

Julia Augustijn

Möglichkeiten und Grenzen bewegungstherapeutischer  
Intervention bei Parkinsonpatienten

Einfluss von Gleichgewichtstraining auf die posturale Stabilität



**Julia Augustijn**

**Möglichkeiten und Grenzen  
bewegungstherapeutischer  
Intervention bei Parkinsonpatienten**

Einfluss von Gleichgewichtstraining auf die posturale Stabilität



**TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
CHEMNITZ**

**Universitätsverlag Chemnitz  
2012**

## **Impressum**

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Angaben sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Chemnitz, Techn. Univ., Diss., 2012

Technische Universität Chemnitz/Universitätsbibliothek

**Universitätsverlag Chemnitz**

09107 Chemnitz

<http://www.bibliothek.tu-chemnitz.de/UniVerlag/>

### **Herstellung und Auslieferung**

Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG

Am Hawerkamp 31

48155 Münster

<http://www.mv-verlag.de>

ISBN 978-3-941003-67-5

<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa-94980>

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>I</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>III</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS.....</b>	<b>VII</b>
<b>VORWORT .....</b>	<b>IX</b>
<b>1. EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2. PARKINSON-SYNDROM .....</b>	<b>3</b>
2.1. BEGRIFFSBESTIMMUNG UND ÄTIOLOGIE.....	3
2.2. PATHOPHYSIOLOGISCHE GRUNDLAGEN.....	3
2.3. SYMPTOMATIK.....	5
2.4. THERAPIE.....	6
<b>3. POSTURALE INSTABILITÄT BEI MORBUS PARKINSON .....</b>	<b>9</b>
3.1. STURZRISIKO .....	10
3.2. STURZSITUATIONEN.....	11
3.3. STURZREAKTION.....	11
3.4. URSACHEN.....	13
3.5. THERAPIE.....	17
<b>4. BEURTEILUNG DER POSTURALEN STABILITÄT .....</b>	<b>21</b>
4.1. ALLTAGSMOTORISCHE TESTVERFAHREN .....	21
4.2. BIOMECHANISCHE TESTVERFAHREN.....	28
4.3. SUBJEKTIVE TESTVERFAHREN .....	39
<b>5. TRAINING DER POSTURALEN STABILITÄT.....</b>	<b>43</b>
5.1. THEORIE .....	43
5.2. PRAXIS.....	45
<b>6. ZIELSTELLUNG UND HYPOTHESEN.....</b>	<b>53</b>
<b>7. METHODIK.....</b>	<b>55</b>

7.1.	STUDIENDESIGN .....	55
7.2.	PROBANDENSTICHPROBE.....	57
7.3.	ALLTAGSMOTORISCHE TESTVERFAHREN .....	61
7.3.1.	<i>Berg Balance Test</i> .....	61
7.3.2.	<i>Tandemwalk-Test</i> .....	64
7.4.	BIOMECHANISCHE TESTVERFAHREN .....	65
7.4.1.	<i>Statische Posturographie</i> .....	65
7.4.2.	<i>Dynamische Posturographie</i> .....	67
7.4.3.	<i>Isometrische Maximal- und Explosivkraftmessung</i> .....	72
7.5.	SUBJEKTIVE TESTVERFAHREN.....	74
7.5.1.	<i>Activities-Specific Balance Confidence Scale</i> .....	74
7.5.2.	<i>Probandenfeedback</i> .....	75
7.6.	TRAININGSINTERVENTION .....	75
7.7.	TRAININGSCOMPLIANCE.....	78
7.8.	STATISTISCHE DATENVERARBEITUNG.....	78
<b>8.</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>80</b>
8.1.	ALLTAGSMOTORISCHE TESTVERFAHREN .....	80
8.1.1.	<i>Betrachtung der wiederholten Eingangs- und Ausgangsmessung</i> .....	80
8.1.2.	<i>Pre-/Post-Vergleich</i> .....	81
8.2.	BIOMECHANISCHE TESTVERFAHREN .....	84
8.2.1.	<i>Betrachtung der wiederholten Eingangs- und Ausgangsmessung</i> .....	84
8.2.2.	<i>Pre-/Post-Vergleich</i> .....	88
8.3.	SUBJEKTIVE TESTVERFAHREN UND FEEDBACK .....	100
<b>9.</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>105</b>
9.1.	METHODEN .....	105
9.2.	ERGEBNISSE .....	109
9.3.	FAZIT UND AUSBLICK .....	120
<b>10.</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>125</b>
10.1.	EINWILLIGUNGSERKLÄRUNG .....	125
10.2.	HAUSÄRZTLICHE EINVERSTÄNDNISERKLÄRUNG.....	127
10.3.	PROBANDENTABELLE.....	128
10.4.	BERG BALANCE TEST .....	129
10.5.	ACTIVITIES-SPECIFIC BALANCE CONFIDENCE SCALE .....	133

10.6.	HEIMTRAININGSPLAN „STANDFEST“ .....	134
10.7.	ALLTAGSMOTORISCHE TESTVERFAHREN.....	136
10.8.	BIOMECHANISCHE TESTVERFAHREN.....	139
10.9.	ODE AN DIE „STANDFESTIGKEIT 2010“ (13.09. - 03.12.).....	152
<b>11.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>153</b>



## Abkürzungsverzeichnis

<b>ABC</b>	Activities-Specific Balance Confidence Scale
<b>ADL</b>	Activities of Daily Living
<b>ap</b>	Anterior-posterior
<b>BBT</b>	Berg Balance Test
<b>COM</b>	Center of Mass
<b>COP</b>	Center of Pressure
<b>EMG</b>	Elektromyogramm
<b>FRT</b>	Functional Reach Test
<b>KONT</b>	Kontrollgruppe
<b>LL</b>	Long latency
<b>ML</b>	Medium latency
<b>ml</b>	Medio-lateral
<b>nEMG</b>	Normalisiertes Elektromyogramm
<b>PAQ-50+</b>	Physical Activity Questionnaire-50+
<b>PPS</b>	Parkinson-Plus-Syndrom
<b>SENT</b>	Interventionsgruppe
<b>SL</b>	Short latency
<b>SOT</b>	Sensory Organisation Test
<b>SPS</b>	Sekundäres Parkinson-Syndrom
<b>TTO</b>	Time-to-Onset
<b>TTP</b>	Time-to-Peak
<b>TUG</b>	Timed up-and-go Test
<b>TWT</b>	Tandemwalk-Test
<b>UPDRS</b>	Unified Parkinson`s Disease Rating Scale



## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: "Sturzbezogener Teufelskreis" bei Morbus Parkinson übersetzt nach Bloem et al. (2004).....	9
Abb. 2: Studiendesign in übersichtlicher Form .....	57
Abb. 3: Stichproben - Compliance.....	60
Abb. 4: Übung 1 aus dem Berg Balance Test übersetzt nach Scherfer vom Original (Berg 1989) .....	60
Abb. 5: Der Functional Reach Test als Übung 8 des Berg Balance Tests .....	63
Abb. 6: Tandemwalk-Test.....	65
Abb. 7: Von links nach rechts: normaler Stand mit geschlossenen Augen, Tandemstand und Einbeinstand auf der zebris® Druck- Messplattform .....	66
Abb. 8: Umgebautes Posturomed® mit Elektromagnet zur Arretierung und GK-1000 zur Messung des Kraftmittelpunktes .....	68
Abb. 9: Messplatz mit gesichertem Probanden.....	69
Abb. 10: Gleichgerichtetes, gefiltertes EMG-Signal des M.tibialis anterior während einer Perturbation nach anterior.....	70
Abb. 11: Gefilterter Kraftmittelpunkts-Verlauf eines beliebigen Probanden während einer Perturbation nach anterior; der rote Bereich zeigt den Verlauf über die Zeitdauer des Pre-Triggers von 0,5 s, der blaue Bereich die restlichen 3 s nach dem Lösen der Arretierung .....	71
Abb. 12: Proband an der Beinpresse (Medex Fitnessgeräte GmbH, Reinsberg) .....	72
Abb. 13: Gefilterte Kraft-Zeit-Kurve eines Probanden .....	74
Abb. 14: Antwortmöglichkeit zu jeder Frage der Activities-Specific Balance Confidence Scale.....	75
Abb. 15: Übungen .....	76
Abb. 16: Untergründe.....	77
Abb. 17: Boxplot und Differenzenplot des Berg Balance Tests.....	83
Abb. 18: Boxplot und Differenzenplot der erfolgreichen Schritte vorwärts im Tandemwalk-Test .....	84
Abb. 19: Boxplot und Differenzenplot des COP-Weges im Stand mit enger Fußstellung.....	89
Abb. 20: Boxplot und Differenzenplot der COP-Fläche im Stand mit enger Fußstellung.....	90
Abb. 21: Boxplot und Differenzenplot der COP-Fläche während einer Perturbation nach anterior.....	92
Abb. 22: Boxplot und Differenzenplot der Time-to-Peak während einer Perturbation nach anterior.....	93

Abb. 23: Boxplot und Differenzenplot des COP-Weges während einer Perturbation nach lateral.....	95
Abb. 24: Boxplot und Differenzenplot des nEMG1 des M. gastrocnemius medialis während einer Perturbation nach lateral.....	96
Abb. 25: Boxplot und Differenzenplot der Maximalkraft.....	97
Abb. 26: Boxplot und Differenzenplot des maximalen Kraftanstiegs.....	98
Abb. 27: Boxplots und Differenzenplots für den mittleren Kraftanstieg der Intervalle 0-30ms, 0-50ms, 0-100ms und 0-200ms.....	99
Abb. 28: Boxplot und Differenzenplot der Activities-Specific Balance Confidence Scale.....	100
Abb. 29: Boxplots von Test I und Test II der Pre- und Post-Messungen der alltagsmotorischen Testverfahren.....	136
Abb. 30: Von oben nach unten: Boxplot und Differenzenplot der benötigten Schritte während einer 360° - Drehung, der erreichten Zeitdauer im Einbeinstand sowie der erfolgreichen Schritte beim Tandemwalk-Test in Rückwärts-Richtung.....	137
Abb. 31: Boxplot und Differenzenplot der Beurteilung des Functional Reach Tests durch den Berg Balance Test, durch das Ablesen vom Maßband sowie durch die Reichweite des COPs.....	138
Abb. 32: Boxplots von Test I und Test II der Pre- und Post-Messungen der Testvariablen der statischen Posturographie, von oben nach unten: im normalen Stand, im Stand mit geschlossenen Augen, im Stand mit enger Fußstellung, im Tandemstand und im Einbeinstand.....	139
Abb. 33: Boxplots von Test I und Test II der Pre- und Post-Messungen der COP-Parameter und der EMG-Parameter (M. tibialis anterior) der dynamischen Posturographie während einer Perturbation nach anterior.....	141
Abb. 34: Boxplots von Test I und Test II der Pre- und Post-Messungen der COP-Parameter und der EMG-Parameter (M. tibialis anterior) der dynamischen Posturographie während einer Perturbation nach lateral.....	142
Abb. 35: Boxplots von Test I und Test II der Pre- und Post-Messungen der COP-Parameter und der EMG-Parameter (M. gastrocnemius medialis) der dynamischen Posturographie während einer Perturbation nach lateral.....	143
Abb. 36: Boxplots von Test I und Test II der Pre- und Post-Messungen der Testvariablen der isometrischen Kraftmessung.....	144
Abb. 37: Von oben nach unten: Boxplot und Differenzenplot des COP-Weges und der COP-Fläche im normalen Stand und im Stand mit geschlossenen Augen.....	145

---

Abb. 38: Von oben nach unten: Boxplot und Differenzenplot des COP-Weges und der COP-Fläche im Tandemstand und im Einbeinstand.....	146
Abb. 39: Boxplot und Differenzenplot des COP-Weges, der Time-to-Onset und der nEMG1-3 während einer Perturbation nach anterior .....	147
Abb. 40: Boxplot und Differenzenplot der COP-Fläche während einer Perturbation nach lateral .....	148
Abb. 41: Boxplot und Differenzenplot der Time-to-Onset, der Time-to-Peak und des nEMG1-3 des M. tibialis anterior während einer Perturbation nach lateral .....	149
Abb. 42: Boxplot und Differenzenplot der Time-to-Onset und der Time-to-Peak und des nEMG2-3 des M. gastrocnemius medialis während einer Perturbation nach lateral .....	150
Abb. 43: Pre-/Postvergleich sowie Vergleich der Differenzen vom Zeitpunkt der Maximalkraft, dem Zeitpunkt des maximalen Kraftanstiegs und dem mittleren Kraftanstieg im Intervall 0-100ms .....	151



## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Ergebnisse (MW $\pm$ SD) zum Functional Reach Test bei Parkinsonpatienten .....	23
Tab. 2: Ergebnisse (MW $\pm$ SD) zum Berg Balance Test bei Parkinsonpatienten .....	26
Tab. 3: Ergebnisse (MW $\pm$ SD) zum COP – Weg bei Parkinsonpatienten im normalen Stand mit offenen Augen .....	32
Tab. 4: Ergebnisse (MW $\pm$ SD) zur COP - Geschwindigkeit bei Parkinsonpatienten im normalen Stand mit offenen Augen .....	32
Tab. 5: Ergebnisse (MW $\pm$ SD) zur COP - Fläche bei Parkinsonpatienten im normalen Stand mit offenen Augen .....	32
Tab. 6: Ergebnisse (MW $\pm$ SD) zum COP – Weg in medio-lateraler Richtung bei Parkinsonpatienten im normalen Stand mit offenen Augen .....	32
Tab. 7: Perturbationsarten übersetzt nach Visser et al. (2008) .....	33
Tab. 8: Ergebnisse (MW $\pm$ SD) zur Activities-Specific Balance Confidence Scale bei Parkinsonpatienten .....	41
Tab. 9: Zeitlicher Ablauf der Untersuchung .....	56
Tab. 10: Ein- und Ausschlusskriterien .....	58
Tab. 11: Anthropometrische Merkmale und Charakteristik der Untersuchungsgruppen .....	61
Tab. 12: Aufteilung der Trainingsgruppen .....	75
Tab. 13: Belastungsgestaltung .....	77
Tab. 14: Vergleich von Test I und Test II der Pre- und Post-Messungen der alltagsmotorischen Testverfahren; dargestellt sind die p-Werte .....	80
Tab. 15: Vergleich der Pre- und Post-Messungen der Ergebnisse der alltagsmotorischen Testverfahren; dargestellt sind die Mediane bzw. MW $\pm$ SD sowie die p-Werte der Interventionsgruppe .....	81
Tab. 16: Vergleich der Pre- und Post-Messungen der Ergebnisse der alltagsmotorischen Testverfahren; dargestellt sind die Mediane bzw. MW $\pm$ SD sowie die p-Werte der Kontrollgruppe .....	82
Tab. 17: Vergleich von Test I und Test II der Pre- und Post-Messungen der statischen Posturographie-Messungen; dargestellt sind die p-Werte .....	85
Tab. 18: Vergleich von Test I und Test II der Pre- und Post-Messungen der dynamischen Posturographie-Messungen für die Perturbation nach anterior; dargestellt sind die p-Werte .....	85
Tab. 19: Vergleich von Test I und Test II der Pre- und Post-Messungen der dynamischen Posturographie-Messungen für die Perturbation nach lateral; dargestellt sind die p-Werte .....	86

Tab. 20: Vergleich von Test I und Test II der Pre- und Post-Messungen der isometrischen Kraftmessung; dargestellt sind die p-Werte .....	87
Tab. 21: Vergleich der Pre- und Post-Messungen der Ergebnisse der statischen Posturographie; dargestellt sind MW $\pm$ SD sowie die p-Werte der Interventionsgruppe .....	88
Tab. 22: Vergleich der Pre- und Post-Messungen der Ergebnisse der statischen Posturographie; dargestellt sind MW $\pm$ SD sowie die p-Werte der Kontrollgruppe .....	88
Tab. 23: Vergleich der Pre- und Post-Messungen der Ergebnisse der dynamischen Posturographie während einer Perturbation nach anterior; dargestellt sind MW $\pm$ SD sowie die p-Werte der Interventionsgruppe .....	91
Tab. 24: Vergleich der Pre- und Post-Messungen der Ergebnisse der dynamischen Posturographie während einer Perturbation nach anterior; dargestellt sind MW $\pm$ SD sowie die p-Werte der Kontrollgruppe .....	91
Tab. 25: Vergleich der Pre- und Post-Messungen der Ergebnisse der dynamischen Posturographie während einer Perturbation nach lateral; dargestellt sind MW $\pm$ SD sowie die p-Werte der Interventionsgruppe .....	93
Tab. 26: Vergleich der Pre- und Post-Messungen der Ergebnisse der dynamischen Posturographie während einer Perturbation nach lateral; dargestellt sind MW $\pm$ SD sowie die p-Werte der Kontrollgruppe .....	94
Tab. 27: Vergleich der Pre- und Post-Messungen der Ergebnisse der isometrischen Kraftmessung; dargestellt sind MW $\pm$ SD sowie die p-Werte der Interventionsgruppe .....	96
Tab. 28: Vergleich der Pre- und Post-Messungen der Ergebnisse der isometrischen Kraftmessung; dargestellt sind MW $\pm$ SD sowie die p-Werte der Kontrollgruppe .....	97
Tab. 29: Anzahl der Stürze in den letzten drei Monaten der Interventionsgruppe .....	102
Tab. 30: Anzahl der Stürze in den letzten drei Monaten der Kontrollgruppe .....	102
Tab. 31: Auflistung der einzelnen Probanden .....	128

## DANKE

Ich danke jedem,  
der mich bei der Entstehung und Durchführung dieses Projektes und bei der Erstellung dieser Arbeit auf seine Weise unterstützt hat.

