICC	CV
Messvergleich: 1-2	0,89	52,1
Messvergleich: 1-3	0,74	42,1
Messvergleich: 1-4	0,24	74,5
Messvergleich: 1-5	0,28	70,0
Messvergleich: 1-6	0,45	53,0
Messvergleich: 1-7	0,22	67,9

Analysiert man die Intra- und Interday- Daten von RoM 3, so wird gut ersichtlich, dass beim ICC die Messvergleiche 1-2 und 1-3 relative hohe Werte ergeben und somit eine gute bis exzellente Reliabilität haben. Dagegen sind ab Messvergleich 1-4 bis 1-7 alle Werte nicht reliabel, da die Daten geringe Werte aufweisen. Die CV- Daten für die Werte befinden sich im Bereich von 42,1 und 74,5, was auf große Abweichungen von reliablen Daten deutet.

Tab. 29: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von RoM-Werten (cm²) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei stabiler Standfläche, Schaumstoffoberfläche & geschlossenen Augen (RoM-4)

Intraday	ICC	CV
Messvergleich: 1-2	0,36	41,1
Messvergleich: 2-3	0,40	47,0
Messvergleich: 3-4	0,49	35,6

Messvergleich: 4-5	0,63	34,2
--------------------	------	------

Die obige Tabelle veranschaulicht Intraday-Daten von RoM 4. Schaut man sich die ICC - Werte genau an, erkennt man eher niedrige Größen. Diese schwanken zwischen den Werten 0,36 und 0,63, und entsprechen keiner Reliabilität bzw. einer annehmbaren Reliabilität. Richtet man sich nach den CV- Werten, so dürfte keiner der Werte angenommen werden, da diese recht stark von der Reliabilität abweichen.

Tab. 30: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von RoM-Werten (cm²) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei stabiler Standfläche, Schaumstoffoberfläche & geschlossenen Augen (RoM-4)

Intra- und Interday	ICC	CV
Messvergleich: 1-2	0,36	41,1
Messvergleich: 1-3	0,51	34,5
Messvergleich: 1-4	0,71	28,2
Messvergleich: 1-5	0,47	46,3
Messvergleich: 1-6	0,51	46,1
Messvergleich: 1-7	0,71	31,0

Bei den RoM 4- Daten der beschriebenen Intra- und Interday- Werte konnte festgestellt werden, dass sich die ICCs dieses, im Bereich von 0,36 und 0,71 erkennen lassen. Somit ist durch die Analyse der Daten des ICCs von keiner Reliabilität oder einer annehmbaren bzw. guten Reliabilität die Rede. Bei dem zweiten Reliabilitätsindikator, dem CV, können keine Werte der Reliabilität zugeordnet werden.

Tab. 31: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von RoM-Werten (cm²) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei dynamischer Standfläche, festem Untergrund & offenen Augen (RoM-5)

Intraday	ICC	CV
Messvergleich: 1-2	0,83	44,8

Messvergleich: 2-3	0,62	39,8
Messvergleich: 3-4	0,74	40,2
Messvergleich: 4-5	0,16	63,0

Die Tabelle der RoM 5 Intraday-Daten ergibt, dass überwiegend gute bis exzellente Reliabilität zwischen den Messvergleichen herrscht. Jedoch ist bei Messvergleich 4-5 keine Reliabilität gegeben, da der Wert (0,16) sehr gering ausfällt. Die CV- Daten liegen im Bereich von 39,8 bis 63,0. Durch die Analyse wird erkennbar, dass keine reliablen Werte zwischen den verglichenen Messungen berechnet werden konnten.

Tab. 32: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von RoM-Werten (cm²) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei dynamischer Standfläche, festem Untergrund & offenen Augen (RoM-5)

Intra- und Interday	ICC	CV
Messvergleich: 1-2	0,83	44,8
Messvergleich: 1-3	0,66	40,6
Messvergleich: 1-4	0,40	53,9
Messvergleich: 1-5	0,27	55,3
Messvergleich: 1-6	0,37	44,8
Messvergleich: 1-7	0,75	38,1

Tabelle 27 bildet uns die Intra- und Interday-Daten von RoM 5 ab. Diese weisen bei den ICC- Daten nicht immer auf eine Reliabilität hin. Drei der erfassten Messvergleiche zeigen keine reliablen Werte auf, hingegen drei weitere Messvergleiche, deren Werte bei 0,66; 0,75; und 0,83 liegen, konnte eine gute bis exzellente Reliabilität zugesprochen werden. Die CV-Daten erstrecken sich von den Werten 38,1 - 55,3. Dies sagt aus, dass es bei allen erhobenen Messvergleichen nach dem CV-Richtlinien keine Reliabilität gibt.

Tab. 33: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von RoM-Werten (cm²) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei dynamischer Standfläche, festem Untergrund &

geschlossenen Augen (RoM-6)

Intraday	ICC	CV
Messvergleich: 1-2	0,70	43,3
Messvergleich: 2-3	0,84	25,8
Messvergleich: 3-4	0,89	26,3
Messvergleich: 4-5	0,88	23,8

Die Intraday-Werte von RoM 6 weisen beim ICC gute bis exzellente Reliabilitäten auf. Gegensätzlich dazu sind die Daten des CVs mit Werten von 23,8 - 43,3 nicht im Bereich der Reliabilität.

Tab. 34: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von RoM-Werten (cm²) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei dynamischer Standfläche, festem Untergrund & geschlossene Augen (RoM-6)

Intra- und Interday	ICC	CV
Messvergleich: 1-2	0,70	43,3
Messvergleich: 1-3	0,50	58,8
Messvergleich: 1-4	0,63	48,7
Messvergleich: 1-5	0,69	30,6
Messvergleich: 1-6	0,88	23,8
Messvergleich: 1-7	0,45	63,3

Die RoM 6- Daten von Intra- und Interday des ICCs befinden sich zwischen 0,45 und 0,88. Demnach sind alle Messvergleiche reliabel laut dem ICC. Nimmt man die CV-Daten her, so weichen alle Messwerte stark von der 10%-Reliabilitätsgrenze ab, worauf zurück zu folgern ist.

Tab. 35: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von RoM-Werten (cm²) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei dynamischer Standfläche, Schaumstoffoberfläche & offenen

Augen (RoM-7)

Intraday	ICC	CV
Messvergleich: 1-2	0,34	47,2
Messvergleich: 2-3	0,67	30,9
Messvergleich: 3-4	0,72	39,2
Messvergleich: 4-5	0,68	40,9

Die Auswertung der Messvergleiche von RoM 7 der Intraday- Daten kann anhand dieser Tabelle abgelesen werden. Dabei erstrecken sich die ICC- Daten von keiner bis hin zu einer annehmbaren bzw. guten Reliabilität der Daten. Messvergleich 1-2 wird als nicht reliabel gesehen, wogegen die übrigen Zahlen im Reliabilitätsbereich vorkommen. Für den CV wurden Daten im Bereich von 30,9 bis zu 47,2% erfasst. Aufgrund der hohen Werte, kann kein Vergleich dieser Messungen als reliabel eingeordnet werden.

Tab. 36: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von RoM-Werten (cm²) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei dynamischer Standfläche, Schaumstoffoberfläche & offenen Augen (RoM-7)

Intra- und Interday	ICC	CV
Messvergleich: 1-2	0,34	47,2
Messvergleich: 1-3	0,45	36,6
Messvergleich: 1-4	0,37	40,5
Messvergleich: 1-5	0,41	48,6
Messvergleich: 1-6	0,68	40,9
Messvergleich: 1-7	0,05	82,5

Der Index der Intra- und Interday RoM-Werte zeigt Großteils niedrige Werte des ICCs auf. Bis auf Messvergleich 1-6 (0,68), deuten alle Werte darauf hin, dass keine Reliabilität besteht (0,05 - 0,47). Die CVs schwanken zwischen 36,6 und 82,5. Durch die hohen Prozentwerte kann auch hier keine Reliabilität festgestellt werden.

Tab. 37: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von RoM-Werten (cm²) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei dynamischer Standfläche, Schaumstoffoberfläche & geschlossenen Augen (RoM-8)

Intraday	ICC	CV
Messvergleich: 1-2	0,77	33,3
Messvergleich: 2-3	0,59	40,7
Messvergleich: 3-4	0,6	26,9
Messvergleich: 4-5	0,32	42,8

Der Index der Messdaten von RoM 8 zeigt, dass beim ICC überwiegend eine Reliabilität zwischen den Messvergleichen erzielt worden ist. Bloß der Wert des Messvergleichs 4-5 ist mit 0,32 nicht reliabel. Bezüglich der CV-Daten entsprechen die Werte keiner Reliabilität und liegen zwischen der Werte 26,9 - 42,8 %.