Vor allem gilt der Dank meinem Doktorvater *Prof. Dr. Thomas L. Milani* für die Ermöglichung des gesamten Projektes, für die Unterstützung insbesondere in methodischen Fragestellungen, für die exzellenten Voraussetzungen und Rahmenbedingungen seiner Arbeitsgruppe an der TU-Chemnitz, die wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben und für die Begutachtung der vorliegenden Arbeit,

*PD Dr. rer. soc. Stefan Grau* besonders für die wissenschaftliche Unterstützung in der letzten Phase der Arbeit und für die Anfertigung des Zweitgutachtens,

*Prof. Dr. Wilfried Alt* für die überaus freundliche Leihgabe der Messapparatur,

*Prof. Dr. Udo Rudolph* und seinem Team, für die überaus gelungene Kooperation und sehr nette Unterstützung,

der *AOKPlus<sup>®</sup> Sachsen* für die überaus hilfreiche Bereitstellung eines weiteren Trainingsraumes,

*meinen Kollegen und Freunden* für zahlreiche Diskussionen und Ideen,

insbesondere meinen wunderbaren Probanden *Günther, Eva-Maria, Werner, Holger, Liane, Annelore, Hans, Istvan, Erika, Karli, Renate, Hans, Wolfgang, Birgit, Annelie, Peter, Christine, Frank, Markus, Christian, Christine, Wolfgang, Werner, Monika, Jürgen, Peter, Heinz, Gerhard, Michael, Isolde, Andreas, Rudolf, Gunther, Dieter, Harry, Claudia, Andreas, Dieter, Klaus-Peter, Egon, Erika, Erhard Hans-Jürgen und Joachim* für ihr Vertrauen, ihr großes Engagement und ihre Zuverlässigkeit, die die Durchführung der vorliegenden Studie erst ermöglichten,

*Rudolfo* für all die Entbehrungen, aber auch die gemeinsame, erholsame Freizeitgestaltung,

und *Justin* für Alles.



## 1. Einleitung

Berechnungen des Statistischen Bundesamtes (2009) sagen einen Anstieg der Bevölkerung über 65 Jahre von aktuell 20 % auf 34 % bis zum Jahre 2060 voraus. Die Bevölkerung im Rentenalter stellt somit aktuell die am stärksten wachsende Altersgruppe dar. Mit dem demographischen Wandel ist auch eine Zunahme an typischen Alterserkrankungen verbunden - Erkrankungen wie das Parkinson-Syndrom.

Morbus Parkinson ist eine neurodegenerative, chronisch-progrediente Erkrankung mit einem Manifestationsalter um das 60. Lebensjahr (Shagam, 2008). Inzidenz und Prävalenz steigen mit zunehmendem Alter deutlich an. Im Mittel liegt die Zahl der Neuerkrankungen z.B. für Europa, Japan und den USA bei 10 – 20 Personen pro 100 000 Einwohner (von Campenhausen et al., 2005, Yamawaki et al., 2009, Rajput, 1984). Betrachtet man ausschließlich Populationen über 60 Jahre, steigt die Inzidenz um ein Vielfaches auf 109 - 346 Neuerkrankungen pro 100 000 Einwohner (van de Vijver et al., 2001, von Campenhausen et al., 2005). In Deutschland wird für die Bevölkerung über 65 Jahre eine Prävalenzrate von 713 Fälle pro 100 000 Einwohner angegeben (Trenkwalder et al., 1995). Aktuelle Studien aus Japan und den Niederlanden zeigen ähnliche Prävalenzraten von 655 und 970 Fälle pro 100 000 Einwohner (Yamawaki et al., 2009, van de Vijver et al., 2001). Die Erkrankung äußert sich mit den Kardinalsymptomen Bradykinese, Rigor, Tremor und posturaler Instabilität v.a. als motorische Störung. Bis dato existiert keine ätiologische Therapie. Die Behandlung beschränkt sich allein auf eine Linderung der Symptome.

Die posturale Instabilität zählt zu den am meisten beeinträchtigenden Symptomen der Parkinson-Krankheit. Sie ist progressiv im Krankheitsverlauf und medikamentöse oder operative Therapiemaßnahmen zeigen keinen oder einen nur sehr geringen Einfluss. Patienten und Therapeuten sind auf bewegungstherapeutische Möglichkeiten zur Reduzierung und Stabilisierung der motorischen Einschränkungen und manchmal auch der psychischen und sozialen Beeinträchtigungen angewiesen.

Zahlreiche Publikationen empfehlen daher u. a. die Durchführung eines Gleichgewichtstrainings (u. a. Scharf und Weineck, 2004, Keus et al., 2007, King und Horak, 2009). Auch in der physiotherapeutischen Versorgung kommen Gleichgewichtsübungen zum Einsatz. Im Gegensatz dazu sind wissenschaftliche Studien, in denen die Auswirkungen eines Gleichgewichtstrai-

nings bei Parkinsonpatienten evaluiert werden, kaum vorhanden. Die zentrale Forschungsfrage dieser Arbeit beschäftigt sich daher damit, ob die Durchführung eines Gleichgewichtstrainings bei Parkinsonpatienten zu messbaren Verbesserungen des Gleichgewichts führen und Parkinsonpatienten objektiv von einem Gleichgewichtstraining profitieren. Aufgrund der Tatsache, dass die Literaturlage keinen Schluss hinsichtlich positiver Auswirkungen oder hinsichtlich eines zu favorisierenden Trainingsprogramms zulässt (Deane et al., 2001a), wurde ein empirischer Forschungsansatz gewählt.

Für die Durchführung einer bewegungswissenschaftlichen Intervention mit Parkinsonpatienten ist es notwendig, sich zunächst mit dem Krankheitsbild bestmöglich vertraut zu machen. In den ersten beiden Kapiteln wird daher eine kurze Einführung in das Krankheitsbild des Morbus Parkinson gegeben und auf das Kardinalsymptom der posturalen Instabilität vertieft eingegangen. Im nachfolgenden Kapitel wird der Stand der Literatur zu geeigneten Testverfahren für die Beurteilung des Gleichgewichts bei Parkinsonpatienten besprochen. Dieses Kapitel ist besonders umfangreich, da sich hier noch kein Goldstandard durchsetzen konnte und sich dies durch eine Fülle von unterschiedlichen Testverfahren äußert. Im darauffolgenden Kapitel erfolgt eine Besprechung der Erkenntnisse bisheriger Interventionsstudien, welche zumindest zu einem Teil Gleichgewichtsübungen zur Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit von Parkinsonpatienten einsetzen. Hier bestimmt ein Mangel an vergleichbarer Literatur, auch meist durch die Wahl unterschiedlicher Testverfahren, die Möglichkeiten zur Diskussion. Nach Formulierung der Forschungsfrage wird das methodische Vorgehen zur Durchführung und Beurteilung eines Gleichgewichtstrainings mit Parkinsonpatienten hinreichend beschrieben und die Ergebnisse anschaulich dargestellt. In der anschließenden Diskussion werden die Ergebnisse abschließend kritisch hinterfragt und vor dem Hintergrund aktueller Literatur interpretiert.

## **2. Parkinson-Syndrom**

Nachfolgend werden die für das Verständnis der vorliegenden Arbeit wesentlichen Grundlagen zum Parkinson-Syndrom dargelegt. Aufgrund der ausgezeichneten Literaturlage zur detaillierten Beschreibung des Krankheitsbildes wird hier bewusst auf eine Replikation verzichtet und auf fachspezifische Literatur weiter verwiesen.

### **2.1. Begriffsbestimmung und Ätiologie**

Als Parkinson-Syndrom (engl. parkinsonism) wird ganz allgemein eine Symptom-Kombination von Bradykinese, Rigor, Tremor, posturaler Instabilität sowie vegetativer und häufig auch psychischer Begleiterscheinungen zusammengefasst. In ca. 76 % der Fälle liegt ein sogenanntes idiopathisches Parkinson-Syndrom (IPS) vor, dessen Krankheitsursache nicht bekannt ist (Scharf und Weineck, 2004). Aktuelle Theorien schließen auf einen Zusammenhang von genetischer Prädisposition und bestimmten Umweltfaktoren (Xiromerisiou et al., 2010, Gerlach, 2007). Synonym werden die Begriffe Parkinson-Krankheit (engl. Parkinson`s disease) und Morbus Parkinson verwendet. Ist die Genese hingegen bekannt, spricht man entweder von einem sekundären Parkinson-Syndrom (SPS), falls ursächlich z.B. Medikamente oder Toxine für eine mangelhafte Dopamin-Übertragung verantwortlich gemacht werden können oder von einem Parkinson-Plus-Syndrom (PPS), auch atypisches Parkinson-Syndrom, falls eine andere neurodegenerative Erkrankung die Ursache für einen Zellabbau darstellt, z.B. bei Vorliegen einer Multisystematrophie. In einigen wenigen Fällen konnte ein genetischer Ursprung für die Erkrankung nachgewiesen werden. So geht man davon aus, dass eine klinische Manifestation vor dem 50. Lebensjahr auf eine genetische Disposition schließen lässt.

### **2.2. Pathophysiologische Grundlagen**

Beim idiopathischen Parkinson Syndrom kommt es zu einer progredienten und irreversiblen Degeneration neuromelaninhaltiger, dopaminerger Neurone im Mittelhirn v.a. der Neurone, die von der Substantia nigra pars compacta zum Striatum projizieren. Weitere dopaminerge Systeme darunter das mesokortikale-mesolimbische System, die Retina und das Nebennierengewe-

be sind betroffen, wenn auch in geringerem Ausmaß. Ein zusätzlicher Zelluntergang in bestimmten noradrenergen, serotonergen und cholinergen Systemen wird für zahlreiche Begleitsymptome verantwortlich gemacht, darunter z.B. der Nucleus tegmenti pedunculopontinus, welcher besonders an den Gang- und Gleichgewichtsstörungen beteiligt sein soll (Pahapill und Lozano, 2000, Karachi et al., 2010). Charakteristisch für die betroffenen, noch intakten Neurone ist ein Vorkommen von Einschlusskörperchen, sogenannten Lewy-Körperchen (Scharf und Weineck, 2004, Gerlach, 2007, Gunkel, 2011).

Das nigro-striatale System und auch der Nucleus tegmenti pedunculopontinus sind in eine extrapyramidale, motorische Schleife integriert. Sie erzeugen selbst keine Kommandos für Muskelkontraktionen, sondern sind in einen Regelkreis für rückgekoppelte Verbindungen zwischen den Basalganglien, dem Thalamus und dem Kortex eingebunden. Die Basalganglien, zu denen auch die Substantia nigra und das Striatum gehören, sammeln und verarbeiten Informationen aus dem gesamten Kortex und stellen adäquate Informationen für den Teil des Kortex zur Verfügung, der für die Bewegungsvorbereitung und Ausführung zuständig ist (Gerlach, 2007). Durch den enormen Verlust dopaminerger Neurone kommt es zu einem Wegfall der hemmenden Wirkung auf das Striatum und damit zu einer Dominanz des inhibitorischen Outputs der Basalganglien an den Kortex. Dies führt zu einer Blockade der kortikalen motorischen Strukturen, wodurch die Hypokinese erklärt wird (Gerlach, 2007, Scharf und Weineck, 2004). Hier muss erwähnt werden, dass die Funktionen der Basalganglien in vielen Aspekten noch nicht geklärt sind. Es existieren Theorien, die Teile der Regelkreis-Theorie widerlegen. Dennoch konnte bisher kein Erklärungsmodell das bestehende vollständig ablösen.

Die charakteristische Parkinson-Symptomatik kommt klinisch erst zum Vorschein, wenn die dopaminergen Neurone des nigro-striatalen Systems um mehr als 60 % degeneriert sind. Bis zu diesem Zeitpunkt konnten die Einbußen, u.a. durch einen erhöhten Dopamin-Metabolismus, kompensiert werden (Gerlach, 2007). Bis dato existiert kein präsymptomatischer Test oder spezifischer Befund, der die Parkinson-Krankheit identifizieren könnte. Eine Diagnose stützt sich ausschließlich auf das klinische Erscheinungsbild. Dieses soll im nachfolgenden Unterkapitel näher erläutert werden.

### 2.3. Symptomatik

Das erste hier beschriebene motorische Kardinalsymptom wird häufig als Bradykinese, Akinese oder Hypokinese zusammengefasst und bezeichnet das gemeinsame Auftreten einer allgemeinen Bewegungsverlangsamung (Bradykinese), eines Mangels an Spontانبewegungen (Akinese) und einer Reduktion von Bewegungsamplituden (Hypokinese). Es äußert sich durch ein kleinschrittiges, schlurfendes Gangbild, eine verminderte Armpendelbewegung, eine reduzierte Finger- und Fußbeweglichkeit, Starthemmungen und Bewegungsblockaden (Freezing) oder auch durch schnelle Schritte (Festination), Störung rasch alternierender Bewegungen (Dysdiadochokinese) sowie auch in einer reduzierten Mimik (Hypomimie), einer leisen und monotonen Stimme (Hypophonie), einer Festination des Sprechens, Schluckstörungen (Dysphagie), einer Verkleinerung der Handschrift (Mikrographie) und einem verminderten Lidschlag (Scharf und Weineck, 2004, Gerlach, 2007, Gunkel, 2011).

Unter Rigor ist eine andauernde Erhöhung des Muskeltonus zu verstehen, die subjektiv häufig als ziehender Schmerz in den Extremitäten oder als Steifigkeit des gesamten Körpers wahrgenommen wird. Bei passiver Bewegung der Extremitäten ist über die gesamte Bewegungstrecke ein gleichförmiger, zäher Widerstand zu spüren (sog. „Zahnradphänomen“). Auch in Ruhe findet keine vollständige Entspannung statt. Sowohl Agonisten, als auch Antagonisten sind betroffen. Allerdings findet man eine stärkere Ausprägung in der Beugemuskulatur, was zur Parkinson-typischen vorgebeugten Körperhaltung führt (Scharf und Weineck, 2004).

Der Tremor bezeichnet eine unwillkürlich, rhythmisch aufeinander folgende Kontraktion antagonistisch wirkender Muskeln. Bei ca. 70 % der erkrankten Personen liegt ein distaler Ruhetremor mit einer konstanter Frequenz von 4-6 Hz vor (Scharf und Weineck, 2004). Bei mentaler oder psychischer Belastung kann der Tremor zunehmen. In einigen Fällen existiert ein zusätzlicher Haltetremor von 5-8 Hz. Der Tremor beginnt meist einseitig und geht nach mehr oder weniger langer Zeit auf die Gegenseite über. Auf der Ursprungsseite sind auch Bradykinese und Rigor stärker ausgeprägt. Die Seitendifferenz bleibt lebenslang erhalten (Gerlach, 2007).

Unter dem vierten Kardinalsymptom, der posturalen Instabilität ist eine Beeinträchtigung der motorischen Gleichgewichtskontrolle zu verstehen. Dieses Symptom führt zu einem enormen Anstieg des Sturzrisikos und damit auch

der Morbidität und Mortalität. Die posturale Instabilität tritt charakteristisch nicht bereits zu Beginn, sondern erst im Verlauf der Erkrankung auf und kennzeichnet somit den Übergang von einem leichten zu einem mittelschweren Krankheitsstadium. Eine genauere Betrachtung dieses Symptoms wird in Kapitel 3 vorgenommen.

Neben den motorischen Kardinalsymptomen zeichnet sich das Parkinson-Syndrom durch zahlreiche Minorsymptome aus. Zu ihnen gehören neuropsychologische Symptome wie eine Verlangsamung der geistigen Prozesse (Bradyphrenie), Frontalhirnfunktionsstörungen, subkortikale Demenz, Depressionen, Angst und Schlafstörungen sowie autonome, vegetative Dysfunktionen wie Blutdruckregulationsstörungen bei Veränderung der Körperposition (orthostatische Hypotonie), Blasenfunktionsstörungen (Detrusor-Sphinkter-Dyssynergie), Verstopfung (Obstipation), Überproduktion von Hautfetten (Seborrhö), vermehrtes Schwitzen und unvollständiger Verlust des Geruchsinns (Hyposmie) (Scharf und Weineck, 2004).

## 2.4. Therapie

Solange die Ätiologie für die Zelldegeneration beim idiopathischen Parkinson-Syndrom nicht bekannt ist und ein weiteres Absterben der Neurone nicht verhindert werden kann, ist eine kausale Therapie der Erkrankung nicht möglich. Daher muss sich die Behandlung auf eine Therapie der Symptome beschränken.

Der Goldstandard besteht aus einer medikamentösen Therapie durch eine Kombinations- und Langzeittherapie mit Levodopa. Diese Vorstufe des Dopamins wird von den verbliebenen dopaminergen Nervenendigungen aufgenommen und dort zu Dopamin abgebaut. Akinese, Rigor und Ruhetremor werden günstig beeinflusst (Scharf und Weineck, 2004). Aufgrund des progressiven Neuronenverlustes kann mit dem Fortschreiten der Erkrankung immer weniger Levodopa zu Dopamin metabolisiert werden. Das anfänglich gute Ansprechen auf die Medikamente in den ersten 3 – 5 Jahren lässt entsprechend nach. Die Langzeitbehandlung mit Levodopa führt aber auch zu einer Reihe von Nebenwirkungen wie On-Off-Fluktuationen, Dyskinesien, orthostatischer Dysregulation, Psychosen und Pseudohalluzinationen. Um Levodopa einzusparen und Spätkomplikationen hinaus zu zögern, werden sogenannte Dopaminagonisten eingesetzt. Zu ihnen gehören MAO-B-<sup>1</sup> und

---

<sup>1</sup> Monoaminoxidase-Typ-B-Inhibitor

COMT-Hemmer<sup>2</sup>, die u.a. den intrazerebralen Dopaminabbau blockieren. Auch nicht-dopaminerge Anti-Parkinson-Medikamente wie Anticholinergika, welche die verhältnismäßige Überaktivität von Acetylcholin unterdrücken und NMDA-Antagonisten<sup>3</sup>, welche die glutamaterge Überaktivität hemmen, werden eingesetzt. Sowohl die dopaminergen, als auch die nicht-dopaminergen Anti-Parkinson-Medikamente weisen zusätzlich eine Reihe von Nebenwirkungen auf. Beeinträchtigungen der Sprache sowie Gang- und Gleichgewichtsprobleme lassen sich durch eine medikamentöse Therapie kaum beeinflussen und erfahren eine zunehmende Verschlechterung im Krankheitsverlauf (Scharf und Weineck, 2004).