Tab. 38: Test-Retest Reliability (ICC & CV) von RoM-Werten (cm²) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei dynamischer Standfläche, Schaumstoffoberfläche & geschlossenen Augen (RoM-8)

Intra- und Interday	ICC	CV
Messvergleich: 1-2	0,77	33,3
Messvergleich: 1-3	0,45	36,4
Messvergleich: 1-4	0,4	42,2
Messvergleich: 1-5	0,71	34,9
Messvergleich: 1-6	0,77	47,6
Messvergleich: 1-7	0,81	24,7

Laut den ICC- Werten der Intra- und Interday- Daten von RoM 8, erlangte die Mehrzahl der Messvergleiche eine gute bis exzellente Reliabilität. Der Messvergleich 1-4, konnte jedoch mit 0,4 keine Reliabilität erreichen. Die CVs der Tabelle werden alle als nicht

reliabel eingeordnet, da die Prozentwerte über der Reliabilitätsgrenze liegen.

5.5 Zusammenfassung CoPT und RoM Daten (Tanja Trampusch)

Die folgende Tabelle zeigt die Mittelwerte der ICC bzw. CV Werte im Vergleich. Bei der Intra-Auswertung wurde wie bei den obigen Tabellen vorgegangen (beispielsweise CoPT 1-2, CoPT 2-3, etc.) und bei der Intra/Inter-Auswertung wurde der CoPT 1 bzw. RoM 1 mit den anderen Messungen verglichen (zum Beispiel RoM 1-2, RoM 1-3, etc.)

Tab. 39: Mittelwerte und Standardabweichung ICC/CV von CoPT/RoM bei Intra- und Interday- Daten

	ICC-Mittelwerte	ICC-Standardabweichung	CV-Mittelwerte (%)	CV-Standardabweichung
CoPT Intra	0,7	0,2	15,2	4,8
CoPT Intra/ Inter	0,6	0,2	19,7	5,8
RoM Intra	0,6	0,2	49	20,2
RoM Intra/ inter	0,4	0,3	62	34,7

Um die Übersichtlichkeit der erhobenen Ergebnisse zu gewährleisten, werden im Folgekapitel nochmals die wichtigsten Resultate zusammengefasst. Hierbei werden sowohl die Messergebnisse der Tabellen als auch die von den Box-Plots mit einfließen, um für eine ganzheitliche Interpretation garantieren zu können.

Die bereitgestellten Daten konnten mittels dem SPSS-Programm bzw. mit Hilfe des Excel-Sheets von Hopkins (2015) ermittelt werden, um Informationen über die Reliabilität zu liefern. Bei der Analyse wurde zwischen Intraday- und Interday-Daten unterschieden, wodurch zu den jeweilig erhobenen Parametern (CoPT und RoM) eine Tabelle mit den Mittelwerten des ICCs und CVs zu Intraday und Intra/Interday-Daten erstellt wurde.

Bei den Intraday-Daten von CoPT konnte ein Mittelwert von 0,67 des ICCs erfasst werden und einem CV-Wert von 15,2%. Laut dem erhobenen Mittelwert sollte eine annehmbare bzw. gute Reliabilität der ICC-Daten durch die Tabellen festgestellt werden können. Die CV-Daten allerdings, deuten auf keine Reliabilität hin, da der Prozentwert

über dem Richtwert von 10% liegt. Da es sich bei dem 0,67 ICC-Wert nur um einen Mittelwert handelt, können auch Abweichungen bei den einzelnen CoPT auftauchen. So konnte beispielsweise beim CoPT 6 der Intraday- Daten überwiegend höhere ICC-Werte (0,88-0,95) verzeichnet werden, die auf eine exzellente Reliabilität hinweisen. Hier wäre es möglich einen potentiellen Lernfortschritt zu identifizieren. Zudem wurde erkannt, dass nur wenige CV-Werte aller Intraday-Daten innerhalb des Reliabilitätsbereichs liegen. Laut den CV- Richtlinien können nur vier erhobene Resultate der CoPT-Intraday-Daten als reliabel eingestuft werden. Aufgrund der relativ hohen Schwankungen zwischen den einzelnen CoPT- Messungen, kann darauf geschlossen werden, dass kein Lerneffekt innerhalb eines Tages besteht. Zudem unterstreichen die Box-Plots, dass erhebliche Schwankungen bei den Intraday-Daten festzustellen sind und diese bei unterschiedlichen Messungen vorkommen, wodurch kein Trend erkennbar ist. Die Intra/Interday-Ergebnisse von CoPT zeigen einen ICC-Wert von 0,56 und ein CV- Mittel von 19,7%. Wie auch schon bei den Intraday-Resultaten kann beim CV-Wert keine Reliabilität erforscht werden. Der ICC-Wert entspricht hingegen einer guten Reliabilität. Den Tabellen nach, lassen sich die ICC-Werte der Interdaydaten vor allem im schwachen Reliabilitätsbereich vorfinden, wobei der gute ICC-Mittelwert von 0,56 durch einige Ausreißer nach oben entstand. Vergleichsweise zu den Intraday- Daten konnten bei den Interday-Daten des Öffterens beachtliche Differenzen ermittelt werden. Betrachtet man den CoPT 8-Wert zwischen Messvergleich 1:6 und 1:7 der Intra- und Interday-Daten, so stößt man auf enorm niedrige ICC- Werte von 0,20-0,46. Demzufolge besteht keine Reliabilität zwischen den einzelnen Messungen, wie dies auch bei Messvergleich CoPT 7 1:7, CoPT 6, CoPT 1 Messvergleich 1:7 und CoPT 2 der Fall bei Interday-Vergleichen ist. Die Reliabilitätsmessung mittels CV zeigt Schwankungen zwischen 11,1% bis zu 28,9% aller Intra- und Interday-CoPT-Tabellen auf. Dies bestätigt den Mittelwert des CVs und beleuchtet, dass kein einziger Wert nach CV-Messungen als reliabel gewertet werden kann.

Die Box-Plots verbildlichen die Auswertung aller CoPT-Daten nochmal gemeinsam, wodurch durch die Whiskers der einzelnen Box-Plots hohe Differenzen besonders bei den Messungen 6 und 7 ersichtlich wurden.

Auch die RoM-Daten wurden zusammengefasst, sodass ein Mittelwert aller RoM-Intraday-Daten von 0,55 und ein CV-Wert von 49% erhoben werden konnte. Auffällig ist, dass bei den RoM- Daten überwiegend extreme Schwankungen der ICC-Werte eruiert werden konnten. Diese weisen zum Teil auch negative Werte, wie dies bei RoM 2 ersichtlich wird, auf. Erneut kann durch die großen Schwankungen kein Muster erkennbar

werden und auch von keinem Lernfortschritt die Rede sein. Würde sich der ICC-Wert der Daten von Messung zu Messung erhöhen, könnte auf einen Fortschritt gefolgert werden. Dieses Schema kann nur bei wenigen RoM-Tabellen verfolgt werden, wobei auch gegenteilige Wirkungen stattfinden, wo sich die ICC-Werte zwischen den Messungen verschlechtern (RoM 3 und RoM 5). Die CV-Werte der RoM- Daten liegen weit über der 10%-Grenze und können sogar über 100% liegen (RoM 2). Betrachtet man zum Vergleich die Werte der Box-Plots, so findet man in jedem der RoM- Box- Plots Ausreißer, die große Schwankungen kennzeichnen.

Der Mittelwert der Intra/Interday- Daten von RoM entspricht 0,43 beim ICC und einem Wert von 62% beim CV, welche beide auf schwache Reliabilität hinweisen. Wie auch bei den CoPT-Werten verringert sich bei den Intra- und Interday-Daten die Reliabilität. Auch hier stößt man auf äußerst unterschiedliche Ergebnisse, die von den einzelnen Bedingungen abhängig sind. Die Ausprägung der Schwankungen ist beim RoM Parameter nochmals deutlich höher als beim CoPT. Beispielsweise konnten für RoM 1 und RoM 2 Negativwerte bei den Messvergleichen zwischen dem ersten Testtag und den Folgetagen festgestellt werden. Dennoch können auch Verbesserungen bei einzelnen RoM- Messungen der ICC- Werte, wie dies bei RoM 5, RoM 6 Messvergleich 1:6, RoM 7 Messvergleich 1:7 und RoM 8 hervorgebracht wird, erfasst werden. Auch bezüglich der CV-Werte kann beim RoM der Intra- und Interday- Daten keine Reliabilität erfasst werden, jedoch wiederum Werte über 100 (RoM 1, RoM 2) erforscht werden. Die Box-Plots von RoM zeigen auf, dass sich die Werte über weite Bereiche erstrecken und somit sehr viele Schwankungen bestehen.

5.6 ANOVA Auswertung mittels SPSS (Jacob Wolkenstein)

Bei der Messung CoPT 1 wurde laut ANOVA ($p < 0,0001$) die Sphärizität beim Mauchly-Test verletzt und so eine Korrektur durch Greenhouse Geisser ($p < 0,05$) durchgeführt. Der Greenhouse-Geisser des CoPT 1 liegt bei $p = 0,123$, sodass gesagt werden kann, dass bei dieser Messung keine signifikanten Unterschiede festzustellen sind. Bei CoPT 2 wurde die Sphärizität nicht verletzt, da der Wert bei 0,007 liegt, was bedeutet, dass es keinen signifikanten Effekt gibt ($p = 0,247$). Auch bei CoPT 3 liegt der Wert der Sphärizität bei 0,004 und wird deshalb angenommen. Das $p = 0,019$; es liegen also auch hier keine signifikanten Unterschiede vor. Dies gilt auch für CoPT 4, bei welchem die Sphärizität auch angenommen wird und keine signifikanten Unterschiede bei der ANOVA Überprüfung zu berichten sind ($p = 0,08$). Der Wert der Sphärizität bei der

fünften Messung liegt bei $p = 0,0$ und wird deshalb abgelehnt. Auch der Greenhouse-Geisser Wert liegt unter $0,05$, nämlich bei $p = 0,001$. Die Analyse der Wertepaare ergibt, dass ein signifikanter Unterschied bei der fünften Messung zwischen den Messreihen 4: 7 und 5: 7 vorliegt. Dieser signifikante Unterschied ist nicht einfach zu erklären und mit höchster Wahrscheinlichkeit wahllos entstanden. Auch bei den folgenden Messungen, 6, 7 und 8 liegt der Wert der Sphärizität über $p = 0,0001$, jedoch die Signifikanz bei allen drei Tests. Die Messreihenpaare 5:1 sowie 5:2 bei CoPT 6, 2: 7, 2: 4: und 5: 7 bei CoPT 7 und 4: 6 bei CoPT 8 weisen signifikante Unterschiede auf. Diese sind nicht erklärbar und mit großer Wahrscheinlichkeit durch Zufall entstanden.

Auch die Messvariable RoM wurde mittels der ANOVA ($p < 0,0001$) auf die Signifikanz der verschiedenen Messungen bzw. Messdurchgänge überprüft. Die ersten drei Messungen RoM 1, RoM 2, RoM 3 ergaben alle einen Wert der Sphärizität von $0,0$, wonach bei allen eine Greenhouse-Geisser Korrektur vollzogen werden muss. Bei allen drei Werten ergab die Korrektur, dass keine signifikanten Unterschiede zu eruieren sind. Bei den Werten für die Messung 4 und 5 wurde die Sphärizität (RoM 4: $0,131$; RoM 5: $0,118$; RoM 6: $0,001$) angenommen und ein p von RoM 4 $p = 0,567$, RoM 5 $p = 0,053$ und RoM 6 $p = 0,001$ angenommen, welches auf keine signifikanten Unterschiede hindeutet. Bei RoM 7 wurde eine Greenhouse-Geisser Korrektur durchgenommen, bei welcher ein p von $0,184$ abzulesen war, was auf keine signifikanten Unterschiede hinweist. Der allerletzte Wert RoM 8 weist eine Sphärizität von $0,178$ auf und eine Signifikanz von $0,012$, was wiederum auf keine signifikanten Unterschiede hinweist.

6 Diskussion und Conclusio (Jacob Wolkenstein und Tanja Trampusch)

Eines der Ziele dieser Studie war es zu überprüfen, ob ein Lerneffekt bei einer Intraday- und/oder Interday-Datenerhebung zu erkennen ist. Weiters soll generell eruiert werden, ob sich Unterschiede bei den erhobenen Daten innerhalb eines Tages bzw. über mehrere Tage hinweg in Bezug auf die Messvariablen CoPT und RoM feststellen lassen. Zusätzlich zu der Auflistung und Beschreibung der erhaltenen Daten wurden beide Variablen anhand des ICCs und CVs auf deren Reliabilität überprüft. Aufgrund der heterogenen Ergebnisse und folglich entstehenden schwachen Reliabilität wurde der Fokus dieser Arbeit stark auf die Reliabilität allgemein gerichtet und so werden im letzten Teil der Diskussion Störfaktoren und für Folgestudien zu limitierende Fehlerquellen adressiert.

In Bezug auf die ICC- und CV-Werte bei Intraday-Messungen kamen bei mehreren Studien (vgl. Corriveau et al., 2000; Lafond et al., 2004; Lin et al., 2008; Doyle et al., 2005) unterschiedliche Werte bzw. Resultate zu Tage. Doyle et al. (2005) verwendet bei deren Studie über die Reliabilität bei einer posturographischen Messung unter anderem die Bewegungsfläche und stößt dabei auf unterschiedliche ICC-Werte: -0,1 (nicht reliabel) bis hin zu 0,95 (exzellente Reliabilität). Der CV hingegen ist bei fast allen vier Konditionen überraschenderweise über 10% bezogen auf die Messvariable RoM. Dies weist auf nicht reliable Messdaten hin. Die Intra-Werte bei der hier durchgeführten Studie verweisen auf gute bis eher schlechte Reliabilität und sind, wie bei den Tabellen sowie den Box-Plots erkennbar, äußerst inkonstant. Ähnliche Ergebnisse, zu den hier durchgeführten Resultaten, lassen sich bei der Studie von Lin et al. (2008) nicht vorfinden, denn diese berichtet durchwegs von einer guten bis exzellenten Reliabilität bei jüngeren, sowie älteren Personen bei vier durchgeführten Tests (bei jüngeren Personen ICC 0,79; bei älteren Personen ICC 0,92). Eine mögliche Erklärung wäre, dass diese Studie (Lin et al., 2008) den Fokus auf den Vergleich von jüngeren und älteren Personengruppen hatte und die Tests mit gleichbleibender Bedingung, nämlich mit geschlossenen Füßen sowie geschlossenen Augen und herunterhängenden Armen, vier Mal standardisiert durchgeführt wurde, wohingegen die hier beschriebene Studie acht Konditionen fünf Mal an einem Tag durchführte. Zu der vorliegenden Untersuchung vergleichbare Ergebnisse brachte die Studie von Lafond et al. (2000). Bei dieser Studie sollte die optimale Dauer einer Testung eruiert werden. Die ICC-Werte der Bewegungsfläche sind Großteils, sowie bei unserer durchgeführten Studie, im schwachen Bereich bezüglich Reliabilität, doch verbessern sich diese bei Erhöhung der Dauer (30 Sekunden: ICC 0,22; 60 Sekunden: ICC 0,47; 120 Sekunden: ICC 0,41) eines Tests. Auch Corriveau et al. (2000) berichten von einer Verbesserung der Reliabilität bei Erhöhung der Testdauer. Dies ist eine mögliche Erklärung für die schwankenden und eher schwachen Intrareliabilitätswerte unserer Studie, da eine Messung lediglich 30 Sekunden andauerte.

Hinsichtlich CoPT sind die Ergebnisse ähnlich aufgeteilt. CoPT war bei der Studie von Doyle et al. (2005) der Messparameter mit der höchsten Reliabilität mit einem guten bis exzellenten ICC-Wert in allen vier Bedingungen. Dies ist gegensätzlich zu den von hier hervorgebrachten CoPT-Werten, welche sich im guten bis eher schwachen Reliabilitätsbereich bewegen (ICC-CoPT-Intra Mittelwerte: 0,6). Eine weitere Studie (vgl. Lafond et al., 2000) publizierte vergleichbare Ergebnisse. Der Schwankungsbereich der CoPT-Werte beträgt 0,39 bis 0,58 in AP Richtung und 0,35 bis 0,61 in ML-Richtung, welche auf gute bis schlechte Reliabilität hinweisen. Die Studie von Corriveau et al.