In einigen Fällen, wenn alle medikamentösen Behandlungsversuche ausgeschöpft sind und nicht tolerierbare Nebenwirkungen auftreten, gibt es die Möglichkeit operativ stereotaktisch durch Thermokoagulation oder durch intrazerebral implantierte Elektroden (tiefe Hirnstimulation) Zielstrukturen im Thalamus, im Globus pallidus interna oder im Nucleus subthalamicus auszuschalten bzw. zu stimulieren (Gunkel, 2011). Die Kardinalsymptome Bradykinese, Rigor und Tremor sowie starke Dyskinesien können deutlich eingedämmt werden (Gerlach, 2007). Dopa-resistente Symptome, wie die posturale Instabilität, Sprachprobleme, Freezing und kognitive Störungen sprechen nicht oder in einigen Fällen sehr gering auf die operativen Behandlungsmethoden an (Chastan et al., 2009, Shagam, 2008, Giroux, 2007, Maurer et al., 2003). Zu den Nachteilen der operativen Therapie zählen neben dem hohen Risiko einer Operation am Gehirn, häufig postoperative Depressionen und psychische Probleme.

Des Weiteren ist angeraten Parkinsonpatienten psychologisch zu betreuen. Zusätzlich zu den neuropsychologischen Minorsymptomen erfahren Patienten z.B. durch den partiellen Kontrollverlust über den eigenen Körper Angst und Befremdung. Häufig wird von den Patienten befürchtet durch die auffällige Symptomatik, wie z.B. den Ruhetremor, von der Umwelt als „Trinker“ wahrgenommen zu werden. Die therapeutischen Ziele liegen v.a. in der Förderung einer aktiven Krankheitsbewältigung und der Vermeidung einer sozialen Isolation des Patienten (Scharf und Weineck, 2004).

Einen großen Stellenwert besitzen ergänzende und unterstützende Bewegungstherapien im Rahmen von Physiotherapie, Ergotherapie, Logopädie und Sporttherapie. Besonders für Dopa-resistente Symptome, die sich mit der

---

<sup>2</sup> Catechol-O-Methyltransferase-Inhibitor

<sup>3</sup> N-Methyl-D-Aspartat

Progredienz der Erkrankung zu einer schweren Behinderung entwickeln können, sind sie die einzige und wichtigste Form der Therapie. Der Umfang und die Inhalte richten sich dabei nach den Symptomen, welche für den Patienten die größte Beeinträchtigung darstellen. Zu den allgemeinen Inhalten zählen das Verhindern von sekundären Erkrankungen, die aufgrund der zunehmenden Inaktivität entstehen können und das Erlernen von Bewegungsstrategien zur Bewältigung des Alltags. Motorische Fähigkeiten und Fertigkeiten wie das Gehen, Umdrehen, Körperpositionsänderungen, Sturzprävention, Haltung, Fingerfertigkeit, die generelle Kondition, besonders die Kraft und die Beweglichkeit werden geschult (Martin und Wieler, 2003).

Eine der größten aktuellen Herausforderungen in der symptomatischen Behandlung der Parkinson-Krankheit besteht darin, die Beeinträchtigungen durch die posturale Instabilität möglichst gering zu halten. Die posturale Instabilität soll daher im nachfolgenden Kapitel näher erläutert werden.

### 3. Posturale Instabilität bei Morbus Parkinson

Die posturale Instabilität gehört zu den am meisten beeinträchtigenden Krankheitszeichen der Parkinson-Krankheit. Wie bereits erwähnt, lässt sie sich kaum durch medikamentöse oder operative Therapien verbessern und schreitet mit dem progressiven Krankheitsverlauf weiter voran. Dadurch wird sie zu einer der größten Behinderungen im Alltag des Patienten. Die posturale Instabilität bedingt einen enormen Anstieg des Sturzrisikos und der damit erhöhten Morbiditäts- und Mortalitätsrate. Ein nicht zu unterschätzendes Problem ist dabei auch die Angst der Patienten vor einem Sturz, was zu einer immer größer werdenden Immobilität führt. Inwiefern die Lebensqualität der Parkinson-Patienten durch die posturale Instabilität eingeschränkt wird, verdeutlicht besonders gut der „sturzbezogene Teufelskreis“ in der nachfolgenden Abbildung.

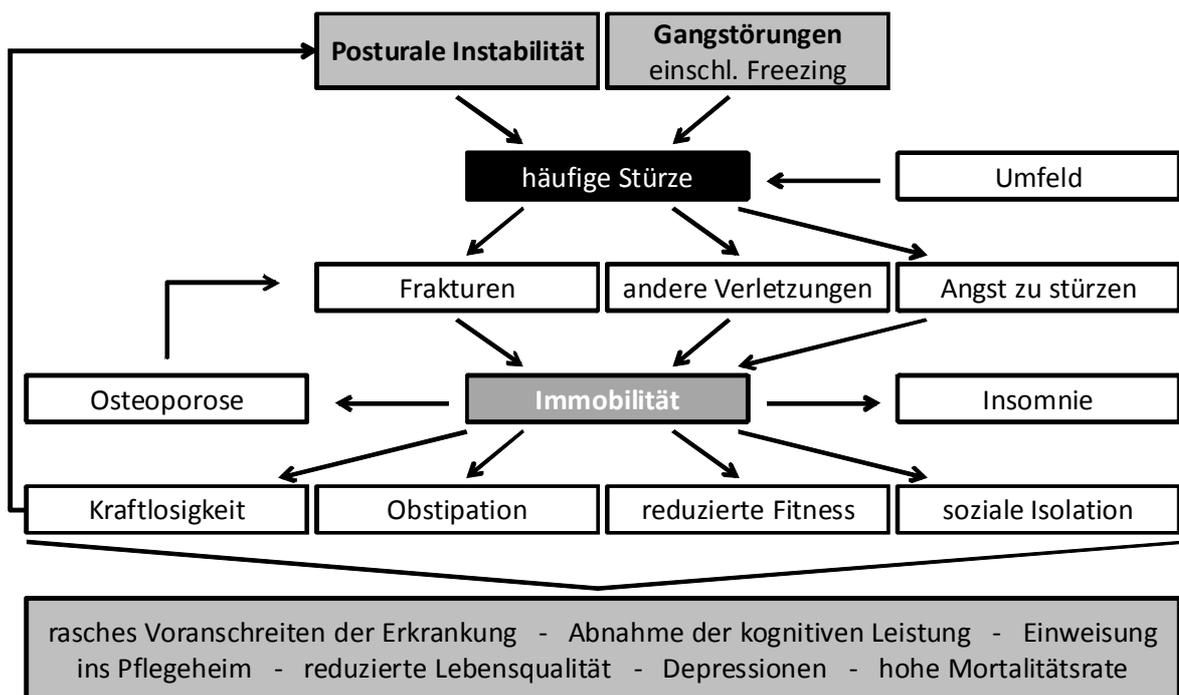


Abb. 1: "Sturzbezogener Teufelskreis" bei Morbus Parkinson übersetzt nach Bloem et al. (2004)

Die Verwendung unterschiedlicher, teilweise synonym angewandter Begriffe wie posturale Instabilität und Gleichgewichtsstörungen bzw. posturale Stabi-

lität, Gleichgewichtsfähigkeit und posturale Kontrolle erfordern eine kurze Besprechung zum besseren Verständnis der nachfolgenden Kapitel.

Gleichgewicht (engl. balance, equilibrium) ist im physikalischen/chemischen Sinne ein Zustand eines Systems, in dem sich entgegengesetzt wirkende Kräfte, Drehmomente oder ablaufende Reaktionen einander aufheben. Das Gesamtsystem muss sich dabei nicht in Ruhe befinden. Man spricht dann von einem dynamischen Gleichgewicht. Unter der motorischen Gleichgewichtsfähigkeit versteht man die Fähigkeit den eigenen Körper durch Ausgleichsbewegungen in einer statischen oder dynamischen Gleichgewichtslage zu belassen (Röthig et al., 1992, Meinel, 2004, Duden, 2007). Stabilität (lat. stabilitas) kann als Synonym für das Gleichgewicht eingesetzt (Duden, 2007) oder als Zustand eines Systems verstanden werden, welches bei kleinen Abweichungen vom Gleichgewicht danach strebt, den Gleichgewichtszustand wieder einzunehmen (Spektrum, 2000). So beschreiben Opara et al. (2005) die posturale Stabilität als eine Fähigkeit des Körpers eine Position nach einem destabilisierenden Reiz wieder zu erlangen. Nach dieser Beschreibung ist verständlich, dass zumindest die posturale Stabilität eine funktionierende motorische Gleichgewichtsfähigkeit voraussetzt. Die posturale Kontrolle beinhaltet sowohl die Aufrechterhaltung des motorischen Gleichgewichts, als auch die posturale Stabilität. Sie ist abhängig von der korrekten Wahrnehmung der Umgebung durch periphere Sensorsysteme und der Verarbeitung und Integration des vestibulären, visuellen und propriozeptiven Inputs auf der Ebene des zentralen Nervensystems, zur Generierung passender Muskelsynergien (Ruhe et al., 2010). Da aus einigen Publikationen nicht klar hervorgeht, ob eine Unterscheidung dieser Begriffe getroffen wird, wird im Folgenden die jeweilige Wortwahl der Autoren verwendet.

Die nachfolgenden Unterkapitel verdeutlichen das hohe Sturzrisiko, zeigen auf, in welchen Situationen es zum Sturz kommt, wie eine charakteristische Sturzreaktion bei Parkinsonpatienten aussieht, welche pathophysiologischen Erklärungen zugrunde liegen und worin der bisherige therapeutische Ansatz besteht.

### **3.1. Sturzrisiko**

Im Krankheitsverlauf erfahren bis zu 87 % der Parkinsonpatienten mindestens einen Sturz (Hely et al., 2008). Jeder zweite von denen, die schon einmal gestürzt sind, erfährt mehr als einen Sturz im Jahr (Gray und Hildebrand, 2000, Bloem et al., 2001a). Daher müssen Patienten mit Sturzgeschichte als Ri-

sikopatienten für erneute Sturzereignisse eingestuft werden. Kommt es zu rezidivierenden Stürzen, sinkt die Lebenserwartung um durchschnittlich 7 Jahre (Bloem et al., 2004). 35 % aller Stürze haben Frakturen und schwere Verletzungen zur Folge (Hely et al., 2008, Bloem et al., 2001a). Insgesamt besitzen Parkinson-Patienten ein 3,5-fach erhöhtes Sturzrisiko im Vergleich zu gleichaltrigen Gesunden und ein bis zu 9-fach erhöhtes Risiko an rezidivierenden Stürzen zu leiden (Bloem et al., 2001a). Das Risiko einen Sturz zu erfahren steigt mit dem Fortschreiten der Erkrankung (Gray und Hildebrand, 2000) und paradoxerweise auch durch die medikamentöse Therapie (Vestergaard et al., 2007). Die Anti-Parkinson-Medikation bewirkt eine Verbesserung der Mobilität, jedoch nicht der Gleichgewichtskontrolle. Daher ist es nicht verwunderlich, dass die meisten Stürze im On-Stadium zwei Stunden nach einer Mahlzeit und der Medikamenteneinnahme vorkommen (Gray und Hildebrand, 2000).

### **3.2. Sturzsituationen**

Typische Aktivitäten in denen es für Parkinsonpatienten zu einem Sturz kommt sind Gehen, Umdrehen, Stehen und Aufstehen. Als häufigste Ursache für einen Sturz werden v. a. Freezing, Benommenheit, unwillkürliche Bewegungen und Tremor genannt (Gray und Hildebrand, 2000). Des Weiteren besteht ein erhöhtes Sturzrisiko zu Beginn komplexer Bewegungsabläufe, wenn motorische Handlungen parallel ausgeführt oder zusätzliche kognitive Aufgaben bewältigen werden. Es hat den Anschein, als würden Parkinsonpatienten auf Kosten der Gang- und Gleichgewichtssicherheit ihre gesamte Aufmerksamkeit der zusätzlichen Aufgabe widmen, wodurch der destabilisierende Effekt zusätzlicher Aufgaben erklärt werden kann (Gunkel, 2011, Bloem et al., 2006, Bloem et al., 2001a, Bloem et al., 2004). 79 % der Stürze sind intrinsischer Natur und durch Gleichgewichtsstörungen bedingt. Seltener werden äußere Bedingungen, wie Bodenunebenheiten, genannt (Bloem et al., 2001a).

### **3.3. Sturzreaktion**

Parkinsonpatienten besitzen ein spezifisches krankheitscharakteristisches Sturzmuster. Protektive Ausgleichsbewegungen, ausgeführt um einen bevorstehenden Sturz zu verhindern oder abzumildern, sind mangelhaft ausgeprägt. Kommt es zu einem Sturz, ist die Armhaltung von Parkinsonpatienten allgemein durch eine geringere Flexion und eine größere Adduktion an den Kör-

per im Vergleich zu Gesunden geprägt. Das reflektorische Greifen nach einem Halt oder die Durchführung einer Gegenbewegung kann nicht ausgeführt werden (Carpenter et al., 2004). Dies erklärt, warum bei Stürzen von Parkinsonpatienten kaum Handgelenksverletzungen und dagegen vermehrt Hüftfrakturen registriert werden (Grimbergen et al., 2004, Sato et al., 2001). Ähnliche Schwierigkeiten bestehen darin einen Ausgleichsschritt zu initiieren. Es fehlt die antizipatorische Gewichtsverlagerung auf ein Bein, um das kontralaterale Bein schwingen zu können (King und Horak, 2008). Wenn es ihnen gelingt einen Ausgleichsschritt durchzuführen, ist dieser meist bradykinetischer und hypometrischer Natur (Jacobs und Horak, 2006, King und Horak, 2008).

Aufgrund der Steifigkeit, die durch eine erhöhte Hintergrundaktivität und eine Co-Kontraktion von Agonisten und Antagonisten messbar ist, sind schnelle protektive und korrektive Ausgleichsbewegungen stark eingeschränkt (Grimbergen et al., 2004). Die Rigidität v.a. am Rumpf und in den Kniegelenken führt dazu, dass sich der menschliche Körper als eine Art umgekehrtes Pendel verhält. Schwankungen sind somit viel schwerer auszugleichen. Selbst kleinere Auslenkungen können so das Gleichgewicht ernsthaft gefährden (Horak et al., 2005).

Als korrektive Ausgleichsbewegung verwenden vier von fünf stärker betroffenen Parkinsonpatienten statt der normalen distal-proximal Strategie (auch Fußgelenkstrategie) eine proximal-distal Strategie (auch Hüftgelenkstrategie). Dabei versuchen die Parkinson-Patienten zunächst durch Bewegungen mit der Hüfte das Gleichgewicht wieder zu erlangen, was häufig weniger erfolgversprechend ist und den Sturz nicht abwenden kann (Beckley et al., 1991, Colnat-Coulbois et al., 2011).

Mehrere unabhängige Studien beschreiben die posturale Antwort von Parkinsonpatienten auf eine Auslenkung aus dem Standgleichgewicht, bei der eine Rotation um das Fußgelenk, in die sog. toe-up – Richtung ausgeführt wird, mit einer Erhöhung der Amplitude und Dauer der destabilisierenden mittleren Latenz im gedehnten M. gastrocnemius sowie einer nicht modifizierbaren, verspäteten und reduzierten stabilisierenden langen Latenz im M. tibialis anterior (Beckley et al., 1993, Bloem et al., 1996, Scholz et al., 1987, Bloem et al., 1995, Beckley et al., 1991). Andere Autoren berichten von einer Zunahme der Amplitude der langen Latenz (Dietz et al., 1988). Eine Umkehr von einer distal-proximal Aktivierung der langen Latenz-Antworten zu einer proximal-distal Aktivierung sowie eine Amplitudenzunahme der mittleren

Latenz konnte allein durch eine vorgebeugte Körperhaltung von gesunden Probanden erzeugt werden (Beckley et al., 1991). Man geht aber nicht davon aus, dass die vorgebeugte Haltung allein für die veränderten posturalen Reflexe verantwortlich ist. Darüber hinaus zeigen Parkinsonpatienten eine richtungsabhängige Prädisposition für Stürze nach hinten und zur Seite (Dimitrova et al., 2004, Carpenter et al., 2004, Beckley et al., 1991, Horak et al., 2005).

Allgemein kann die Sturzreaktion von Parkinsonpatienten als ineffektiv und unflexibel beschrieben werden (Horak et al., 1992, Beckley et al., 1993, Colnat-Coulbois et al., 2011).

### 3.4. Ursachen

Die Pathophysiologie der Gleichgewichtsstörungen von Parkinsonpatienten ist bis heute noch nicht hinreichend geklärt (Chastan et al., 2009). Bisher wird von einer multifaktoriellen Ätiologie ausgegangen. Hinzu kommt, dass höchstwahrscheinlich verschiedene Bereiche des Nervensystems involviert sind, was eine Erklärung der genauen Ursache weiter erschwert. Folgende Aspekte tragen zum Gesamtbild der posturalen Instabilität bei und sollen konsekutiv näher erläutert werden:

- gestörte posturale Reflexe
- Bradykinese und Rigor
- verminderte und verlangsamte Kraftgenerierung
- Visusstörung
- verminderte mechanische Sensibilität
- kognitive Störungen
- orthostatische Hypotonie
- Dyskinesien
- Polypharmakologie

In der Beschreibung der Sturzreaktion wurde bereits deutlich, dass die posturale Instabilität bei Parkinsonpatienten durch ein inadäquates und unflexibles posturales Antwortverhalten gekennzeichnet ist. Die pathophysiologische Grundlage der gestörten posturalen Reflexe ist bis heute nicht einheitlich erklärt. Das aktuelle Verständnis soll nachfolgend kurz dargestellt werden.