(2000), wiederum, beschreibt gute bis exzellente Werte bezüglich der Messvariable CoPT in AP und ML-Richtung bei Intraday-Messungen. Bei dieser Studie wurden jedoch nur sieben ältere Personen getestet. Die Messverfahren hatte auch nur eine Kondition: parallele Fußstellung und Augen offen. Weiters ist anzumerken, dass ältere Personen getestet wurden und schon in der Studie von Lin et al. (2008) eine allgemein bessere Reliabilität bei älteren Personen im direkten Vergleich zu jüngeren Personen festgestellt wurde.

Allgemein lässt sich zu den hier erfassten Intra-Reliabilität-Werten sagen, dass die, wie bereits oben beschriebenen, stark schwankenden Werte sowie die allgemein schwache Reliabilität auf keinen Lerneffekt bei den Personen hinweisen. Wie aussagekräftig die Werte bezüglich der Überprüfung des Lerneffektes generell sind, ist fraglich, da zuerst herausgefunden werden muss, wo die Fehlerquellen der hier durchgeführten Studie liegen. Dazu mehr im letzten Teil der Diskussion.

Weiters wurden in der Arbeit zwei Studien adressiert, welche den CV als Messgröße bei der Überprüfung der Reliabilität anwenden. Die Studie von Samson und Crowe (1996) brachte bei der Testung unter gewissen Bedingungen reliable CV-Werte hervor. So waren die Werte bei geschlossenen Füßen und offenen Augen im reliablen Bereich (2,83%-8,52%; Mittelwert), wohingegen die CV-Werte bei der hier vorliegenden Studie der äquivalenten Kondition im Bereich 10,9%-26,9% liegen (Samson et al., 1996, S. 255). Auch weitere Konditionen von Samson und Crowe (1996), die mit der hier durchgeführten Studie vergleichbar sind, weisen teilweise reliable Werte auf, doch sind zum Großteil Werte >10% und deshalb, laut Atkinson und Nevill (1998) nicht reliabel. Dennoch muss angemerkt werden, dass die teilweise reliablen Werte womöglich auf die extrem genaue Protokollführung und folglich exakt idente Testausführung der unterschiedlichen Messreihen zurückzuführen sind. Weiters dauerte bei dieser Studie eine Testung eine volle Minute, wohingegen bei der hier von uns abgehaltenen Studie die Dauer lediglich 30 Sekunden betrug. Die zweite Studie, welche von Rogind et al. (2002) publiziert wurde, hatte den Fokus darauf, zwei verschiedene Messplatten auf deren Reliabilität hin zu untersuchen. Gleich vorweg muss bei dieser Studie angemerkt werden, dass die Autoren die Reliabilität aller anderen Parameter und Faktoren, zum Beispiel die der Messvariable selbst, der Testpersonen, der UntersucherInnen, etc. voraussetzte. Die Studie ist insofern mit der hier durchgeführten vergleichbar, da 29 weibliche Testpersonen zwei Balance-Test, sprich eine posturographische Testung, absolviert haben. Weiters ist die Testdauer von 25 Sekunden mit der im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit verwendeten Testdauer vergleichbar. Auch wurden verschiedene Bedingungen geschaffen und zwei

Messreihen zu je zwei Tests durchgeführt. Die Ergebnisse sind, wie die hier beschriebene Studie, im nicht reliablen Bereich für beide Messgeräte (CV 13% bis 23% für KIS; CV 11%-25% für CBS) (vgl. Rogind et al., 2002, S. 107).

Die zwei Studien wurden beide schon vor über fünfzehn Jahren publiziert und haben differenzierte Ziele im Vergleich zu der hier vorliegenden Studie. Dennoch überprüfen beide Publikationen die Reliabilität anhand des CVs und es lassen sich Ähnlichkeiten erkennen. Wie bereits angesprochen, lassen sich die niedrigen CV-Werte der Studie durchgeführt von Samon et al. (1996) möglicherweise auf die längere Testungsdauer sowie auf deren ausführliches Messprotokoll zurückführen. Die zweite Studie (Samson et al., 1996) hatte ähnliche Testbedingungen und verzeichnete, wie unsere Studie, überwiegend nicht reliable Werte. Durch die nicht erwähnten möglichen Störfaktoren bzw. Limitationen in der Studie (vgl. Rogind et al., 2002, S. 107) selbst kann man nur auf ähnliche Fehlerquellen, wie die der von hier durchgeführten, ausgehen.

Bei den Interday-Messungen wurden bei der Mehrzahl an Studien eine zweimalige Datenerhebung durchgeführt (vgl. Baldini et al., 2013; Quatman-Yates et al., 2013; Santos et al., 2007; Lin et al., 2015; Rugelj et al., 2015). Jedoch konnten auch Publikationen von Akkaya et al. (2015) und Barbado et al. (2017) gefunden werden, die gleich unserer Studie dreimalig Messdaten erhoben haben. Den Ergebnissen nach konnte bei der Untersuchung von Barbado et al. (2017) eine annehmbare Reliabilität festgestellt werden (ICC 0,44-0,60), jedoch wird kein Vergleich zu der unsrigen Untersuchung hergestellt, da die Testung von Barbado et al. (2017) im Sitzen durchgeführt wurde und aufgrund dessen andere Voraussetzungen gegeben waren, wodurch eine Gegenüberstellung der Reliabilitätswerte als nicht sinnvoll erscheint. Auch die Studie von Akkaya et al. (2015) erfolgte unter anderen Bedingungen, nämlich durch Miteinbeziehung unterschiedlicher Kopfpositionen. Um einen Vergleich mit dieser Studie gewährleisten zu können, wurden allein die ICC-Daten der aufrechten Kopfposition herangezogen und mit der hier durchgeführten Studie verglichen. Auf festem Untergrund konnte ein ICC mit offenen oder geschlossenen Augen von 0,74-0,81 und auf der Schaumstoffmatte ein ICC-Wert von 0,47-0,74 bei Akkaya et al. (2015) erhoben werden. Diese Werte zeigen eine gute bis exzellente Reliabilität der Interday-Messungen auf, wogegen die Resultate der hier abgehaltenen Testung unter selbigen Bedingungen bei den ICC-Werten auf einer stabilen Oberfläche zwischen 0,33-0,5 und auf einem Schaumstoffuntergrund zwischen 0,45-0,71 lagen. Somit schwanken die ICC-Werte von keiner Reliabilität bis hin zu einer annehmbaren bzw. guten Reliabilität. Bei der Messdatenerhebung konnten ähnliche ICC-Werte bei der Testung von Akkaya et al.

(2015) und der hier vorliegenden Untersuchung bei der Erhebung auf der Schaumstoffunterlage erreicht werden, hingegen wurden bei der Messung mit stabiler Oberfläche erhebliche Differenzen festgestellt.