Man geht davon aus, dass die vestibuläre und propriozeptive Informationsaufnahme nicht beeinträchtigt bzw. nicht maßgeblich an der posturalen Insta-

bilität beteiligt sind (Colnat-Coulbois et al., 2005, Pastor et al., 1993, Rickards und Cody, 1997, Demirci et al., 1997, Mongeon et al., 2009). Die sensorischen und motorischen Nervenleitgeschwindigkeiten entsprechen denen von gesunden Probanden (Nolano et al., 2008). Am Nucleus caudatus und der Substantia nigra von Katzen konnte nachgewiesen werden, dass die Basalganglien die Befähigung besitzen multisensorische Informationen zu integrieren (Nagy et al., 2006). Als primäre Ursache wird daher eine gestörte zentrale Integration gleichgewichtsbezogener, sensorischer Informationen angesehen (Bronte-Stewart et al., 2002, Grimbergen et al., 2004, Maschke et al., 2003, Seiss et al., 2003, Colnat-Coulbois et al., 2011, Abbruzzese und Berardelli, 2003, Brown et al., 2006). Die meisten posturalen Reflexe laufen auf spinaler Ebene ab, stehen aber unter supraspinaler Kontrolle. Monosynaptischen Reflexen werden in der Haltungskontrolle eine untergeordnete Rolle zugewiesen (Dietz et al., 1988). „Short latency responses are generally considered too small to make a significant contribution to stance control” (Bloem et al., 1995, S.110). Protektive Reaktionen, die einen möglichen Sturz verhindern sollen, wie das Greifen mit den Armen oder der kompensatorische Ausgleichsschritt können vom ZNS beeinflusst werden, um auf die entsprechende Umgebung zu reagieren (Zettel et al., 2002). Dies erklärt aber nicht, warum die posturale Instabilität typischerweise erst mit fortgeschrittener Erkrankungsdauer auftritt und nicht auf die Anti-Parkinson-Medikation anspricht bzw. dadurch sogar verschlechtert wird (Bloem et al., 1996, Maurer et al., 2003). Es liegt nahe, dass neben den Basalganglien auch nicht-dopaminerge und extrastriatale Regionen, wie der Nucleus pedunculopontinus und das supplementär motorische Areal als mögliche Ursprungsorte in Betracht gezogen werden (Karachi et al., 2010, Tagliabue et al., 2009, Mongeon et al., 2009, Pahapill und Lozano, 2000). Ein weiterer Erklärungsversuch besteht darin, dass Störungen der posturalen Kontrolle so lange kompensiert werden können, z.B. durch einen größeren Einfluss der visuellen Informationen, dass eine auffällige posturale Instabilität erst später eintritt (Azulay et al., 2002, Schubert et al., 2005, Brown et al., 2006, Klockgether et al., 1995).

Eine sekundäre Ursache für die posturale Instabilität wird in den Kardinalsymptomen Bradykinese und Rigor gesehen. So führen die typische vorgebeugte Körperhaltung, die eng am Rumpf gehaltenen, gebeugten Arme, das fehlende Mitschwingen der Arme, das kleinschrittige, schlurfende Gangbild, eine verminderte Schritthöhe, Freezing und Festinationen dazu, dass Parkinsonpatienten mit fortschreitendem Krankheitsverlauf für Stürze prädestiniert

sind (Gunkel, 2011). Die gestörten posturalen Reflexe, so Bloem et al. (1992), können größtenteils durch die kombinierte Präsenz einer vorgebeugten Haltung und Rigor erklärt werden. Horak et al. (2005) sprechen in diesem Zusammenhang von der „posturalen Bradykinese“.

Der Einfluss einer mangelnden Beinkraft auf die posturale Instabilität wird ebenfalls diskutiert. So sollen größere posturale Schwankungen z.B. nicht mehr durch einen genügend kräftigen Ausgleichsschritt abgefangen werden können. In der Tat ist eine verminderte und verlangsamte Kraftgenerierung Teil des typischen Krankheitsbildes der Parkinson-Erkrankung. Sie ist bereits zu Beginn der Erkrankung festzustellen und progressiv im Verlauf (Bridgewater und Sharpe, 1998). Die Abnahme der Muskelkraft beträgt nach Messungen von Corcos et al. (1996) in den Extensoren ca. 34 % und in den Flexoren ca. 10 %. Dies entspricht den Beobachtungen von Dietz et al. (1993), dass Parkinsonpatienten überwiegend die Beinflexoren aktivieren, um das Gleichgewicht zu halten, während die gesunden Probanden überwiegend die Extensoren aktivieren. Die schwächeren Extensoren sind für Schwierigkeiten z.B. beim Aufstehen von einem Stuhl und für die gebeugte Haltung verantwortlich und durch eine Abnahme der tonischen Aktivierung bedingt. Des Weiteren ist die reduzierte Kraft auf eine reduzierte Fähigkeit schnelle Kontraktionen zu generieren zurückzuführen. Parkinsonpatienten mit moderater Bradykinese benötigen bis zum Erreichen der Maximalkraft 3 – 4 Sekunden, gesunde Probanden hingegen weniger als eine Sekunde (Corcos et al., 1996, Nogaki et al., 2001). Die Muskulatur der stärker betroffenen Seite ist von dem Kraftverlust stärker betroffen als die weniger betroffene Seite (Nogaki et al., 1995, Kakinuma et al., 1998). Die Ursache der Abnahme der Muskelkraft ist primär zentralen Ursprungs. So konnten keine Unterschiede zwischen Patienten und Gesunden festgestellt werden, wenn die Kraft elektrisch stimuliert wurde. Ein gutes Ansprechen der Kraftleistung auf die Anti-Parkinson-Medikation ist ein weiterer Hinweis dafür (Yanagawa et al., 1990, Corcos et al., 1996). Die sekundäre Ursache für die Abnahme der Muskelkraft ist in einer zunehmenden Immobilität der Probanden zu sehen. Die Restriktionen durch das zumeist hohe Alter in Verbindung mit der gesamten Parkinson-Symptomatik führen häufig zu einer enormen Einschränkung der körperlichen Aktivität und somit zu einer weiteren Atrophie der Muskulatur.

Einen weiteren Einfluss auf die posturalen Instabilität könnten auch die visuellen Störungen bei Parkinsonpatienten nehmen. Durch die Degeneration dopaminerger Neurone der Retina kommt es im Krankheitsverlauf zu einer

progressiven Farbdiskriminations-Schwäche und einer Beeinträchtigung des Kontrastsehens (Gerlach, 2007). Zu den Visusstörungen zählen auch Augenbewegungsstörungen, die sich durch einen verminderten Lidschlag, einer leichten Einschränkung der Blickbewegung nach oben, Akkomodationsstörungen und verzögerten Sakkaden verringerter Amplitude äußern (Scharf und Weineck, 2004). Hely et al. (2008) detektierten u.a. Probleme des räumlichen Sehens als Sturzursache bei Parkinsonpatienten. Trotz dieser Beeinträchtigungen der visuellen Informationen bestätigten mehrere Studien, dass bei Parkinsonpatienten die Gleichgewichtskontrolle besonders stark vom visuellen Input abhängt, bzw. dass diese ohne visuellen Input in besonders hohem Maße gestört ist. Es scheint, als müsste die visuelle Komponente in besonderem Maße kompensatorisch tätig werden, um Störungen in anderen Bereichen auszugleichen (Azulay et al., 2002, Schubert et al., 2005, Klockgether et al., 1995).

Kaum beachtet ist der Einfluss der mechanischen Sensibilität der Fußsohle auf die Kontrolle des Ganges und der posturalen Stabilität (Perry et al., 2000). Diese mechanische Sensibilität ist bei Parkinsonpatienten deutlich vermindert (Prätorius et al., 2003). Nolano et al. (2008) untersuchten *in vivo* die Hautschichten von Parkinsonpatienten und beschrieben einen Verlust von Nervenfasern in der Epidermis, auffällige Faserschwellungen in den noch intakten Fasern sowie einen Verlust freier Nervenendigungen und Meissner Körperchen.

Bloem et al. (2006) und Camicioli et al. (2010) machten die Beobachtung, dass Parkinsonpatienten mit kognitiven Störungen ein höheres Sturzrisiko aufweisen. Zu den kognitiven und psychischen Störungen gehören v.a. Depression, Demenz und Bradyphrenie, aber auch im Rahmen des sogenannten Levodopa-Langzeitsyndroms Psychosen, Unruhe und Wahrnehmungsstörungen wie Halluzinationen. Angststörungen treten bei ca. 40 % der Parkinsonpatienten auf (Scharf und Weineck, 2004). Hervorzuheben ist die Angst vor Bewegungsblockaden und Stürzen. Sie führt zu einem besonders vorsichtigen und insgesamt reduzierten Bewegungsverhalten der Betroffenen. Damit tragen diese Ängste zu einer weiteren Immobilisation und deren ungünstigen Folgen für das Sturzrisiko bei. Friedman et al. (2002) zeigten für ältere, gesunde Probanden einen Zusammenhang zwischen einer größeren Angst vor Stürzen und einem erhöhten Sturzrisiko.

Als weitere Sturzursache wird die orthostatische Hypotonie genannt. Sie zählt zu den Minorsymptomen, hervorgerufen durch die sympathische

Denervation, aber auch als Nebenwirkung einer chronischen Levodopa-Substitution (Goldstein et al., 2002, Bloem et al., 2001a, Gunkel, 2011, Scharf und Weineck, 2004). Stürze infolge einer orthostatischen Hypotension werden dennoch relativ selten angegeben.

Plötzlich auftretende medikamenteninduzierte Dyskinesien können während der Durchführung von Alltagsaktivitäten das Gleichgewicht herausfordern. Auch sie werden im Zusammenhang mit Stürzen und dort besonders mit Stürzen, die zu Verletzungen führen genannt (Gray und Hildebrand, 2000).

Der Einfluss einer Polypharmakologie, wie sie häufig bei älteren Menschen und auch bei Parkinsonpatienten vorkommt, sollte im Hinblick auf mögliche Ursachen für eine posturale Instabilität ebenfalls Beachtung finden.

Weiterhin ist zu bedenken, dass die Fähigkeit zur motorischen Kontrolle des Gleichgewichts generell mit dem Alter abnimmt. Untersuchungen von Gray et al. (2000) zeigten zwar, dass die Anzahl an Stürzen stärker mit der Dauer und dem Schweregrad der Erkrankung korrelieren als mit dem Alter. Dennoch ist die posturale Instabilität zumindest nicht ausschließlich auf pathophysiologische Ursachen zurückzuführen (Romero und Stelmach, 2003). Es wird vermutet, dass ein gewisser Grad der Symptomausprägung weder der Erkrankung noch dem Alter zugeschrieben, sondern durch die Gesundheit und körperliche Fitness der Person modifiziert werden kann.

Die dargestellten Ursachen für die Erklärung der posturalen Instabilität von Parkinsonpatienten bedingt durch die Krankheit, durch Komplikationen der Behandlung, durch das Alter und durch eine zunehmende Immobilisation macht deutlich, dass ein möglichst umfassender therapeutischer Ansatz zur Behandlung der posturalen Instabilität notwendig ist. Der Therapie der posturalen Instabilität widmet sich das nachfolgende Kapitel.

### **3.5. Therapie**

Wie bereits erwähnt lässt sich die posturale Instabilität durch eine medikamentöse Therapie kaum verbessern. Eine Levodopa-Substitution führt in Untersuchungen zu keiner Reduzierung der erhöhten Amplitude der destabilisierenden mittleren Latenz bei einer plötzlichen Dorsalflexion sowie zu keiner Verringerung des Schwankens nach posterior. Allein die Amplitude der stabilisierenden langen Latenz wurde durch die Gabe von Levodopa in geringem Maße erhöht (Bloem et al., 1996). Die Autoren vermuten daher eine Beteili-

gung sowohl von nicht-dopaminergen als auch von dopaminergen Schädigungen an der posturalen Instabilität. Viele Patienten beklagen sogar Verschlechterungen der Gleichgewichtsfähigkeit durch die Einnahme der Anti-Parkinson-Medikation. Tatsächlich wurde in einigen Studien gezeigt, dass das Ausmaß des Schwankens in statischen und dynamischen Situationen durch eine Levodopa-Substitution zunahm (Bronte-Stewart et al., 2002, Rocchi et al., 2002, Horak et al., 1996).

Da sich die posturale Instabilität häufig erst bei fortgeschrittener Erkrankung manifestiert und kaum auf eine Levodopa-Substitution anspricht, wird eine Beteiligung nicht-dopaminerger Schädigungen vermutet. Karachi et al. (2010) konnten überwiegend an Tierversuchen zeigen, dass bei einem fortgeschrittenen dopaminergen Zellverlust der Substantia nigra auch ein cholinerges Zellverlust von bis zu 30 % im Nucleus pedunculo-pontine vorzufinden ist. Dieser Neuronenverlust ist bei Vorhandensein einer ausgeprägten posturalen Instabilität größer. Die Autoren vermuten daher hier einen neuen Ansatz pharmakologischer Behandlung. Das Problem liegt derzeit in den Limitationen der Spezifität der cholinergen Manipulation des Nucleus pedunculo-pontine.

Auch die operative Therapie konnte bisher keine zufriedenstellende Verbesserung der posturalen Instabilität erreichen. Die unilaterale Pallidotomie zeigte in einzelnen Studien eine Verbesserung bei Patienten im fortgeschrittenen Stadium der Erkrankung (Bronte-Stewart et al., 2002), allerdings wurde ebenfalls beobachtet, dass die Symptome nach einigen Monaten zurückkehren oder sich bereits nach der Operation verschlechterten (Colnat-Coulbois et al., 2005). Die wissenschaftliche Lage bleibt hier besonders durch einen Mangel an Langzeitstudien sowie eine überaus schlechte Vergleichbarkeit mit anderen Studien kontrovers. Als Standardoperation hat sich in den letzten Jahren weltweit die tiefe Hirnstimulation (engl. deep brain stimulation) etabliert (Maurer et al., 2003, Alberts et al., 2008). Die Stimulation des Nucleus subthalamicus, Globus pallidum interna, der Substantia nigra pars reticulata und des Nucleus pedunculo-pontine wurde in einzelnen Studien hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die posturale Instabilität untersucht. Einige Autoren beschreiben Verbesserungen hinsichtlich des Schwankens (Rocchi et al., 2002) und sogar eine Reduzierung der Sturzanfälligkeit (Colnat-Coulbois et al., 2005, Moro et al., 2010), andere berichten hingegen von Verschlechterungen ähnlich wie unter Levodopa-Substitution (Maurer et al., 2003). Trotz immer besserer Methoden werden einer Reihe von schweren Folgeschäden und Komplikationen verzeichnet (Herzog et al., 2003, Chastan et al., 2009).

Insgesamt sind die Ergebnisse nicht eindeutig zu interpretieren. Die Studien- und Probandenanzahl ist zu gering und es fehlt an Langzeitstudien (Alberts et al., 2008, Rocchi et al., 2002). Eine schlechte Vergleichbarkeit der Studien ergibt sich zusätzlich aus der Diversität der Beurteilung der posturalen Instabilität durch unterschiedlichste Verfahren wie z.B. qualitative Kommentare, Retropulsionstest, posturographische Verfahren sowie Anwendung unterschiedlicher Rating-Skalen.

Aufgrund des ungenügenden Ansprechens auf eine medikamentöse und operative Behandlung steht die posturale Instabilität besonders im Fokus der Bewegungstherapie (Jöbges et al., 2007). Allerdings sind auch bewegungstherapeutische Maßnahmen nicht in der Lage Einfluss auf die Pathophysiologie zu nehmen. Überwiegend werden präventive und kompensatorische Strategien vermittelt, um die Beeinflussung durch die motorischen Symptome im Alltag möglichst gering zu halten. Die Trainingsinhalte reichen von Gleichgewichts- und Stabilitätsübungen über Kräftigungsübungen für die Beinmuskulatur, der Vermittlung motorischer Strategien und Aufmerksamkeitsstrategien bis zur Aufklärung über die sturz sichere Gestaltung des häuslichen Umfeldes (Gunkel, 2011, Opara et al., 2005, Marsden, 1994). Eine allgemeine Richtlinie oder praktische Anleitung für die Bewegungstherapie bei vorhandener posturaler Instabilität existiert bis dato nicht. Hinzu kommen Mängel in der täglichen Praxis. Vielen Physiotherapeuten fehlt es an Parkinsonspezifischer Erfahrung und Ausbildung (Keus et al., 2009, Keus et al., 2007). Eine allgemeine Aussage über den Einfluss bewegungstherapeutischer Maßnahmen auf die posturale Instabilität oder die Präferenz für eine bestimmte Trainingsmaßnahme kann nicht ohne weiteres getroffen werden (Deane et al., 2001a). Zu unterschiedlich sind die angewandten Interventionen und Untersuchungsmethoden. Bisher existiert kein Goldstandard in der Quantifizierung der posturalen Instabilität von Parkinsonpatienten. Mit dieser Problematik beschäftigt sich das nachfolgende Kapitel.



## 4. Beurteilung der posturalen Stabilität

Eine objektive Quantifizierung der posturalen Stabilität ist notwendig, um die Effektivität von Therapiemaßnahmen zu bewerten und das individuelle Sturzrisiko der Patienten abzuschätzen. In der Literatur finden sich zahlreiche Gleichgewichts- und Stabilitätstests zur Beurteilung der posturalen Instabilität bei Parkinsonpatienten. Diese Diversität führt dazu, dass Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit von Studienergebnissen kaum möglich sind. Im vorliegenden Kapitel werden besonders häufig angewandte Testverfahren vorgestellt. Aufgrund der unüberschaubaren Vielfalt kann und wird kein Anspruch an Vollständigkeit erhoben. Für einen besseren Überblick werden diese in alltagsmotorische, biomechanische und subjektive Testverfahren untergliedert.

### 4.1. Alltagsmotorische Testverfahren

Unter alltagsmotorischen Testverfahren werden hier Gleichgewichts- und Stabilitätstests zusammengefasst, in denen einfache gleichgewichtsherausfordernde Bewegungsübungen vom Probanden durchgeführt werden. Der Untersucher bewertet die ausgeführte Übung meist anhand einer Skala. Der Versuchsaufbau ist unaufwendig und häufig mit wenigen Hilfsmitteln fast überall durchführbar.

#### Functional Reach Test (FRT)

Der Functional Reach Test ist ein einfach durchzuführender und häufig angewandter Gleichgewichtstest. Er wurde 1990 von Pamela W. Duncan zur Untersuchung der individuellen Stabilitätsgrenzen eingeführt (Duncan et al., 1990).

Wird der Körperschwerpunkt über die Stabilitätsgrenze hinaus verlagert, kommt es zu einem Sturz, wenn nicht entsprechende Gegenbewegungen, z.B. ein kompensatorischer Schritt, durchgeführt werden. Bei Parkinsonpatienten sind diese Grenzen im Vergleich zu gesunden Probanden verringert (Blaszczyk et al., 2007). Kleinere Auslenkungen können zu einem Überschreiten der Stabilitätsgrenzen führen. Da Parkinsonpatienten häufig mangelhafte oder keine Ausgleichsbewegungen initiieren, sind sie somit besonders sturzgefährdet. Diese Sturzgefahr versucht man mit Hilfe des Functional Reach Tests zu quantifizieren.

Der Test an sich besteht aus einer Messung der maximalen Vorneigungsfähigkeit. Der Proband beugt sich aus dem normalen, sicheren Stand mit auf Schulterhöhe vorgestreckten Armen maximal nach vorne ohne die Füße vom Boden abzuheben. Die maximale Distanz zwischen der Start- und der Endposition eines anatomischen Punktes an der Hand quantifiziert dabei die maximale Reichweite. Ein an einem Zentimetermaß angebrachter verschiebbarer Balken dient häufig zum Ablesen der Distanz. Nach Duncan et al. (1990) war es erlaubt die Fersen während des Vorlehns vom Boden abzuheben. In aktuellen Studien wird aus Gründen einer höheren Standardisierung darauf geachtet, dass die Fersen am Boden bleiben. Die Messung kann mit einem Arm oder mit beiden Armen ausgeführt werden. Das einarmige Vorreichen korreliert stärker mit dem Ausschlag des plantar gemessenen Druckmittelpunktes, führt aber in der Ausführung zu einer Verwringung des Rumpfes und einem Verschieben der Schulter. Insgesamt lässt sich mit der einarmigen Variante eine weitere Distanz erzielen. Einige Autoren empfehlen für die Abstandsmessung den posteriorsten Punkt der Ferse und einen anatomischen Marker der Handregion zu wählen. Der posteriorste Punkt an der Ferse ist im Gegensatz zu einem mehr kranial gelegenen Punkt oder auch einem plantaren Druckverteilungszentrum für jede Wiederholung identisch (Kage et al., 2009).

Für gesunde Probanden gilt der Functional Reach Test als ein valides und reliables Messinstrument der posturalen Stabilität. Weiterhin existieren Normwerte in Abhängigkeit vom Alter (Duncan et al., 1992, Duncan et al., 1990). Für Parkinsonpatienten wird eine Test-Retest-Reliabilität von .73 und ein Minimal-detectable-change (kleinste bedeutsame Veränderung) von 9 cm berichtet (Steffen und Seney, 2008). Mehrere Studien bestätigen einen signifikanten Unterschied zwischen Parkinsonpatienten, die bereits einen oder mehrere Stürze erfahren haben und Parkinsonpatienten ohne einen Sturz im letzten halben Jahr (Dibble und Lange, 2006, Behrman et al., 2002). Des Weiteren nimmt die Reichweite mit dem Verlauf der Erkrankung weiter ab (Stack et al., 2005). In einigen Studien wurde versucht durch einen festgelegten Richtwert Parkinsonpatienten mit einem hohen Sturzrisiko von Parkinsonpatienten mit einem niedrigen Sturzrisiko zu unterscheiden. Diese Versuche müssen allerdings als nicht praktikabel bewertet werden. Die Sturzfaktoren wie auch die Ausprägungen der Erkrankung sind so unterschiedlich und zahlreich, dass die Autoren fast einheitlich zu dem Schluss kommen, dass ein einzelner Test dieser Diversität nicht gerecht werden kann. Der Functional Reach Test testet auf einfache Weise eine Dimension des Gleichgewichts. Es

ist unwahrscheinlich, dass die Beurteilung des Sturzrisikos mit einem einzigen Instrument durchzuführen ist. Es wird empfohlen den Functional Reach Test als Bestandteil einer Testbatterie zur Beurteilung der Gleichgewichtsfähigkeit und des Sturzrisikos anzuwenden (Behrman et al., 2002, Brusse et al., 2005, Stack et al., 2005, Jacobs et al., 2006a). Tabelle 1 zeigt Beispiele aus der Literatur.

**Tab. 1: Ergebnisse (MW  $\pm$  SD) zum Functional Reach Test bei Parkinsonpatienten**

PP (Faller)	PP (allg. oder Non-Faller)	GG	n	Methodik	Autor
-	-	22 $\pm$ 7 cm	-/41	beide Arme	(Kage et al., 2009)
-	21 $\pm$ 6 cm	-	-/37/-	ein Arm	(Steffen und Seney, 2008)
23 $\pm$ 8 cm	32 $\pm$ 6 cm	-	25/20/-	ein Arm	(Dibble und Lange, 2006)
-	28 $\pm$ 9 cm	38 $\pm$ 8 cm	-/67/67	?	(Jacobs et al., 2006a)
28 $\pm$ 9 cm	33 $\pm$ 5 cm	36 $\pm$ 7 cm	30/13/15	ein Arm	(Behrman et al., 2002)

### Retropulsionstest

Der Retropulsionstest oder Pulltest ist der in der klinischen Praxis am häufigsten verwendete Test zur Evaluierung der posturalen Instabilität (Visser et al., 2003). Dieser einfach durchzuführende Test ist besonders beliebt, da keine zusätzlichen Utensilien und kein zusätzliches Personal benötigt werden. Darüber hinaus ist er das einzige Item zur Beurteilung der posturalen Instabilität in der Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS), welche den Goldstandard zur umfassenden Einschätzung der Beeinträchtigungen durch die Parkinson-Krankheit darstellt. Für den Test steht der Proband mit geöffneten Augen und leicht auseinander stehenden Füßen. Der Untersucher steht hinter dem Probanden und zieht diesen mit einem plötzlichen Ruck an der Schulter zurück. Woraufhin sich letzterer selbst abfangen muss, bzw. vom Untersucher aufgefangen wird, falls dies nicht gelingt. Der Proband wird zuvor über den Ablauf des Tests informiert. Die Ausgleichsbewegung wird anschließend anhand einer Skala von 0 bis 4 bewertet:

- 0 normal
- 1 Retropulsion, gleicht aber ohne Hilfe aus
- 2 Fehlen einer Haltungsreaktion, würde fallen
- 3 sehr instabil, neigt dazu spontan das Gleichgewicht zu verlieren
- 4 kann nicht ohne Unterstützung stehen

Trotz der Beliebtheit dieses Tests existieren zahlreiche Unklarheiten in der Ausführung und in der Beurteilung der Reaktion. Munhoz et al. (2004) beobachteten, dass die Kraft, mit der der Schulterzug durchgeführt wird häufig zu gering gewählt wird, dass der Untersuchungsleiter dem Patienten nicht genügend Platz einräumt um das Gleichgewicht selbständig wieder zu erlangen, dass die Patienten die Fußposition zu eng oder zu weit wählen, dass die Patienten sich in Vorahnung an den Schulterzug versteifen und nach vorne lehnen oder mit den Schultern einen Gegenzug zum Untersucher aufbauen oder auch dass der Untersucher mehr am Arm als an den Schultern zieht. Weitere Limitationen sind die kaum zu standardisierende und sehr variable Kraft, mit der der Schulterzug durchgeführt wird sowie eine Beurteilungsskala, die einen relativ großen subjektiven Spielraum zulässt. Manche Untersucher bevorzugen die Durchführung mit vorheriger Vorwarnung, da Parkinsonpatienten im Gegensatz zu gesunden Probanden diese nicht nutzen können (z.B. Adkin et al., 2005). Andere Untersucher wählen eine Durchführung ohne Vorwarnung (z.B. Visser et al., 2003).

Mittlerweile existiert eine Reihe von neuen Ansätzen zur Verbesserung des Retropulsionstests. Jacobs et al. (2006b) entwickelten den Push and Release Test. Bei diesem Test lehnen sich die Probanden gegen den Widerstand der gebeugten Arme des Untersuchungsleiters zurück bis der Körperschwerpunkt nach posterior über die Ferse hinaus verlagert wurde. Anschließend wird die stützende Funktion plötzlich gelöst und der Proband muss sich selbst wieder ins Gleichgewicht bringen. Durch dieses Verfahren soll die ausgelöste Perturbation besser standardisiert werden. Weiterhin wird empfohlen in der beurteilenden Skala die benötigte Anzahl an Schritte aufzunehmen, um dem Untersuchungsleiter einen objektiven Anhaltspunkt für die Bewertung zu geben (Visser et al., 2003, Jacobs et al., 2006b, Munhoz et al., 2004). Visser et al. (2003) bewerteten mehrere Untersuchungsvarianten und Beurteilungsskalen. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass eine Durchführung und Beurteilung nach Nutt et al. (1992) mit einem einmaligen Schulterzug ohne vorherige Vorwarnung und einer Aufnahme der Anzahl an benötigten Schritten in die Beurteilung die beste Kombination sei (siehe Visser et al., 2003).

Die Validität des Retropulsionstests wird von vielen Untersuchern hoch eingeschätzt und häufig mit einer Befragung der Probanden zur Sturzhäufigkeit überprüft. Die Eignung dieses Verfahrens ist begrenzt. Die Beziehung zwischen einer posturalen Instabilität und der Sturzhäufigkeit ist komplex. So können Stürze auch durch Freezing oder Festinationen, aber auch durch äußere Einflüsse entstehen. Andererseits können Stürze auch durch eine Verän-

derung des Verhaltens vermieden werden. So wird häufig von einem sogenannten Post-Sturz-Syndrom berichtet, wenn die Probanden nach einem Sturzereignis oder einem beinahe Sturzereignis ihre körperlichen Aktivitäten reduzieren (Visser et al., 2003). Des Weiteren muss man davon ausgehen, dass beinahe Sturzereignisse häufig vergessen werden und einige Patienten aus Angst vor möglichen Konsequenzen, wie eine Pflegeheimeinlieferung, Sturzereignisse verschweigen (Visser et al., 2008). Die Reliabilität wird aufgrund der subjektiven Beurteilung durch den Untersucher und der Variabilität in der Ausführung immer wieder in Frage gestellt (Bloem et al., 2001a). Visser et al. (2003) zeigte für unterschiedliche Ausführungsvarianten Interrater – Reliabilitäten zwischen .63 und .98. Einige der genannten Empfehlungen wurden bereits in die überarbeitete Version 2008 der UPDRS aufgenommen. Die überarbeitete Version wird bisher noch nicht in aktuell veröffentlichten Studien zitiert.

### Berg Balance Test (BBT)

Der Berg Balance Test (engl. Berg balance scale) wurde 1989 von Katherine Berg als Gleichgewichtstest speziell für Ältere entwickelt (Berg et al., 1989). Der Test besteht aus 14 einzelnen an den motorischen Alltag angelehnten Bewegungsaufgaben (übersetzt nach Scherfer et al.):

1. vom Sitzen zum Stehen
2. Stehen ohne Unterstützung
3. Sitzen ohne Unterstützung
4. vom Stehen zum Sitzen
5. Transfers
6. Stehen mit geschlossenen Augen
7. Stehen mit Füßen dicht nebeneinander (enger Fußstand)
8. mit ausgestreckten Armen nach vorne reichen (FRT)
9. Gegenstand vom Boden aufheben
10. sich umdrehen, um nach hinten zu schauen
11. sich um 360° drehen
12. abwechselnd die Füße auf eine Fußbank stellen
13. Stehen mit einem Fuß vor dem anderen (Tandemstand)
14. auf einem Bein stehen (Einbeinstand)

Die Durchführung erfordert einen weiteren Untersuchungsleiter und einfache Hilfsmittel in Form von Stühlen, Stoppuhr, Maßband, Fußbank etc. Die standardisierten Untersuchungsprotokolle geben die Vorgehensweise des Unter-

suchungsleiters und die Anweisungen an den Probanden genau vor. Die ausgeführten Bewegungsaufgaben werden anschließend anhand einer Skala von 0 – 4 bewertet z.B.:

- 4 kann aufstehen ohne die Hände einzusetzen
- 3 kann selbständig mit Einsatz der Hände aufstehen
- 2 kann nach einigen Versuchen mit Einsatz der Hände aufstehen
- 1 braucht minimale Hilfe zum Aufstehen
- 0 braucht maximale Hilfe zum Aufstehen

Anschließend wird der Gesamtscore aus allen 14 Bewegungsaufgaben ermittelt. Der Test ist allgemein akzeptiert und hat sich für die Evaluation von Parkinsonpatienten etabliert. Ein besonderer Vorteil des Berg Balance Tests ist der Aufbau als Testbatterie aus mehreren Übungen. Dies wird in zahlreichen Veröffentlichungen gefordert, da einzelne Testübungen nicht in der Lage zu sein scheinen, das gesamte Ausmaß der Gleichgewichtsfähigkeit widerzuspiegeln (u. a. Jacobs et al., 2006a, Smithson et al., 1998, Bloem et al., 2001b).

Die Test-Retest-Reliabilität für Untersuchungen mit Parkinsonpatienten wird von Steffen et al. (2008) mit .94 (ICC) und einem Minimal-detectable-change (kleinste bedeutsame Veränderung) von 5 Punkten angegeben. Franchignoni et al. (2005) berichten von einer hohen internen Konsistenz (Cronbach  $\alpha = .95$ ) ebenfalls in einer Studie mit Parkinsonpatienten. Landers et al. (2008) zeigten signifikante Unterschiede im Berg Balance Test zwischen einer Gruppe mit sturzgefährdeten Parkinsonpatienten und nicht sturzgefährdeten Parkinsonpatienten (Tab. 2). Weitere Studien zur Untersuchung für den Einsatz in Interventionsstudien sind zu empfehlen (Qutubuddin et al., 2005).

**Tab. 2: Ergebnisse (MW  $\pm$  SD) zum Berg Balance Test bei Parkinsonpatienten**

PP (Faller)	PP (allg. oder Non-Faller)	GG	n	Autor
41,1 $\pm$ 6,5	49 $\pm$ 5	-	25/24/-	(Landers et al., 2008)
-	50 $\pm$ 7	-	-/37/-	(Steffen und Seney, 2008)
-	40 $\pm$ 8	-	-/38/-	(Qutubuddin et al., 2005)
46 $\pm$ 9	55 $\pm$ 2	-	25/20/-	(Dibble und Lange, 2006)
-	-	41 $\pm$ 9	-/26	(Holbein-Jenny et al., 2005)

## Weitere Testverfahren

Zahlreiche weitere alltagsmotorische Testverfahren werden zur Gleichgewichtsmessung bei Parkinsonpatienten angewendet. Bisher konnte sich keines so etablieren wie die bereits genannten Verfahren. Nachfolgend soll dennoch eine kurze Zusammenfassung erfolgen.

Genannt werden sollte auch der Tinetti Mobilitäts-Test nach Mary E. Tinetti (1986). Diese Testbatterie ist ähnlich dem Berg Balance Test. Sie beurteilt das Sitzen, Stehen und Gehen in 20 Items anhand verschiedener Skalen, die von 0 bis 1 möglichen Punkt bis zu 0 bis 4 möglichen Punkten reichen. Sowohl für gleichaltrige, gesunde Probanden wie auch für Parkinsonpatienten ist eine gute Reliabilität  $\geq .90$  und Validität belegt (Marks, 2006, Kegelmeyer et al., 2007). Es kommen zahlreiche modifizierte Versionen zum Einsatz, was eine Vergleichbarkeit unterschiedlicher Studien deutlich erschwert. Marks (2006) beobachtete, dass der Tinetti Mobilitäts-Test wenig sensibel ist Veränderungen zu erfassen. Er empfiehlt den Test nicht zur präzisen Kontrolle des Therapieverlaufs einzusetzen und verweist stattdessen auf den Berg Balance Test.

Auch der Timed up-and-go Test (TUG) ist weit verbreitet. Bei diesem Test steht der Proband von einem Stuhl auf, läuft drei Meter zu einer Wand, dreht sich um, läuft zurück und setzt sich wieder hin (Rossi et al., 2009). Dabei wird die Zeit genommen und die Durchführung anhand einer Skala von 1 (normal) bis 5 Punkten (sehr unnormal) bewertet. Je nach Variante wird zusätzlich die benötigte Anzahl an Schritten gezählt. Der TUG soll das dynamische Gleichgewicht beurteilen und damit einen Hinweis auf das Sturzrisiko geben (Rossi et al., 2009). Retest- und Interrater-Reliabilität werden hoch eingeschätzt (Morris et al., 2001). Auch hier gibt es verschiedene Modifikationen z.B. durch eine freie Drehung ohne Wand oder das Umkreisen des Stuhls vor dem Hinsetzen. Große Unterschiede wurden zwischen dem ON- und OFF-Stadium festgestellt. Das stärkt die Vermutung, dass dieser Test zu einem großen Teil von konditionellen Fähigkeiten, wie der benötigten Kraft beim Aufstehen vom Stuhl abhängig ist und der Einfluss der posturalen Kontrolle schwer davon zu trennen ist (Cakit et al., 2007).