Bezieht man sich auf die Zeitabstände zwischen den Messungen, sind deutliche Unterschiede bei den einzelnen Studien erkennbar. Dabei können jedoch grob zwei Erhebungsverläufe gedeutet werden. Zum einen charakterisieren sich die Untersuchungsprozesse darin, dass kurz nach der Ersttestung erneut getestet wird, mit 1-2 Tagen Pause dazwischen, wie dies bei den Studien von Lin et al. (2015) und Akkaya et al. (2015) der Fall ist. Zum anderen sind auch Abläufe zu finden, bei welchen der Messungsabstand etwas größer gewählt ist und zumindest ein bis zwei Wochen zwischen den Testungen liegen (vgl. Rugelj et al., 2015; Baldini et al., 2013; Barbado et al., 2017; Santos et al., 2007). Bei der vorliegenden Studie wurde ein Zeitabstand von einer Woche bis zur nächsten Messung gewählt, wie auch bei den Veröffentlichungen von Barbado et al. (2017) und Rugelj et al. (2015) vorgegangen wurde. Rugelj et al. (2015) testeten zweimalig Daten bei jüngeren und älteren Personen mit einer Woche zwischen den Messverfahren. Dabei konnten folgende Ergebnisse erhoben werden: Bei den ICC-Werten in der ML Richtung der CoPT-Werte konnte bei jungen Testpersonen ein ICC von 0,68 und bei älteren Personen ein ICC von 0,91 festgestellt werden. Bei den AP von CoPT konnten ICC-Werte von 0,65 bei Jungen und 0,85 bei älteren Leuten erfasst werden. Betrachtet man den RoM, so lag der ICC bei 0,74 bei jungen Personen und 0,88 bei älteren Personen. Demnach war es möglich, bei allen erhobenen Messwerten, vor allem bei älteren Personen, eine gute bis exzellente Reliabilität zu ermitteln. Bei der im Zuge dieser Arbeit durchgeführten Untersuchung konnten vergleichsweise geringe ICC-Werte erhoben, und ein Mittelwert des ICCs bei den CoPT-Daten von 0,56 und den RoM-Daten von 0,43 gemessen werden. Ergebnisse zu Studien mit kürzeren Zeitabständen zwischen den erhobenen Messungen, ergaben bei Lin et al. (2015) mit einer Pause von 24-36 Stunden bei dem Parameter CoPT einen ICC-Wert von 0,64 mit offenen Augen und 0,61 bei geschlossenen Augen auf einer stabilen Oberfläche. Bei Akkaya et al. (2015) konnte ein Mittelwert des ICC von 0,74 bei geöffneten und 0,81 bei geschlossenen Augen ermittelt werden. Um festzustellen, ob ein kurzer bzw. langer Zeitabstand zwischen den Analysen sinnvoller erscheint, wurde noch eine weitere Studie mit sehr großer Spannweite beobachtet. Die Studie von Quatman-Yates et al. (2013) führte zweimalig eine Untersuchung durch, wobei zwischen der Ersttestung und der Folgetestung ein Abstand von 120 Tagen gegeben war. Dabei konnte ein ICC -Wert von CoPT AP von 0,74 und ML von 0,73 bei offenen Augen und ein ICC von AP von 0,79 und

ML von 0,39 bei geschlossenen Augen erfasst werden. Durch die geringen Abweichungen der ICC-Werte zwischen den analysierten Studien, ist eine Empfehlung über den Zeitabstand der Erhebungen nicht möglich.

Ein weiterer Faktor, welcher unterschiedliche Resultate hervorrufen könnte, ist die Untersuchungszeit der einzelnen Messungen. Dies wurde bereits bei den Intraday-Studien als möglicher Einfluss gesehen und muss auch bei den Interday-Daten berücksichtigt werden. In der hier geführten Studie wurden die Daten einer Messung 30 Sekunden lang aufgezeichnet. Auch bezüglich dieses Faktors waren in den herangezogenen Studien unterschiedlichste Zeitangaben gefunden worden. Lediglich bei der Studie von Akkaya et al. (2015) wurde auch eine Messdauer von 30 Sekunden gewählt. Bei wenigen Studien gab es Übereinstimmungen bei der Dauer der Datenerhebung. Somit wurde beispielsweise 51 Sekunden lang erhoben (vgl. Baldini et al., 2013, S. 1475) bis hin zu einer Erhebungsdauer von zwei Minuten (vgl. Quatman-Yates et al., 2013, S. 743). Bereits bei der Studie von Lafond et al. (2000) wurden bezüglich der Untersuchungsdauer zur Feststellung der Reliabilität Erkenntnisse veröffentlicht.

Bezüglich der ICC- und CV-Daten der Interday-Studien konnten unterschiedliche Resultate bei der Analyse erfasst werden. Die im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit ermittelten Ergebnisse lieferten bei den CoPT-Werten einen Mittelwert des ICCs von 0,56 und einen CV-Wert von 19,7%. Der Mittelwert der RoM-Daten brachte beim ICC einen Wert von 0,43 hervor und einen CV-Wert von 62%. Dies deutet auf eher niedrige ICC-Werte hin, wobei der Mittelwert der RoM-Daten bereits als nicht reliabel eingestuft werden kann und die CoPT-Werte zwar auch geringe Maßzahlen aufzeigen, jedoch auf eine annehmbare Reliabilität hinweisen. Betrachtet man das Mittel der CV-Daten, so liegen die berechneten Mittelwerte weit über der 10%-Grenze des Reliabilitätsbereichs. Dadurch kann gesagt werden, dass überwiegend keine Reliabilität der Daten besteht und deshalb kein Zusammenhang zwischen den Messdaten eruierbar ist und folglich auch kein Lerneffekt ersichtlich wird. Nicht bei allen Studien konnten die CoPT- und RoM-Daten erfasst werden und keine der analysierten Studien enthielt eine Überprüfung der Reliabilität mittels CV-Wert. Bei den herangezogenen Interday-Studien wird klar ersichtlich, dass sich die ICC-Werte sehr ähneln und nur geringe Unterschiede bei den Ergebnissen bestehen. Demnach wurde bei Rubelj et al. (2015), Lin et al. (2013), Baldini et al. (2013), Quatman-Yates et al. (2013) und Akkaya et al. (2015) ein Mittelwert der ICC- Werte für den CoPT Parameter zwischen 0,64 - 0,74 ermittelt. Bei Muehlbauer et al. (2011) war eine konkrete Zuweisung des ICC- Mittels von CoPT nicht möglich, da die

Daten getrennt für Männer und Frauen erhoben wurden. Der CoPT-Wert liegt hier zwischen 0,59 - 0,94 bei beiden Geschlechtern. Die Studie von Santos et al. (2007) wies hingegen mit 0,46 zu den anderen Studien einen eher geringeren ICC-Wert von CoPT auf. Weiters wurden auch die RoM-Daten der Studien erfasst. Diese zeigten niedrige ICC-Werte von lediglich 0,42 und von 0,55 bei den Studien von Baldini et al. (2013) und Santos et al. (2007) auf. In der überwiegenden Anzahl der Studien war der Mittelwert des ICCs des Parameters RoM zwischen 0,67- 0,82 (vgl. Rubelj et al., 2015; Quatman- Yates et al., 2013; Muehlbauer et al., 2011), was auf eine gute Reliabilität hinweist. Dadurch kann festgehalten werden, dass die in dieser erhobenen Studie erlangten Ergebnisse unter dem Durchschnittswerten aller hier in Betracht gezogenen Studien von CoPT und RoM hinsichtlich des ICCs liegen.

Um mögliche Gründe für die überwiegend schwachen, bzw. überaus heterogenen Reliabilitätswerte unserer Studie aufzuzeigen, wird im letzten Teil dieser Diskussion näher eingegangen. Die Reliabilität kann durch die verschiedensten Faktoren bzw. Fehlerquellen beeinflusst und folglich gestört werden. Die Reliabilität des Messgerät sense wave medical® könnte ein möglicher Faktor zur Limitierung der Reliabilität darstellen (Portney et al., 2015, S. 86). Zu genau diesem Gerät wurden jedoch bereits an der Universität Wien, genauer gesagt am Zentrum für Sportwissenschaft und Universitätssport der Universität Wien, Versuche mit Roboter durchgeführt, welche auf eine extrem hohe Reliabilität (bis zu 99 %) des Gerätes sense wave medical® schließen lassen. Dadurch, dass der Störfaktor Messgerät so gut wie ausgeschlossen werden kann, müssen andere mögliche Fehlerquellen in Betracht gezogen werden.

Die zu testenden Personen und somit auch die Messvariable selbst stellen womöglich die größte Hürde in Bezug auf die Reliabilitätsmessung durch die Messvariablen CoPT und RoM dar. Bezogen auf diese Fehlerquelle sind Testpersonen wegen extrinsischer Faktoren wie zum Beispiel wahrgenommene Hintergrundgeräusche, Raumtemperatur, Temperatur der Messplatte etc. störanfällig. Aber auch intrinsische Faktoren wie Motivation der Studienteilnehmer, deren Müdigkeitszustand, deren Wohlbefinden etc. (Portney et al., 2015, S. 86). Das posturale System, welches analysiert werden sollte, ist wie bereits beschrieben, ein sehr komplexes System (vgl. Turbanski und Schmidtbleicher, 2010, S. 123). Viele Studien (vgl. Alonso et al. 2015; Strobel et al. 2011; Hue et al. 2006; Lee et al., 2003), welche sich mit der posturalen Kontrolle beschäftigen, richten deren Fokus größtenteils auf anthropometrische Faktoren, beispielsweise Größe, Geschlecht, Alter, Gewicht und deren Einfluss auf das posturale System mit dem medizinischen Hintergrund, die Balancefähigkeit zu verbessern um Unfälle, besonders Stürze zu

vermeiden. Anhand der hier durchgeführten Studie kann keinerlei Zusammenhang weder bei Intra- noch bei Interday-Messungen, festgestellt werden und so kann die Frage bezüglich des Lerneffekts des posturalen Systems nur bedingt bis nicht beantwortet werden. Der überwiegende Teil der Studien (vgl. Alonso et al. 2015; Strobel et al. 2011; Hue et al. 2006; Lee et al., 2003) dazu beschreibt Unterschiede zwischen Personengruppen bezogen auf Alter, BMI, Geschlecht, etc. jedoch lassen sich unseres Wissens keine Studien finden, die den Lerneffekt untersuchen und klare schlüssige Ergebnisse liefern.