Ein weiterer Test für die dynamische Gleichgewichtsfähigkeit ist der Tandemwalk-Test (TWT). Bei diesem Test wird der Proband aufgefordert 8 - 10 Schritte auf einer am Boden markierten Linie zu balancieren (Adkin et al., 2005, Granacher, 2003). Dabei soll die Ferse des jeweils vorderen Fußes vor

die Zehenspitzen des jeweils hinteren Fußes platziert werden. Je nach Untersuchungsausführung ist es erlaubt währenddessen auf die Füße zu schauen oder nicht. Die Anzahl der erfolgreichen Schritte, die nicht von der Linie abgewichen sind werden gezählt. Untersuchungen zur Reliabilität und Validität sind nicht bekannt.

Zahlreiche weitere und modifizierte Testverfahren kommen zur Anwendung, sollen hier aber nicht näher erläutert werden.

#### **4.2. Biomechanische Testverfahren**

Zur Beurteilung der Gleichgewichtsfähigkeit bei Parkinsonpatienten werden neben den alltagsmotorischen Testverfahren auch biomechanische Testverfahren eingesetzt. Biomechanische Testverfahren werden bevorzugt zur Bearbeitung von wissenschaftlichen Fragestellungen angewandt. Der Vorteil liegt in einer größeren Objektivierung und Standardisierung sowie einer Quantifizierung des Untersuchungsgegenstandes. Nachteilig sind die oft hohen Anschaffungskosten sowie höhere Anforderungen hinsichtlich Bedienung und Auswertung an den Untersucher. Die Beschreibung und Dokumentation der körperlichen Haltung und der posturalen Reaktion auf einen Störreiz wird in der Biomechanik unter dem Oberbegriff der Posturographie zusammengefasst. Die Posturographie kann mit unterschiedlichen biomechanischen Verfahren realisiert werden. Dazu gehören kinematische Verfahren wie mehr oder weniger aufwendige Bewegungsanalysensysteme, kinetische Verfahren wie Kraftmessplatten oder Beschleunigungsaufnehmer und auch elektromyografische Verfahren zur Beschreibung der Muskelaktivität. Die Bewegungen einzelner Körpersegmente oder des globalen Körperschwerpunktes werden in einer oder mehreren Ebenen gemessen und zugehörige Muskelsynergien aufgezeichnet. Einzelne Verfahren oder eine Kombination mehrerer Verfahren werden je nach Untersuchungsziel angewandt (Visser et al., 2008). Die Durchführungsbedingungen können ebenfalls je nach Untersuchungsziel angepasst werden. So können die Größe und die Stabilität der Unterstützungsfläche (z.B. Einbeinstand oder Weichbodenmatte), die Verwendung externer Störreize (sog. Perturbationen), die Beeinflussung des visuellen Analysators oder die Vergabe von motorischen oder geistigen Zusatzaufgaben die posturale Kontrolle beeinflussen.

Die Posturographie lässt sich grob in statische und dynamische Verfahren gliedern. Diese sollen im Folgenden im Bezug auf die Untersuchung bei Par-

kinsonpatienten näher erläutert und aktuelle Forschungsergebnisse dargestellt werden.

### Statische Posturographie

Unter der statischen Posturographie wird ganz allgemein die Verwendung posturographischer Verfahren in einem überwiegend statischen Versuchsaufbau verstanden, d.h. der zu untersuchende Proband verharrt in einer möglichst ruhigen Position auf einer unbeweglichen Unterstützungsfläche (Frenklach et al., 2009, Visser et al., 2008). Ständige posturale Regulationsprozesse sind dafür verantwortlich, dass es einem Menschen willentlich niemals möglich ist vollkommen starr zu stehen. Die Haltemuskulatur ist ununterbrochen aktiv, um den Körper entgegen der Gravitationskraft der Erde aufrecht zu halten. Die Muskelkontraktionen sind aber nicht in der Lage ein konstantes Kraftmoment zu erzeugen. Hinzu kommen weitere Einflüsse durch Atmung und Blutzirkulation (Rougier, 2008). Unser sensomotorisches System ist sehr anpassungsfähig. Ununterbrochen werden Informationen aus der Umwelt aufgenommen, neu verrechnet und in motorische Signale umgewandelt. So kommt es zu ständigen selbstinitiierten korrektiven Bewegungen. Die Untersuchung der spontanen Körperschwankungen soll somit Informationen über die posturale Aktivität liefern. Wohlwissend, dass es sich vielmehr um eine quasistatische, als um eine statische Bedingung handelt, hat sich die Bezeichnung statische Posturographie nahezu einheitlich durchgesetzt.

Das mit Abstand am häufigsten angewandte Verfahren der statischen Posturographie ist die Verwendung von ein oder zwei Kraftmessplatten als Standbasis (Raymakers et al., 2005, Visser et al., 2008, Rougier, 2008). Der Verlauf des berechneten Druckmittelpunktes, engl. center of pressure (COP) soll dabei die posturale Aktivität reflektieren (Gunkel, 2011). Es wird davon ausgegangen, dass ein größeres Bewegungsausmaß des COPs als Anzeichen für eine Gleichgewichtsstörung zu sehen ist. So zeigen zahlreiche Studien einen Anstieg des COP-Ausmaßes von jungen zu älteren Probanden und auch von gesunden Probanden zu Probanden mit Gleichgewichtsstörungen (Raymakers et al., 2005, Visser et al., 2008, Bauer, 2010). Dieses Verfahren hat sich aufgrund seines recht einfachen und unkomplizierten Messaufbaus durchgesetzt. Hinzu kommt, dass der Proband physisch und psychisch die Messapparatur kaum wahrnimmt und dadurch auch Messungen z.B. mit kranken Personen durchgeführt werden können. Trotz oder gerade wegen dieses einfachen Messaufbaus wurde der Standardisierung dieser Tests wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Das hat dazu geführt, dass die vorhandene Lite-

ratur kaum miteinander vergleichbar ist (Schmid et al., 2002). Die gewählte Aufnahmedauer und –frequenz, die Anzahl an Wiederholungen, die Standposition der Probanden und die Parameterauswahl weichen häufig enorm voneinander ab oder werden teilweise nicht dokumentiert. Aktuelle Studien greifen diese Probleme nach und nach auf. So berichten Pinsault et al. (2009) von einer sehr guten Test-Retest-Reliabilität bei einer Aufnahmedauer von 30 s im beidbeinigen Stand. Ruhe et al. (2010) beobachteten, dass die Reliabilität bei einer Ausdehnung der Aufnahmedauer auf 90 s noch weiter ansteigt. Für den Einbeinstand wurde eine gute Reliabilität für eine Aufnahmedauer von bereits 10 s belegt (Kuni, 2007). Die Aufnahmefrequenzen reichen in der Literatur von 10 Hz bis 200 Hz. In aktuellen Studien wird eine Frequenz von 50 Hz favorisiert (Raymakers et al., 2005). Schmid et al. (2002) hingegen empfehlen eine Aufnahmefrequenz von 100 Hz und einem Cutoff bei 10 Hz. Weitgehend einig sind sich die Autoren, dass eine Wiederholungszahl von mindestens drei Messwiederholungen ausreichend sei (Ruhe et al., 2010, Pinsault und Vuillerme, 2009). Es hat sich herausgestellt, dass die vor und während der Messung geäußerten Instruktionen ebenfalls einen Einfluss auf das Untersuchungsergebnis haben (Zok et al., 2008). Diese sollten daher ebenfalls protokolliert und standardisiert werden. Der Hinweis „Stehen Sie so ruhig wie möglich!“ hat sich im Allgemeinen durchgesetzt. Mehrere Autoren beobachteten, dass die Reliabilität mit geschlossenen Augen gegenüber offenen Augen höher ist (Pinsault und Vuillerme, 2009). Es wird vermutet, dass durch visuelle Informationen posturale Defizite zu einem großen Teil kompensiert werden können. Bauer et al. (2010) beobachteten weiterhin, dass eine enge Fußposition reliablere Ergebnisse liefert, als eine normale Fußposition. Eine Normalisierung bezüglich der Größe oder des Gewichts brachte hingegen keine weitere Verbesserung (Pinsault und Vuillerme, 2009).

Auch in der Parameterwahl hat sich bisher kein Goldstandard manifestieren können. Die am häufigsten verwendeten Parameter, auch als klassische oder traditionelle Parameter bezeichnet, beschreiben die COP-Trajektorie bzw. die COP-Trajektorie bzgl. der Zeit. Zu ihnen zählen die Gesamtlänge über die gemessene Zeit, die mittlere Geschwindigkeit, das maximale Ausmaß (Range) und die vom COP beschriebenen Fläche. Unzählige weitere Parameter, teilweise aus den gemessenen Frequenzen abgeleitet, wurden berechnet und von den entsprechenden Autoren für ebenfalls geeignet befunden. Der Vorzug für einen bestimmten Parameter konnte der Literatur aber nicht entnommen werden. Die Betrachtung aller Parameter ist nicht Thema dieser Arbeit

und soll sich daher auf die häufig verwendeten klassischen Parameter beschränken.

Von den klassischen Parametern haben sich besonders die mittlere Geschwindigkeit und die Fläche bewährt. Die Verwendung der mittleren Geschwindigkeit wird von mehreren unterschiedlichen Autoren aufgrund ihrer guten Reliabilität empfohlen. Vermieden werden sollten Parameter, welche nur einen oder zwei Punkte der COP-Trajektorie abbilden, wie z.B. der Range (Ruhe et al., 2010, Kuni, 2007). Raymakers et al. (2005) suchten nach einem Parameter, der am ehesten zwischen Probanden mit geringem und hohem Sturzrisiko unterscheiden kann und auf Veränderungen anspricht. Die geeignetsten klassischen Parameter waren die mittlere Geschwindigkeit, der Range in medio-lateraler Richtung sowie die Fläche. Aufgrund einer großen inter- und intrasubjektiven Variabilität empfehlen Visser et al. (2008) möglichst homogene Gruppen bzgl. des Alters und bei Krankheiten bzgl. der Symptome zu wählen. Allgemein erhofft man sich durch eine größere Standardisierung eine geringere Variabilität (Schmid et al., 2002).

Bei Parkinsonpatienten sind die Werte der klassischen Parameter zur Beschreibung der COP-Trajektorie im Vergleich zu gleichaltrigen, gesunden Probanden erhöht (Blaszczyk und Orawiec, 2010, Raymakers et al., 2005, Mitchell et al., 1995, Schieppati und Nardone, 1991, Colnat-Coulbois et al., 2011). Neuere Untersuchungen zeigen bereits im frühen Krankheitsstadium höhere Werte (Stylianou et al., 2011, Blaszczyk et al., 2007). Dies lässt vermuten, dass eine progressive Störung des Gleichgewichts bei Parkinsonpatienten von Beginn an vorhanden ist und bis zur Manifestation von anderen Systemen, z.B. durch einen stärkeren Einfluss des visuellen Systems, kompensiert werden kann. Ebersbach et al. (2002) und Wolfsegger et al. (2011) machten die Beobachtung, dass bei atypischen und sekundären Parkinson-Syndromen die COP-Parameter noch stärker erhöht sind, als beim IPS. Beuter et al. (2008) berichten von geringeren COP-Parametern beim Wechsel vom Off- in das ON-Stadium. Rocchi et al. (2006) konnte hingegen bei einem Wechsel keine Veränderung beobachten.

Stylianou et al. (2011) empfehlen als COP-Parameter speziell für die Anwendung bei Parkinsonpatienten den COP-Weg, die COP-Fläche sowie den Range in anterior-posterior und medio-lateraler Richtung. Diese Parameter zeigten sich auch im On-Stadium sensitiv. Es wird vermutet, dass besonders der COP-Weg in medio-lateraler Richtung eine wichtige Rolle bei der Identifizierung der posturalen Instabilität spielt. Eine Zunahme in diesem Parame-

ter könnte eine Abnahme der posturalen Kontrolle auf Hüftniveau repräsentieren (Stylianou et al., 2011). Weitere Autoren identifizierten diesen Parameter als Indikator für ein erhöhtes Sturzrisiko (vgl. Blaszczyk et al., 2007, Mitchell et al., 1995). Schieppati et al. (1991) und Blaszczyk et al. (2007) beobachteten, dass sich der COP bei Parkinsonpatienten durch die vorgebeugte Haltung weiter nach anterior verlagert.

**Tab. 3: Ergebnisse (MW  $\pm$  SD) zum COP – Weg bei Parkinsonpatienten im normalen Stand mit offenen Augen**

PP	GG	n	Methodik	Autor
474 $\pm$ 272 mm	324 $\pm$ 58 mm	19/14	30s, 100 Hz	(Stylianou et al., 2011)
474 $\pm$ 295 mm	311 $\pm$ 125 mm	55/55	30s, 40/15 Hz	(Blaszczyk und Orawiec, 2010)

**Tab. 4: Ergebnisse (MW  $\pm$  SD) zur COP - Geschwindigkeit bei Parkinsonpatienten im normalen Stand mit offenen Augen**

PP	GG	n	Methodik	Autor
17 $\pm$ 2 cm/s	-	19/-	60s, 480/10 Hz	(Rocchi et al., 2006)

**Tab. 5: Ergebnisse (MW  $\pm$  SD) zur COP - Fläche bei Parkinsonpatienten im normalen Stand mit offenen Augen**

PP	GG	n	Methodik	Autor
303 $\pm$ 491 mm <sup>2</sup>	68 $\pm$ 43 mm <sup>2</sup>	19/14	30s, 100 Hz	(Stylianou et al., 2011)
330 $\pm$ 310 mm <sup>2</sup>	180 $\pm$ 114 mm <sup>2</sup>	55/55	30s, 40/15 Hz	(Blaszczyk und Orawiec, 2010)

**Tab. 6: Ergebnisse (MW  $\pm$  SD) zum COP – Weg in medio-lateraler Richtung bei Parkinsonpatienten im normalen Stand mit offenen Augen**

PP	GG	n	Methodik	Autor
245 $\pm$ 190 mm	140 $\pm$ 40 mm	19/14	30s, 100 Hz	(Stylianou et al., 2011)
253 $\pm$ 155 mm	148 $\pm$ 54 mm	55/55	30s, 40/15 Hz,	(Blaszczyk und Orawiec, 2010)

Ob die statische Posturographie ein geeignetes Messinstrument zur Untersuchung von bewegungstherapeutischen Interventionen ist, wurde bisher nicht untersucht.

Stylianou et al. (2011) empfiehlt einen dynamischen Test zur Beurteilung der posturalen Instabilität bei Parkinsonpatienten hinzu zuziehen, da die meisten

Stürze in dynamischen Situationen passieren. Die dynamische Posturographie wird nachfolgend erläutert.

### Dynamische Posturographie

Unter der dynamischen Posturographie wird allgemein die Verwendung von posturographischen Verfahren zur Beschreibung des posturalen Antwortverhaltens als Reaktion auf eine Manipulation des Gleichgewichts verstanden (Frenklach et al., 2009, Commissaris et al., 2002). Die Störgröße besteht dabei zumeist aus selbstinitiierten Auslenkungen durch den Stand auf einem instabilen Untergrund oder aus einer standardisierten Perturbation der Unterstützungsfläche. Der Untersuchungsaufbau auf einem instabilen Untergrund zur Provokation von selbstinitiierten Auslenkungen durch kompensatorisches Ausbalancieren findet sich in der Literatur auch unter der Bezeichnung *Stabilometrie* (Hsu et al., 2009, Gunkel, 2011). Standardisierte Perturbationen der Unterstützungsfläche können passiv unter Verwendung der Gravitationskraft oder aktiv durch den Einsatz entsprechender servo-kontrollierter Motoren herbei geführt werden (Commissaris et al., 2002, de Freitas et al., 2010). Die Art der Perturbation reicht von einmalig bis kontinuierlich, von uni- bis multidirektional, über translatorische oder rotatorische Bewegungsbahnen (Tab. 7). Schnelle, kurze Perturbationen werden angewandt, um reaktive posturale Reflexe hervorzurufen und oszillierende Perturbationen um antizipatorische posturale Antworten zu untersuchen (Gunkel, 2011, Visser et al., 2008).

**Tab. 7: Perturbationsarten übersetzt nach Visser et al. (2008)**

<b>externe Perturbationen:</b>	<p>sich bewegende Unterstützungsfläche</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- translatorisch, rotatorisch oder vertikale Verschiebung</li> <li>- unidirektional, multidirektional</li> <li>- abrupt, kontinuierlich</li> <li>- vorhersehbar, unvorhersehbar</li> </ul> <p>Stimuli auf den Körper</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hüfte, Rumpf, Kopf</li> </ul>
<b>selbst ausgelöste Perturbationen:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- balancieren auf instabilen Untergründen</li> <li>- freiwillige Lageveränderung</li> <li>- antizipatorische posturale Antworten</li> </ul>

Bei der dynamischen Posturographie kommen alle o. g. posturographischen Verfahren zum Einsatz. Je nach Untersuchungsziel werden meist mehrere Verfahren miteinander kombiniert. Ein häufiges Verfahren ist die synchronisierte Aufnahme der Muskelaktivität mit dem Auftreten der Perturbation, auch verbunden mit dem Verlauf des COM oder des COP. So wurde bspw. beobachtet, dass ältere Probanden, die an der posturalen Reaktion beteiligten Muskeln später aktivieren und den Peak der Aktivität später erreichen, als jüngere Probanden. Kompensatorisch scheinen die älteren Probanden ihre Muskeln über einen längeren Zeitraum zu aktivieren. Des Weiteren wurde beobachtet, dass sich bei einer starken Perturbation die Muskelaktivierung von distal-proximal auf proximal-distal ändert (Lin und Woollacott, 2002, de Freitas et al., 2010).

Die Vorteile der dynamischen Posturographie liegen in der Standardisierung der Perturbation, welche unabhängig vom Untersucher und vom Probanden ausgeführt werden kann. Zahlreiche Einflussfaktoren können systematisch variiert werden und tragen somit zu einem besseren Verständnis der physiologischen und ggf. pathologischen Mechanismen bei. Aufgrund des dynamischen Charakters werden den Ergebnissen eine größere Aussagekraft und eine höhere Praxisrelevanz zur Erfassung der posturalen Stabilität zugesprochen (Turbanski, 2005).

Nachteilig ist v. a. die mangelnde Vergleichbarkeit der angewandten Testapparatur. Das zugrunde liegende Prinzip ist zwar immer dasselbe, die Verfahren unterscheiden sich aber hinsichtlich der physikalischen Charakteristik enorm durch unterschiedlich große Amplituden, Geschwindigkeiten, Richtung und Anzahl der Richtungen der Plattformbewegung. Somit ist ein Vergleich der posturalen Antwort in unterschiedlichen Studien nicht so einfach möglich (Turbanski, 2005). Eine Beschreibung der einzelnen Verfahren würde den Rahmen dieser Arbeit um ein Vielfaches sprengen und ist an dieser Stelle auch nicht zielführend. Die Herausbildung eines Standards lässt sich nicht erkennen. Verschiedene Forschergruppen arbeiten mit verschiedenen Systemen. Eine große Forschergruppe um F. B. Horak z.B. verwendet überwiegend horizontale, uni- und multidirektionale Perturbationen, eine andere Forschergruppe um B. R. Bloem hingegen überwiegend Rotationsbewegungen. Eines der standardisiertesten Verfahren ist der sogenannte Sensory Organisation Test (SOT) der Firma Neurocom International® (Clackamas/Oregon, USA). Der große Vorteil liegt hier in einem kommerziell erwerblichen Testverfahren, was zumindest wesentlich zu einer Vergleichbarkeit der Testergebnisse beiträgt. Dieser Test soll beispielhaft für die

zahlreichen weiteren Testverfahren kurz erläutert werden. Der SOT besteht aus einer Testbatterie von drei statischen und drei dynamischen Testbedingungen:

1. fester Untergrund, Augen offen
2. fester Untergrund, Augen geschlossen
3. fester Untergrund, Augen offen, Umgebung wird optisch bewegt
4. ap-Rotation der Unterstützungsfläche, Augen offen
5. ap-Rotation der Unterstützungsfläche, Augen geschlossen
6. ap-Rotation der Unterstützungsfläche, Umgebung wird optisch bewegt

Die Rotationsbewegung der Unterstützungsfläche in Testbedingung 4 bis 6 verläuft um eine Achse auf Fußgelenkhöhe und folgt den Schwankungen in Richtung anterior-posterior (ap) des Probanden. Diese Schwankungen werden mittels Kraftmesssensoren erfasst und mit 250 ms Verzug in die Rotationsbewegung überführt. Jede Testbedingung wird 30 s lang durchgeführt und dreimal wiederholt (Allum und Shepard, 1999). Berechnet wird hier der sogenannte Equilibrium-Score [%]. Er repräsentiert das maximale Schwankausmaß in ap-Richtung basierend auf dem COP - Verlauf. Dieser Wert lehnt sich an individuell maximales Vor- und Zurücklehnen an, welches vor dem Test mit dem Probanden durchgeführt wurde (Allum und Shepard, 1999). Dieser Parameter wird in keinem anderen Testverfahren angewandt. Die Ergebnisse lassen sich daher nur schwer mit denen anderer Testverfahren vergleichen.

Als übliche Parameter werden die Zeit vom Beginn der Perturbation bis zum Onset der Muskelaktivität (Time-to-Onset), die Zeit vom Beginn der Perturbation bis zur maximalen Aktivität des Muskels (Time-to-Peak), die Dauer der Muskelaktivität sowie das Integral der Muskelaktivität in einem bestimmten Zeitraum (iEMG) verwendet. Hinzu kommen Parameter zum Schwankausmaß des COPs oder des COM und die Angabe von Gelenkwinkeln und Gelenkwinkelgeschwindigkeiten.

Die posturale Reaktion auf eine Perturbation passt sich bei wiederholter Ausführung für gewöhnlich an. Es ist bspw. zu erkennen, dass die Amplitude des EMG-Signals mit der Anzahl der Perturbationen abnimmt. Die posturale Reaktion auf den allerersten Versuch ist meist völlig anders, als die nachfolgenden. Für die Beurteilung der posturalen Reaktion werden meist mehrere Versuche gemittelt und der erste Versuch nicht mit in die Beurteilung mit einbezogen. Dadurch können wertvolle Informationen komplett unerwarteter Perturbationen nicht erfasst werden (Visser et al., 2008). Multidirektionale Per-

turbationen sollen diesem Gewöhnungseffekt entgegen wirken (Commissaris et al., 2002).

Weitere Nachteile der dynamischen Posturographie liegen in einer großen inter- und intrasubjektiven Variabilität der Ergebnisse. Daher wird auch bei der dynamischen Posturographie empfohlen möglichst homogene Untersuchungsgruppen nach dem Alter und bei einer Erkrankung nach der Symptomausprägung auszuwählen (Allum et al., 2002, Visser et al., 2008). In der Diskussion ist die Bremsphase der Perturbation. Eine lange Bremsphase könnte der Stabilisierung des aufrechten Standes entgegen kommen. Die Bremsphase gibt es in alltäglichen Situationen, außer vielleicht beim Busfahren nicht. Daher muss darauf verwiesen werden nur den ersten Teil der Perturbation bei der Ergebnisauswertung zu betrachten (Visser et al., 2008).

Auch die Angst vor einem Sturz kann die posturale Reaktion beeinflussen (Visser et al., 2008). Da die Probanden in Erwartung auf eine Perturbation ihres Gleichgewichts sind, könnte dies ebenfalls eine Rolle spielen. Es ist daher sinnvoll den emotionalen Zustand, bzw. das Angstlevel möglichst zu kontrollieren. Die Probanden werden üblicherweise durch ein Haltegeschirr gesichert. Diese Sicherung ist häufig durch die zuständige Ethikkommission zwingend vorgeschrieben. Es bleibt aber die Frage, ob die Probanden durch diese bewusste Sicherung, auch durch die sensorische Wahrnehmung dieser Sicherung ein Feedback über die ausgeführte Schwankbewegung erhalten und das Sicherheitsgefühl erhöht wird, als bei einer unerwarteten Perturbation im Alltag (Visser et al., 2008).

Ein weiterer Einflussfaktor ist die Körperhaltung. Es ist bekannt, dass allein eine vorgebeugte Haltung die Onset-Latenzen und die Amplituden der posturalen Antwort der Unterschenkelmuskulatur beeinflussen können (Bloem et al., 1992). Besonders wenn die Richtung der Perturbation bekannt ist, ist darauf zu achten, dass die Probanden sich nicht mit ihrer körperlichen Haltung auf die Perturbation einstellen und daher die Anfangsposition standardisieren und protokollieren.

Die Validität in posturographischen Untersuchungen ist fraglich (Visser et al., 2008). Die Bedingungen sind überwiegend sehr künstlich und die Probanden sind sich bewusst, dass sie gemessen werden. Meist sind diese zusätzlich mit EMG-Elektroden und Markern beklebt und werden von zahlreichen Kameras beobachtet. Eine plötzliche Beschleunigung der Unterstützungsfläche und Wiederholungen von Perturbationen kommen im Alltag eigentlich nicht vor. Hinzu kommt, dass den Probanden meist deutliche Restriktionen

auferlegt werden, wie z.B. die Position der Füße nicht zu verändern. Die dynamische Perturbation wird fast ausschließlich im Stand durchgeführt, Stürze passieren im Alltag allerdings häufiger in komplexen Situationen (Visser et al., 2008). Dennoch ist das Verständnis in die physiologischen Mechanismen der normalen posturalen Kontrolle und die Pathophysiologie durch die Verwendung der dynamischen Posturographie enorm gestiegen (Commissaris et al., 2002).

Insbesondere bei der Parkinson-Erkrankung wird die dynamische Posturographie zur Untersuchung der posturalen Stabilität eingesetzt. Untersuchungen mit dem SOT belegen ein erhöhtes posturales Schwanken einhergehend mit der Schwere der Erkrankung sowie mit der Schwere der posturalen Aufgabe. Patienten in einem frühen, unbehandelten Stadium der Erkrankung zeigten hingegen normale Werte. Eine Korrelation mit dem Alter wurde dagegen nicht beobachtet (Frenklach et al., 2009, Waterston et al., 1993). Die posturalen Strategien bei Parkinsonpatienten in einem höheren Krankheitsstadium sind ineffektiv und führen häufiger zum Sturz (Colnat-Coulbois et al., 2011). So werden in zunehmend herausfordernden Situationen vermehrt Ausgleichsbewegungen in der Hüfte anstatt im Fußgelenk zur Gleichgewichtsregulation eingesetzt (Colnat-Coulbois et al., 2011, Nallegowda et al., 2004, Termoz et al., 2008). Weiterhin wurde beobachtet, dass Parkinsonpatienten bei einer langsamen Rotation der Unterstützungsfläche eine höhere Wahrnehmungsschwelle für die axiale Verwringung besitzen als gesunde Probanden (Wright et al., 2010). Das könnte bedeuten, dass die Auslenkung des Körperschwerpunktes ebenfalls verzögert wahrgenommen wird und somit die entsprechende Antwortreaktion erst spät eingeleitet werden kann. Die Wahrnehmungsschwelle erhöhte sich im On-Stadium im Vergleich zum OFF-Stadium.

Horak et al. (2005) untersuchten das posturale Antwortverhalten mittels multidirektionaler translatorischer Perturbationen. Sie beobachteten, dass Parkinsonpatienten in allen Richtungen geringere Stabilitätsgrenzen aufweisen, als gesunde Probanden. Besonders gering zeigte sich die Stabilitätsgrenze nach posterior. Es wird vermutet, dass die rigiden und bradykinetischen posturalen Antworten an sich nicht richtungsspezifisch sind, sondern dort, wo der Körperschwerpunkt aufgrund der biomechanischen Gegebenheiten näher an der Stabilitätsgrenze liegt, eher zum Sturz führen können. Es wurden häufiger Stürze nach posterior und nach lateral beobachtet, v. a. wenn die Füße eng zusammenstehen (Dimitrova et al., 2004). Horak et al. (2005) beobachteten, dass Parkinsonpatienten dennoch eine wesentlich engere Fußstellung bevor-

zugen als gesunde Probanden. Weiterhin wurden eine geringere Rumpfflexion bei lateralen Perturbationen und eine geringere Knieflexion bei Perturbationen nach posterior beobachtet. Weitere Autoren berichten auch von einer höheren Muskelaktivität und Co-Aktivierung u. a. im Rumpfbereich (Horak et al., 1992, Dimitrova et al., 2004). Die Parkinsonpatienten können weniger flexibel auf posturale Perturbationen reagieren (Horak et al., 2005). Die maximale Verschiebung des COPs durch eine Perturbation war bei den Parkinsonpatienten geringer und später als bei gesunden Probanden. Die Autoren sprechen hier von einer posturalen Bradykinese (Horak et al., 2005). Dimitrova et al. (2004) untersuchten in demselben Versuchsaufbau die Muskelaktivität der Rumpf- und Beinmuskulatur. Sie kamen zu der Erkenntnis, dass Parkinsonpatienten ähnliche posturale Muskelsynergien wie die gesunden Probanden aktivieren. Mit dem Unterschied, dass die Antagonisten häufig früher und stärker aktiviert werden (Horak et al., 1992). Somit kommt es zu einer stärkeren Co-Aktivierung. Bei einem Wechsel von einem weiten in einen engen Stand, erhöhen hingegen die Parkinsonpatienten die Aktivität der entsprechenden Muskeln nicht in dem Maße wie die gesunden Probanden. Auch Dietz et al. (1993) beobachteten in einem Versuchsaufbau mit einer kontinuierlichen Plattformbewegung eine erhöhte Aktivität der Antagonisten. So aktivierten die Parkinsonpatienten überwiegend die Beinfl exoren, anstatt die Beinextensoren, wie die gesunden Probanden. Die Betrachtung der Latenzzeit vom M. tibialis anterior und vom M. gastrocnemius medialis durch Horak et al. (1992) zeigte keinen signifikanten Unterschied zu gesunden Probanden.

Zahlreiche Untersuchungen verwenden rotatorische Perturbationen, sogenannte *toe-up tilts*. Die Unterstützungsfläche rotiert um wenige Grad nach vorne-oben und löst dabei eine Dorsalextension aus. Dies bewirkt short-latency (SL) und medium-latency (ML) Reflexantworten im gedehnten M. gastrocnemius und eine long-latency (LL) Reflexantwort im M. tibialis anterior (Bloem et al., 1995). Unter den experimentellen Bedingungen ist die ML Reflexantwort funktional destabilisierend, da ihre Plantarflexion den destabilisierenden Effekt der Perturbation noch weiter erhöht. Die Dorsalextension der LL Reflexantwort wirkt hingegen funktional stabilisierend. Besonders die Arbeitsgruppe um Bloem konnte nachweisen, dass bei Parkinsonpatienten die destabilisierende ML Reflexantwort erhöht ist und die stabilisierende LL Antwort hingegen verringert ist (Bloem et al., 1995, Beckley et al., 1993, Bloem et al., 1992). Diese veränderte posturale Antwort ist auch am Verlauf des COPs zu erkennen. Dieser wird im Vergleich zu gesunden Pro-

banden zunächst stärker ausgelenkt und die Korrekturbewegung anschließend verspätet eingeleitet (Bloem et al., 1995). Carpenter et al. (2004) beobachteten hingegen in einem Untersuchungsdesign mit multidirektionalen Perturbationen eine erhöhte Amplitude sowohl der ML Reflexantwort (~ 80ms) als auch der Gleichgewichts-korrigierenden LL Reflexantwort (~ 120 ms). Die Latenzzeit bis zur Muskelaktivität wird als unverändert (Bloem et al., 1995, Beckley et al., 1991, Carpenter et al., 2004) oder verspätet beobachtet (Scholz et al., 1987, Schieppati und Nardone, 1991, Beckley et al., 1993). Des Weiteren wurde beobachtet, dass Parkinsonpatienten die Reflexantworten nicht wie gesunde Probanden an unterschiedliche, vorhersehbare oder unvorhersehbare Situationen anpassen können (Schieppati und Nardone, 1991, Bloem et al., 1995, Beckley et al., 1993).

### 4.3. Subjektive Testverfahren

Bisher ist kein Testverfahren allein in der Lage die posturale Instabilität umfassend zu beurteilen. Daher wird häufig angeraten eine zusätzliche Befragung der Probanden mit in die Beurteilung der posturalen Instabilität einfließen zu lassen (Adkin et al., 2003, Cakit et al., 2007). Die einfache Frage nach der Sturzhäufigkeit in der Vergangenheit, ist dabei immer noch die beste Methode das Sturzrisiko abzuschätzen (Kap. 3.1). Die Einschränkungen dieser einfachen Befragung liegen, wie schon an anderer Stelle beschrieben, allerdings darin, dass der Proband sich möglicherweise nicht an das Sturzereignis erinnern kann oder dieses bewusst durch die Angst vor möglichen Konsequenzen verschweigt. Es ist möglich, dass durch Einschränkungen der motorischen und sozialen Aktivität bisher ein Sturz vermieden wurde, aber dennoch eine Störung der Gleichgewichtsfähigkeit vorliegt. Genauso ist es denkbar, dass ein Sturzereignis durch externe Einflüsse ausgelöst wurde und ein Sturz unvermeidbar war. Darüber hinaus wäre es wünschenswert das Ausmaß der Gleichgewichtsstörungen bereits vor dem ersten Sturzereignis quantifizieren zu können. Ein indirektes Verfahren ist die Befragung bzgl. der motorischen und sozialen Aktivität der Probanden, den sogenannten activities of daily living (ADLs). Gleichgewichtsstörungen führen häufig dazu, dass diese Aktivitäten bewusst und unbewusst einschränkt und dadurch besonders die Lebensqualität deutlich reduziert wird.

Ein speziell auf die gleichgewichtsbezogene Selbstsicherheit ausgerichteter Fragebogen ist die Activities-Specific Balance Confidence Scale, welche im Folgenden näher erläutert wird.

## Activities - Specific Balance Confidence Scale (ABC)

Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln angesprochen, wird die Angst zu stürzen als ein eigenständiger Risikofaktor verstanden. Die Angst vor einem Sturz drückt dabei einerseits aus, dass Gleichgewichtsstörungen vorliegen und man sich selbst nicht in der Lage sieht auf eine unerwartete Störung des Gleichgewichts adäquat zu reagieren. Zum anderen führt die Angst vor einem Sturz dazu, dass körperliche Aktivitäten bewusst und unbewusst reduziert werden. Der daraus resultierende Abbau der körperlichen Leistungsfähigkeit führt zu einer weiteren Verminderung der Gleichgewichtsfähigkeit.

Untersuchungen konnten belegen, dass ein Sturzereignis die Wahrscheinlichkeit eine Sturzangst zu entwickeln verdoppelt und umgekehrt die Angst vor Stürzen eine Vorhersage für einen Sturz darstellt (Friedman et al., 2002). Die Activities-Specific Balance Confidence Scale ist ein standardisierter Fragebogen, der speziell die sturzassoziierte Selbstwirksamkeit, also die antizipierte Fähigkeit einer Person, Aktivitäten des täglichen Lebens durchzuführen, ohne einen Sturz zu erleiden hinterfragt und damit auf die Sturzangst schließen lässt (Schott, 2008).

In der Activities-Specific Balance Confidence Scale sollen die Probanden angeben, wie zuversichtlich sie sind nicht das Gleichgewicht zu verlieren, wenn sie 16 alltagmotorische Aktivitäten durchführen und dies auf einer Skala von 0 % (überhaupt nicht zuversichtlich) bis 100 % (absolut zuversichtlich) bewerten. Eine sehr gute Reliabilität und Validität des ursprünglich für selbständig lebende ältere Erwachsene entwickelten Fragebogens, konnten speziell für den Einsatz bei Parkinsonpatienten bestätigt werden. Die kleinste bedeutsame Veränderung wurde in der Literatur mit 13 % angegeben (Steffen und Seney, 2008, Powell und Myers, 1995).