Eine weitere Fehlerquelle bilden die Testleiter. Die Gruppe der Testleiter bestand aus drei Personen: einer weiblichen Österreicherin mit Muttersprache Deutsch (22 Jahre), ein männlicher Österreicher mit Muttersprache Deutsch (23 Jahre) und ein männlicher Albaner mit einer anderen Muttersprache (24 Jahre). Die Instruktionen an die Testpersonen erfolgten aus diesem Grund einmal auf Deutsch und ein anderes Mal bzw. bei einer anderen Person auf Englisch. Dies bringt eine enorme Inkonsistenz bei der Anleitung der Tests mit sich, welche die Reliabilität negativ beeinflussen kann.

Nachdem mögliche Fehlerquellen aufgelistet wurden, werden in diesem Paragraphen noch Limitationen sowie zu vermeidende Fehlerquellen angesprochen. Die Studie wurde an der Universität Wien, am Institut für Sportwissenschaft, im Kraftlabor durchgeführt. Da zur selben Zeit mehrere andere Studien sowie Diskussionen stattfanden, war die Raumlautstärke manchmal entsprechend hoch. Weiters wurde die Raumtemperatur nicht kontrolliert, was sich sowohl auf die Messsensoren, aber auch den Erwärmungszustand der Testpersonen auswirken und dadurch die Messung beeinflussen könnte. Ein weiterer großer Schwachpunkt der hier durchgeführten Studie ist die Standposition der Füße. Einige Studien (vgl. Rogind et al., 2003, Lafond et al. 2004; Baldini et al., 2013) haben diese bei der Testung bereits standardisiert, sodass die Probanden und Probandinnen immer mit derselben Fußposition die Testungen absolvierten. Auf dies wurde bei der hier vorliegenden Diplomarbeit nicht beachtet, wodurch auch hier die Reliabilität höchstwahrscheinlich äußerst negativ beeinflusst wurde. Bei zukünftigen Studien sollten genau diese hier beschriebenen Fehlerquellen ausgeschlossen und im Testprotokoll entsprechend berücksichtigt werden, um ein höchstes Maß an Reliabilität zu erreichen. Leider wurde durch die nicht vorherrschende Reliabilität und durch die stark fluktuierenden Werte die Aussagekraft der Studienergebnisse verringert und es kann keine klare Auskunft über einen möglichen Lerneffekt getroffen werden. Rückblickend betrachtet wäre es sinnvoll gewesen zur Feststellung der Interday-Reliabilität den letzten Testdurchgang (fünfte Messreihe) zu Vergleichszwecken heranzuziehen, da im Falle von

Lerneffekten die Stabilität der Messparameter bei der letzten Messung verglichen mit der Messreihe 6 und 7 (7 bzw. 14 Tage nach dem ersten Messtag) voraussichtlich am höchsten sein würde.

7 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Gleichgewichtskontrolle im menschlichem Körper (vgl. Zeng & Zhao, 2011).	15
Abb. 2: Untergliederung des Gleichgewichts (vgl. Fetz, 2010, S.10)	15
Abb. 3: Sparten des motorischen Gleichgewichts (vgl. Fetz, 1990, S. 10).	16
Abb. 4: Das posturale System (Pierobon et. al., 2013, S.79)	19
Abb. 5: Das vestibuläre System - das Labyrinth des Innenohrs im Schema (Schmidt & Thews, 1997, S. 252).	12
Abb. 6: Propriozeption und dessen afferente und efferente Systeme (vgl. Schmidt & Thews, 1997, S. 223).	14
Abb. 7: Ressourcen der posturalen Stabilität und Orientierung (Horak, 2006, S. ii8).	15
Abb. 9: Biodex Balance System® (Palm, et al., 2009, S. 329).	23
Abb. 10: Tetrax® statische Posturographie (Akkaya et al., 2015, S. 896)	24
Abb. 11: Schwankendes Subjekt in Bezug auf CoPT und COM (Winter, 2010, S. 128).	28
Abb 12: 40 Sekunden Aufnahme von CoPT und COM in Richtung anterior/posterior (Winter, 2010, S. 129)	29
Abb. 13: COP Strecke einer Person, Messdauer 20 Sekunden ruhiger aufrechter Stand auf einer Kraftmessplatte (Chaudhry et al., 2011, S. 85).	31
Abb. 14: Reliabilität vs. Verallgemeinerbarkeitstheorie (Portney et al., 2015, S. 91).	39
Abb. 15: ICC-Werte der COP Range in (A). AP und (B). ML- Richtung (Lafond et al., 2000, S. 899).	46
Abb. 16: COP-Auslenkung bei geschlossenen Füßen und geschlossenen Augen (FTEC) von vier aufeinanderfolgenden Tagen (Santos et al., 1996, S. 255).	58
Abb. 18: Kibun - Schaumstoffpads als Auflage für das Messgerät (Sense Product, 2016).	73
Abb. 19: Aufbau des Messgeräts sense wave medical ® (Sense Product, 2016).	75
Abb. 20: Monitorabbildung während einer Messreihe (Sense Product, 2016).	67
Abb 21: Zusammenfassungen der Messreihen (vgl. Marksteiner, 2016)	71
Abb 22: Sensewave Datenblatt statisch (Sense wave Ausgabedokument, Sense Product, 2016)	73
Abb 23: Sensewave Datenblatt dynamisch (Sense wave Ausgabedokument, Sense Product, 2016)	74
Abb. 24: Erklärung eines Box-Plots (Marktforschung Wiki, 2017)	83
Abb. 25: Box-Plots CoPT 1.	81

Abb. 26: Box-Plots CoPT 2.	82
Abb. 27: Box-Plots CoPT 3.	83
Abb. 28: Box-Plots CoPT 4.	83
Abb. 29: Box-Plots CoPT 5.	84
Abb. 30: Box-Plots CoPT 6.	85
Abb. 31: Box-Plots CoPT 7.	86
Abb. 32: Box-Plots CoPT 8.	87
Abb. 32: Box-Plots RoM 1.	88
Abb. 33: Box-Plots RoM 2.	89
Abb. 34: Box-Plots RoM 3.	89
Abb. 35: Box-Plots RoM 4.	90
Abb. 36: Box-Plots RoM 5.	91
Abb. 37: Box-Plots RoM 6.	91
Abb. 38: Box-Plots RoM 7.	92
Abb. 39: Box-Plots RoM 8.	93

8.Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Anthropometrische Daten der Testpersonen	71
Tab. 2: Anführung der einzelnen Messung	76
Tab. 3: Mittelwerte aller CoPT-Daten in cm (statische Plattform) (mean $\pm$ SD n=16).	85
Tab. 4: Mittelwerte aller CoPT-Daten in cm (dynamische Plattform) (mean $\pm$ SD n=16).	86
Tab. 5: Mittelwerte aller RoM-Daten in cm ² (statische Plattform) (mean $\pm$ SD n=16).	87
Tab. 6: Mittelwerte aller RoM-Daten in cm ² (dynamische Plattform) (mean $\pm$ SD n=16).	88
Tab. 7: Test-Retest Releabilität (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei stabiler Standfläche, festem Untergrund & offenen Augen (CoPT-1)	99
Tab. 8: Test-Retest Releabilität (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei stabiler Standfläche, festem Untergrund & offenen Augen (CoPT-1)	100
Tab. 9: Test-Retest Releabilität (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei stabiler Standfläche, festem Untergrund & geschlossenen Augen (CoPT-2)	101
Tab. 10: Test-Retest Releabilität (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei stabiler Standfläche, festem Untergrund & geschlossenen Augen (CoPT-2)	101
Tab. 11: Test-Retest Releabilität (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei stabiler Standfläche, Schaumstoffoberfläche & offenen Augen (CoPT-3)	102
Tab. 12: Test-Retest Releabilität (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei stabiler Standfläche, Schaumstoffoberfläche & offenen Augen (CoPT-3)	102
Tab. 13: Test-Retest Releabilität (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei stabiler Standfläche, Schaumstoffoberfläche & geschlossenen Augen (CoPT-4)	103
Tab. 14: Test-Retest Releabilität (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei stabiler Standfläche, Schaumstoffoberfläche & geschlossenen Augen (CoPT-4)	103
Tab. 15: Test-Retest Releabilität (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei dynamischer Standfläche, festem Untergrund & offenen Augen (CoPT-5)	104
Tab. 16: Test-Retest Releabilität (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei dynamischer Standfläche, festem Untergrund & offenen Augen (CoPT-4)	104
	125

Tab. 17: Test-Retest Reliabilität (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei dynamischer Standfläche, festem Untergrund & geschlossenen Augen (CoPT-6)	105
Tab. 18: Test-Retest Reliabilität (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei dynamischer Standfläche, festem Untergrund & geschlossenen Augen (CoPT-6)	105
Tab. 19: Test-Retest Reliabilität (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei dynamischer Standfläche, Schaumstoffoberfläche & offenen Augen (CoPT-7)	106
Tab. 20: Test-Retest Reliabilität (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei dynamischer Standfläche, Schaumstoffoberfläche & offenen Augen (CoPT-7)	106
Tab. 21: Test-Retest Reliabilität (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei dynamischer Standfläche, Schaumstoffoberfläche & geschlossenen Augen (CoPT-8)	107
Tab. 22: Test-Retest Reliabilität (ICC & CV) von CoPT-Werten (cm) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei dynamischer Standfläche, Schaumstoffoberfläche & geschlossene Augen (CoPT-8)	107
Tab. 23: Test-Retest Reliabilität (ICC & CV) von RoM-Werten (cm ²) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei stabiler Standfläche, festem Untergrund & offenen Augen (RoM-1)	108
Tab. 24: Test-Retest Reliabilität (ICC & CV) von RoM-Werten (cm ²) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei stabiler Standfläche, festem Untergrund & offenen Augen (RoM-1)	108
Tab. 25: Test-Retest Reliabilität (ICC & CV) von RoM-Werten (cm ²) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei stabiler Standfläche, festem Untergrund & geschlossenen Augen (RoM-2)	109
Tab. 26: Test-Retest Reliabilität (ICC & CV) von RoM-Werten (cm ²) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei stabiler Standfläche, festem Untergrund & geschlossenen Augen (RoM-2)	109
Tab. 27: Test-Retest Reliabilität (ICC & CV) von RoM-Werten (cm ²) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei stabiler Standfläche, Schaumstoffoberfläche & offenen Augen (RoM-3)	110
Tab. 28: Test-Retest Reliabilität (ICC & CV) von RoM-Werten (cm ²) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei stabiler Standfläche, Schaumstoffoberfläche & offenen Augen (RoM-3)	110
Tab. 29: Test-Retest Reliabilität (ICC & CV) von RoM-Werten (cm ²) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei stabiler Standfläche, Schaumstoffoberfläche & geschlossenen Augen (RoM-4)	111
Tab. 30: Test-Retest Reliabilität (ICC & CV) von RoM-Werten (cm ²) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei stabiler Standfläche, Schaumstoffoberfläche & geschlossenen Augen (RoM-4)	112

Tab. 31: Test-Retest Reliabilität (ICC & CV) von RoM-Werten (cm ²) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei dynamischer Standfläche, festem Untergrund & offenen Augen (RoM-5)	112
Tab. 32: Test-Retest Reliabilität (ICC & CV) von RoM-Werten (cm ²) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei dynamischer Standfläche, festem Untergrund & offenen Augen (RoM-5)	113
Tab. 33: Test-Retest Reliabilität (ICC & CV) von RoM-Werten (cm ²) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei dynamischer Standfläche, festem Untergrund & geschlossenen Augen (RoM-6)	113
Tab. 34: Test-Retest Reliabilität (ICC & CV) von RoM-Werten (cm ²) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei dynamischer Standfläche, festem Untergrund & geschlossene Augen (RoM-6)	114
Tab. 35: Test-Retest Reliabilität (ICC & CV) von RoM-Werten (cm ²) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei dynamischer Standfläche, Schaumstoffoberfläche & offenen Augen (RoM-7)	114
Tab. 36: Test-Retest Reliabilität (ICC & CV) von RoM-Werten (cm ²) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei dynamischer Standfläche, Schaumstoffoberfläche & offenen Augen (RoM-7)	115
Tab. 37: Test-Retest Reliabilität (ICC & CV) von RoM-Werten (cm ²) bei 5 Messungen am selben Testtag (Intraday) bei dynamischer Standfläche, Schaumstoffoberfläche & geschlossenen Augen (RoM-8)	115
Tab. 38: Test-Retest Reliabilität (ICC & CV) von RoM-Werten (cm ²) bei 7 Messungen (Intra/Interday) bei dynamischer Standfläche, Schaumstoffoberfläche & geschlossenen Augen (RoM-8)	116
Tab. 39: Mittelwerte und Standardabweichung ICC/CV von CoPT/RoM bei Intra- und Interday- Daten	116

9 Literaturverzeichnis

- Akkaya, N., Doganlar, N., Celik, E., Engin, A. S., Akkaya, S., Güngör, CoPT. 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., 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.
- 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.
- Atkinson, G. & Nevill, A. (1998). Statistical Methods For Assessing Measurement Error (Reliability) in Variables Relevant to Sports Medicine. *Sports Med*, 26(4), 217-238.
- Bair, W.N.; Kiemel, T.; Jeka, J.J. & Clark, J.E. (2007). Development of multisensory reweighting for posture control in children. *Exp Brain Res*, 183(4), 435-46.
- Baldini, A., Nota, A., Assi, V., Ballanti, F., & Cozza, P. (2013). Intersession reliability of a posturo-stabilometric test, using a force platform. *Journal of ElectRoMyography and Kinesiology*, 23(6), 1474-1479.
- Barbado, D.; Moreside, J. & Vera-Garcia, F. J. (2017). Reliability and Repetition Effect of the Center of Pressure and Kinematics Parameters That Characterize Trunk Postural Control During Unstable Sitting Test. *PMR*, 9, 219-230.
- Bauer, C. M., Gröger, I., Rupprecht, R., Tibesku, C. O. & Gaßmann, K. G. (2009). Reliabilität der statischen Posturografie bei älteren Personen. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 43(4), 245-248.
- Bauer, C.M. (2007) Reliabilität der statistischen Posturografie. *Physioscience*, 4, 1-6.
- Birklbauer, J. (2006). Modelle der Motorik. Aachen: Meyer & Meyer. Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer.
- Bortz, J. (2005). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (6. Auflage). Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Bös, K. (2001). *Handbuch Motorische Tests. Sportmotorische Tests, motorische*

Funktionstests. Fragebogen zur körperlich-sportlichen Aktivität und sportpsychologische Diagnoseverfahren. (2., vollständige überarbeitete und erweiterte Auflage). Göttingen: Hogrefe

Bös, K.; Hänsel, F. & Schott, N. (200). *Empirische Untersuchungen in der Sportwissenschaft.* Hamburg: Feldhaus.

Bronte-Stewart, H.M.; Minn, A.Y.; Rodrigues, K.; Buckley E.L. & Nashner, L.M. (2002). Postural instability in idiopathic Parkinson's disease: the role of medication and unilateral pallidotomy. *Brain*, 125(9), 2100-14.

Chaudhry, CoPT., 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.

Chiba, R.; Takakusaki, K.; Ota, J.; Yozu, A. & Haga, N. (2016). Human upright posture control models based on multisensory inputs; in fast and slow dynamics. *Neurosci Res*, 104, 96-104.

Chaudhry, CoPT., 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.

Corriveau; CoPT.; Hebert, R.; Prince, F. & Raiche, M. (2000). Intrasection Reliability of the "Center of Pressure Minus Center of Mass" Variable of Postural Control in the Healthy Elderly. *Arch Phys Med Rehabil*, 81, 45-48.

Doyle, T. L., Newton, R. U. & Burnett, A. F. (2005). Reliability of Traditional and Fractal Dimension Measures of Quiet Stance Center of Pressure in Young, Healthy People. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86(10), 2034-2040.

Duarte, M. & Freitas, S. (2010). Revision of posturography based on force plate for balance. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 14(3), 183-192.

Duruturk, N.; Tuzun, E.CoPT. & Culhaoglu, B. (2015). Is balance exercise training as effective as aerobic training in fibroMyalgia syndrome? *Rheumatol Int*, 35, 845-854.

Edwards, CoPT.T. (2007). Effect of joint stiffness on standing stability. *Gait & Posture. March*; 25 (3), 432-439.

Fahrmeir, L.; Heumann, C.; Künstler, R.; Pigeot, I. & Tutz, G. (2006). *Statistik.* Berlin: Springer.

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). *Sensomotorisches Gleichgewicht im Sport*. (2., überarbeitete und erweiterte Auflage). Wien: Österreichischer Bundesverlag.

Field, A. (2009). *Discovering Statistics using SPSS. (and sex and drugs and rock 'n' roll)*. (3. Auflage). Dubai: Oriental Press.

Fukunaga, J. CoPT., Quitschal, R. M., Doná, F., Ferraz, CoPT. B., Ganaca, M. M. & Caovilla, CoPT. CoPT. (2014). Postural control in Parkinson's disease. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 80(6), 508-514

Gauer, O. CoPT.;Kramer, K.; Jung, R. & Duker, E. (1972). *Physiologie des Menschen. Band 12: Hören, Stimme, Gleichgewicht*. München: Urban & Schwarzenberg.

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. 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>

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.

Hansen, M.; Dieckmann, B.; Jensen, B. (2000). The reliability of balance tests performed on the kinesthetic ability trainer (KAT 2000). *Sports Medicine*, 8, 180-185.

Hopkins, CoPT. (2015). Spreadsheets of Analysis of Validity and Reliability. *Sportscience*, 19, 36-42.

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.

Kabbaligere, R.; Lee, B.C. & Layne, C.S. (2016). Balancing sensory inputs: Sensory reweighting of ankle proprioception and vision during a bipedal posture task. *Gait &*

Posture, 52, 244-250.

- 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.
- Kistler. measure. analyze. motivate (2017, 16. Mai). Zugriffen unter <https://www.kistler.com/at/de/> Zugriff am 17.05. 2017.
- Ku, P. X., Abu Osman, N. A., Yusof, A. & Wan Abas, CoPT. A. B. (2012). Biomechanical evaluation of the relationship between postural control and body mass index. *Journal of Biomechanics*, 45(9), 1638-1642.
- Ku, P.X.; Abu Osman, N. A.; Yusof, A.; Wan Abas, CoPT. A. (2012). Biomechanical evaluation of the relationships to postural control and body mass index. *Journal of Biomechanics, Feb; 45 (9), 1638-1642.*
- Lafond, D.; Corriveau, CoPT., 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, CoPT. & Scudds, R. (2003). Comparison of balance in older people with and without visual impairment. *Age and Ageing*, 32(6), 643-649.
- Lin, C.; Roche, J.; Steed, D.; Musolino, M.; Marchetti, G.; Furman, G.; Redfern, M. & Whitney; S. (2015). Test-retest reliability of postural stability on two different foam pads. *J Nat Sci*, 1(2), 1-12.
- Lin, D.; Seol, CoPT.; Nussbaum, M. & Madigan, M. (2008). Reliability of COP-based postural sway measures and age-related differences. *Gait & Posture*, 28, 337-342.
- Lugade, V. & Kaufman, K. (2014). Center of pressure trajectory during gait: A comparison of four foot positions. *Gait & Posture*, 40, 719-722.
- Mancini, M.; Salarian, A.; Carlso-Kuhta, P.; Zampieri, C.; King, L.; Chiari, L. & Horak, F.B. (2012). ISway: a sensitive, valid and reliable measure of postural control. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 1-8.
- 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.

- Marksteiner, D. (2016). Statische versus dynamische Posturographie bei jungen, gesunden Erwachsenen – Referenzdatenerhebung und quantitative Analyse zweier ausgewählter Parameter. Wien: Universität Wien.
- Marktforschungs-Wiki. (2017). Box-Plot. [Bericht]. Zugriff am 30. April 2017 unter <http://marktforschung.wikia.com/wiki/Box-Plot>
- Muehlbauer, T., Roth, R., Mueller, S., & Granacher, U. (2011). Intra and intersession reliability of balance measures during one-leg standing in young adults. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(8), 2228-2234.
- Nashner, L.M. (1970). *Sensory Feedback in Human Posture Control*. (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
- Palm, CoPT. 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.
- Pieroben, A. & Funk, M. (2013). Gleichgewichtsfähigkeit, posturales System, Lokomotion und Gang. *Sprache, Stimme und Gehör*, 37, 78-82.
- Portney, L. & Watkins, M. (2015). *Foundations of Clinical Research. Applications to Practice* (3. Auflage). Philadelphia: F.A. Davis Company.
- Prieto, T.; Myklebust, J. & Myklebust, B. (1993). Characterization and Modeling of Postural Steadiness in the Elderly: A Review. *IEEE Transaction on Rehabilitation Engineering*, 1(1), 26-34.
- Quatman-Yates, C. C., Lee, A., Hugentobler, J. A., Kurowski, B. G., Myer, G. D., & Riley, M. A. (2013). Test-retest consistency of a postural sway assessment protocol for adolescent athletes measured with a force plate. *International journal of sports physical therapy*, 8(6), 741.
- 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.
- Rockmann, U. & Bömermann, CoPT. (2006). *Grundlagen der sportwissenschaftlichen Forschungsmethoden und Statistik*. Schorndorf: Hofmann.
- Rogind, CoPT., Simonsen, CoPT.; Era, P. & Bliddal, CoPT. (2003). Comparison of Kistler 9861A force platform and Chattecx Balance System® for measurement of postural sway: correlation and test-retest reliability. *Scand J Med Sci Sports*, 13, 106-114.

- Rugelj, D., Hrastnik, A., Sevšek, F., & Vauhnik, R. (2015). Reliability of modified sensory interaction test as measured with force platform. *Medical & biological engineering & computing*, 53(6), 525-534.
- Samson, M. & Crowe, A. (1996). Intra-subject inconsistencies in quantitative assessments of body sway. *Gait & Posture*, 4, 252-257.
- 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.
- Sarkar, A.; Singh, M.; Bansal, N.; Kapoor, S. (2011). Effects of obesity on balance and gait alterations in young adults. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology, Feb; 55 (3), 227-233.*
- Schmidt, R. F. & Thews, G. (1997). *Physiologie des Menschen*. Berlin: Springer.
- Schut, I.M.; Enngelhart, D; Pasma, J.H.; Aarts, R.G. & Schouten, A.C. (2017). Compliant support surfaces affect sensory reweighting during balance control. *Gait & Posture*, 53, 241-247.
- Schwesig, R., Lauenroth, A., Müller, A., Becker, S. & Hottenrott, K. (2006). Parametrisierung posturaler Subsysteme mit Posturografie. *Manuelle Medizin*, 44(5), 376-384.
- Sense Product (2016). Sense wave medical. Zugriff am 20. April 2017 unter <http://CoPT.senseproduct.com/produkte/sense-wave-medical/>
- Shrout, P. & Fleiss, J. (1979). Intraclass Correlations: Uses in Assessing Rater Reliability. *Psychological Bulletin*, 86(2), 420-428.
- Taube, CoPT. (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.
- TjernstRoM, F.; Björklund, M. & Malmström, E.M. (2015). RoMberg ratio in quiet stance posturography—Test to retest reliability. *Gait & Posture*, 42(1), 27-31.
- Turbanski, S. & Schmidtbleicher, D. (2010). Posturale Kontrolle als situationsabhängige Fertigkeit. *Sportverletzung - Sportschaden*, 24(3), 123-128.

- Winter, D. (2010). *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Wollny, R. (2007). *Bewegungswissenschaft. Ein Lehrbuch in 12 Lektionen*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Zeng, CoPT. & Zhao, CoPT. (2011). Sensing movement: microsenors for body motion measurement. *Sensors*, 11(1), 638-660.

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich (Jacob Wolkenstein), dass die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter den angegebenen Hilfsmitteln verfasst wurde. Alle dafür verwendeten Quellen sind im Fließtext und im Literaturverzeichnis angeführt. Die Arbeit wurde in dieser oder ähnlicher Form weder im Inland noch im Ausland zu Prüfungen oder anderen Zwecken vorgelegt.

Ort

Unterschrift