Parkinsonpatienten zeigen im Vergleich zu gesunden Probanden eine deutlich geringere sturzassoziierte Selbstwirksamkeit (Adkin et al., 2003, Schilling et al., 2009). Gruppen von Parkinsonpatienten mit einem hohen Sturzrisiko, detektiert durch mindestens einen Sturz im letzten Jahr, und Parkinsonpatienten mit niedrigem Sturzrisiko, ohne Sturzereignis, werden durch die ABC voneinander signifikant unterschieden. Der Versuch einen Cutoff-Wert von 75,6 % festzulegen muss allerdings als gescheitert angesehen werden (Landers et al., 2008).

**Tab. 8: Ergebnisse (MW  $\pm$  SD) zur Activities-Specific Balance Confidence Scale bei Parkinsonpatienten**

PP (Faller)	PP (allg. oder Non-Faller)	GG	n	Author
59 $\pm$ 20	78 $\pm$ 18	-	25/24/-	(Landers et al., 2008)
-	70 $\pm$ 19	-	-/36/-	(Steffen und Seney, 2008)
-	81 $\pm$ 13	96 $\pm$ 5	-/19/68	(Peretz et al., 2006)
-	69 $\pm$ 3	93 $\pm$ 1	-/58/30	(Adkin et al., 2003)

Neben der ursprünglichen Activities-Specific Balance Confidence Scale hat sich eine verkürzte Form aus sechs Fragen etabliert. In unterschiedlichen, unabhängigen Studien und für unterschiedliche Probandengruppen wurden die Fragen mit dem geringsten Wert, also die Aktivitäten mit der geringsten sturzassoziierten Selbstsicherheit ausgewählt und auf ihre Eignung hin überprüft. Es hat sich speziell bei Parkinsonpatienten gezeigt, dass Reliabilität und Validität der verkürzten Form genauso hoch sind, wie die der vollständigen ABC. Gerade im klinischen Umfeld, wo der Zeitfaktor eine große Rolle spielt, wird die verkürzte Form bevorzugt (Adkin et al., 2003, Peretz et al., 2006, Oude Nijhuis et al., 2007).

Zahlreiche Autoren empfehlen die Durchführung von Testbatterien anstatt einzelnen Testverfahren. Sie vermuten, dass mit einzelnen Testverfahren nur einzelne, sehr isolierte Komponenten der posturalen Stabilität getestet werden können und eine allgemeine Aussage nicht möglich sei (Rossi et al., 2009, Bloem et al., 2001b, Jacobs et al., 2006a, Smithson et al., 1998, Hirsch et al., 2003). Die Ursachen für einen Sturz sind so vielschichtig, dass ein einzelnes Testverfahren dies kaum widerspiegeln kann. Wie die Ergebnisse verschiedener Testverfahren zu einer Gesamtaussage zusammengefasst werden können, lassen die Autoren jedoch offen.

Die Beurteilung der posturalen Stabilität ist besonders wichtig für die Beurteilung der Effektivität von therapeutischen Interventionen. Ob ein Training die Gleichgewichtskontrolle beeinflussen kann, ist bisher unbekannt (Allum und Shepard, 1999, Dibble und Lange, 2006). Es mangelt an objektiven und quantitativen Dokumentationen von therapeutischen Interventionen (Visser et al., 2008). Damit beschäftigt sich das nachfolgende Kapitel.



## 5. Training der posturalen Stabilität

Die im vorangegangenen Kapitel besprochene Problematik zur Beurteilung der posturalen Stabilität, ist gekennzeichnet durch fehlende Goldstandards bei der Wahl eines geeigneten Testverfahrens und bei der Durchführung der Testverfahren selbst. So ist es fast nachvollziehbar, dass Interventionsstudien zur Verbesserung der posturalen Stabilität bei Parkinsonpatienten rar gesät sind. Auch gehören bewegungstherapeutische Interventionsstudien bei Parkinsonpatienten mit einem Beginn in den 80er Jahren zu einem relativ jungen Forschungsfeld (Keus et al., 2009, de Goede et al., 2001). Jedoch stehen aufgrund der fehlenden bzw. ungenügenden Wirksamkeit von medikamentösen und operativen Therapien, bewegungstherapeutische Maßnahmen zur Reduzierung der körperlichen Einschränkungen besonders im Fokus therapeutischer Behandlung der posturalen Instabilität. Umso verwunderlicher ist der Mangel an objektiven und quantitativen Dokumentationen (Visser et al., 2008, King und Horak, 2009), wenn man die Anzahl an wissenschaftlichen und nicht wissenschaftlichen Publikationen betrachtet, in denen Empfehlungen zur Durchführung von Gleichgewichtstraining bei Parkinsonpatienten gegeben werden (u. a. Stehle, 2009, King und Horak, 2009, Boelen, 2007, Scharf und Weineck, 2004, Buckley et al., 2008). So identifizieren Keus et al. (2007) in ihrem Review das Gleichgewichtstraining zu einem von sechs Kernfeldern der Bewegungstherapie von Parkinsonpatienten.

Aber welche Erkenntnisse liegen diesen Empfehlungen zugrunde? Wurde ein positiver Effekt von Gleichgewichtstraining auf die posturale Instabilität von Parkinsonpatienten in Interventionsstudien belegt? Und im Hinblick auf das vorangegangene Kapitel: Welche Gleichgewichtstests konnten den Einfluss eines Gleichgewichtstrainings bei Parkinsonpatienten nachweisen? Zur Klärung dieser Fragen sollen nachfolgend bisherige wissenschaftliche Erkenntnisse speziell zum Gleichgewichtstraining mit Parkinsonpatienten zusammengetragen und besprochen werden.

### 5.1. Theorie

In dem vorliegenden Kapitel wird versucht jenes Potential zu ergründen, welches man sich mit der Durchführung eines Gleichgewichtstrainings, also dem wiederholten Beüben der multifaktoriell bedingten, gestörten posturalen Stabilität bei Parkinsonpatienten erhofft. Eine Verhinderung des progressiven Neuronenverlustes durch ein Gleichgewichtstraining ist sicherlich nicht

denkbar. Dennoch konnte an Untersuchungen mit am Parkinson-Syndrom erkrankten Ratten, die ein regelmäßiges Laufbandtraining absolvierten, eine Reduktion der motorischen Störungen sowie eine verringerte Neurodegeneration einschließlich einer erhöhten Dopaminsynthese und einem Sprießen (sog. Sprouting) überlebender Neurone nachgewiesen werden (Tillerson et al., 2003). Inaktivität verstärkte hingegen die motorischen Störungen und führte zu einem größeren Verlust dopaminerger Neurone (Tillerson et al., 2002). An Parkinsonpatienten konnte bereits nachgewiesen werden, dass sich durch ein Laufbandtraining die Levodopa-Effizienz verbessert (Muhlack et al., 2007). Zu ähnlichen Ergebnissen mit anderem Studienmaterial kamen auch Goodwin und Kollegen (2008). In ihrem Review erweiterten sie die Aussage von einem reinen Laufbandtraining auf allgemeines körperliches Training. Fox et al. (2006) beschreiben darin fünf Trainingsprinzipien, welche die Neuroplastizität bei Parkinsonpatienten verstärken sollen:

- Intensive Aktivität maximiert die synaptische Plastizität.
- Komplexe Aktivität fördert größere strukturelle Adaptionen.
- Aktivität mit Feedback erhöht das Dopamin-Level und fördert damit das Neulernen.
- Dopaminerge Neurone reagieren besonders sensibel auf Aktivität und Inaktivität. „Use it or lose it“ (Goodwin et al., 2008, S. 631).
- Training zu Beginn der Erkrankung kann den weiteren Fortschritt verlangsamen.

Somit besitzt theoretisch auch ein Gleichgewichtstraining das Potential derartige Adaptionen zu provozieren. Spezielle Untersuchungen zum Gleichgewichtstraining sind allerdings nicht bekannt.

Einen weiteren Ansatzpunkt bietet die zunehmende körperliche Inaktivität im Alter und die daraus resultierenden körperlichen, funktionalen Beeinträchtigungen (Morris, 2000). Bei Parkinsonpatienten ist die körperliche Aktivität im Vergleich zu gleichaltrigen, gesunden Probanden deutlich reduziert (Goodwin et al., 2008). Ein nicht zu vernachlässigender Teil der Muskelschwäche und der funktionalen Mobilität und damit auch der posturalen Instabilität ist daher nicht primär der Erkrankung, sondern sekundär der körperlichen Inaktivität zu zuschreiben (Dibble et al., 2006b). Ein Gleichgewichtstraining könnte somit der körperlichen Inaktivität entgegenwirken und die sekundären Beeinträchtigungen vermeiden.

Aufgrund der gestörten sensorischen Integration u.a. der propriozeptiven Informationen erhofft man sich durch ein Gleichgewichtstraining ein Training

der zentralen Verarbeitung. Eine Einschränkung oder ein gänzlicher Ausschluss des visuellen Inputs soll dabei helfen vermehrt auf propriozeptive Informationen zurückzugreifen (King und Horak, 2009, Scharf und Weineck, 2004). Ob ein derartiges Training der Basalganglien möglich ist, scheint allerdings aufgrund der Pathophysiologie eher unrealistisch.

Ein anderer Ansatz ist, die Aufmerksamkeit auf einzelne Bewegungsaufgaben zu richten. Läuft die Bewegungshandlung auf einer bewussten Ebene ab, ist es möglich die motorische Schleife über die Basalganglien zu umgehen. Allerdings ist es fraglich, ob die Probanden diese Aufmerksamkeit auch in Alltagssituationen umsetzen können (Keus et al., 2007).

Weiterhin sollte beachtet werden, dass bei neurodegenerativen Erkrankungen wie dem Parkinson-Syndrom bereits eine Verlangsamung der Progression einen enormen positiven Effekt darstellt.

Nebenwirkungen oder gegenteilige Effekte hervorgerufen durch ein Gleichgewichtstraining sind nicht bekannt (Goodwin et al., 2008, King und Horak, 2009, Ashburn et al., 2007). Sehr selten wird von einem Sturz oder einer Verletzung im Zusammenhang mit einem Krafttest berichtet (Hirsch et al., 2003). Verspannungen im Nackenbereich oder schmerzhafter Rigor in den Oberschenkeln können verstärkt werden, sind aber im Verhältnis zu den Nebenwirkungen der medikamentösen und operativen Therapie als äußerst gering anzusehen. Anders sieht es bei den positiven Nebenwirkungen aus. So profitieren die Parkinsonpatienten von den generellen positiven Effekten eines regelmäßigen körperlichen Trainings, wie die Verbesserung der Lebensqualität, der motorischen Fähigkeiten und wenn dieses in einer Gruppe durchgeführt wird, können auch psychosoziale Beeinträchtigungen entgegen gewirkt werden (Martin und Wieler, 2003, Morris et al., 2009).

## **5.2. Praxis**

Die ohnehin schon dürftige Literaturlage zur Effektivität von Gleichgewichtstraining bei Parkinsonpatienten erfährt eine zusätzliche Limitation dadurch, dass die durchgeführten Interventionen häufig aus einer Kombination verschiedenster Interventionsstrategien wie z.B. Gleichgewichts-, Dehn-, Mobilitäts- und Kräftigungsübungen sowie Sturzaufklärung und Vermittlung von Bewegungsstrategien bestehen (Toole et al., 2000, Stankovic, 2004). Den Einfluss des Gleichgewichtstrainings isoliert zu beurteilen, ist somit meist nicht möglich. Diese Einschränkungen erfuhren auch die Autoren vorhande-

ner (Cochrane-) Review-Artikel. Eine allgemeine Aussage zur Effektivität von Gleichgewichtstraining war hier aufgrund zu großer Unterschiede im Studiendesign, sei es in den durchgeführten Interventionen oder in den verwendeten Testverfahren, gescheitert (Gage und Storey, 2004, Deane et al., 2001a, Deane et al., 2001b). Darüber hinaus herrscht ein Mangel an Studien mit einer ausreichenden Qualität z.B. durch ein randomisiertes, kontrolliertes Studiendesign, eine hinreichende Beschreibung der Intervention und einer annehmbaren Probandenzahl (Keus et al., 2009). Deane et al. (2001a) fordern daher, die Effektivität einzelner Interventionen zunächst in einem guten Studiendesign zu prüfen, bevor Kombinationen untersucht werden. Andere Autoren fordern hingegen einen größeren Fokus auf multidisziplinäre Interventionen einschließlich psychologischer Interventionen zu legen (Gage und Storey, 2004). Sie erwarten durch einen umfassenden Ansatz eine größere Effektivität der Intervention. Die Review-Artikel von Keus et al. (2007) und Goodwin et al. (2008) folgern einen positiven Effekt von Gleichgewichtstraining in Kombination mit Krafttraining auf die posturale Stabilität und berufen sich dabei überwiegend auf die Untersuchungen von Hirsch et al. (2003) und Toole et al. (2000).

Hirsch et al. (2003) untersuchten die Auswirkungen eines Gleichgewichtstrainings sowie einer Kombination aus Gleichgewichtstraining und intensivem Krafttraining der Beinmuskulatur. Zwei Untersuchungsgruppen mit Parkinsonpatienten trainierten dafür über einen Zeitraum von 10 Wochen, an drei nicht aufeinander folgenden Tagen pro Woche. Die Inhalte des 30-minütigen Gleichgewichtstrainings waren für beide Gruppen identisch. Es wurden einfache Gleichgewichtsübungen mit offenen und geschlossenen Augen, auf ebenem Untergrund und auf Schaumstoffmatten durchgeführt. Die Kombinationsgruppe erhielt zusätzlich zum Gleichgewichtstraining ein 15-minütiges intensives Krafttraining. Nach Beendigung der Interventionsphase verbesserten beide Gruppen den Gleichgewichtsscore im SOT, die Gleichgewichtsgruppe im Mittel um 8 %, die Kombinationsgruppe um 16 %. Nach vier Wochen war dieser Effekt nicht mehr bei der Gleichgewichtsgruppe, aber noch bei der Kombinationsgruppe nachweisbar. Die Gleichgewichtsgruppe zeigte ebenfalls Verbesserungen, wenn auch nur gering um im Mittel 9 % im durchgeführten Krafttest. Die Kombinationsgruppe verbesserte sich durch das zusätzliche Krafttraining entsprechend stärker um 52 %. Eine Kontrollgruppe ohne Trainingsintervention wurde in dieser Studie nicht mit gemessen. Toole et al. (2000) hingegen führten die Pilotstudie zu dieser Studie mit einer Kontrollgruppe durch und berichteten von keiner Veränderung

des Gleichgewichtsscores in der Gruppe ohne Intervention und sogar von einer Verschlechterung im Krafttest. Somit kann in der Balancegruppe von Hirsch et al. (2003) ein Gewöhnungseffekt an die Testmessungen ausgeschlossen werden. Der große Nachteil dieser beiden häufig zitierten Studien ist die geringe Probandenanzahl von durchschnittlich sechs Probanden je Gruppe.

Die beiden vorgestellten Studien zeigen, dass Beinkraft und Gleichgewichtsfähigkeit bei Parkinsonpatienten miteinander in Verbindung stehen bzw., dass das Gleichgewichtsvermögen von der Beinkraft positiv beeinflusst wird. Es wäre interessant, ob sich die Gleichgewichtsfähigkeit im SOT durch ein reines Krafttraining ebenfalls verbessert hätte. Bisher ist wenig über die Auswirkung von Gleichgewichtstraining auf die Kraftentwicklung bekannt. Die Studie von Hirsch et al. (2003) zeigt, dass Gleichgewichtstraining bei Parkinsonpatienten zu einem kleinen Kraftanstieg in der Beinmuskulatur führt.

Qutubuddin et al. (2007) trainierten zwei Gruppen mit Parkinsonpatienten über einen Zeitraum von acht Wochen. In den ersten vier Wochen führte eine Gruppe ein computergestütztes Gleichgewichtstraining auf einem sogenannten Smart Balance Master der Firma NeuroCom®International Inc. (OR, USA) durch. Dabei sollten die stehenden Probanden versuchen durch eine Verlagerung ihres Körperschwerpunktes, den auf einem Computerbildschirm angezeigten Druckmittelpunkt in bestimmte Regionen zu steuern. Die andere Gruppe erfuhr in der Zeit ein Gleichgewichtstraining mit Standübungen auf stabilen und instabilen Untergründen, mit offenen und geschlossenen Augen. Die Trainingseinheiten wurden zweimal pro Woche für 30 min. durchgeführt. In den letzten vier Wochen trainierten beide Gruppen täglich nach einem Heimtrainingsplan verschiedene Dehn- und Mobilitätsübungen. Der Heimtrainingsplan war für beide Gruppen identisch. Als Testverfahren wurde der Berg Balance Test und der SOT verwendet. Der Berg Balance Test verbesserte sich in der Gruppe mit dem computergestützten Gleichgewichtstraining im Mittel, wenn auch nicht signifikant, um 5 Punkte. Die Gruppe mit dem klassischen Gleichgewichtstraining zeigte keine Veränderung. Beide Gruppen zeigten ebenfalls keine signifikanten Veränderungen im SOT, dafür aber in einem nicht näher beschriebenen Test der Stabilitätsgrenzen. Eine Kontrollgruppe wurde nicht in das Studiendesign integriert. Die Ergebnisse dieser Studie sind aufgrund zahlreicher Limitationen im Studiendesign kritisch zu betrachten. Es ist fraglich, ob der hier durchgeführte Trainingsumfang nach einem anschließend durchgeführten unspezifischen Heimtraining

ausreichend ist, um einen entsprechenden Trainingseffekt nachzuweisen. Da die Ergebnisse keinen Unterschied zwischen den beiden Interventionsgruppen zeigten, ist festzuhalten, dass aufgrund des geringeren technischen Aufwandes das klassische Gleichgewichtstraining dem computergestützten Training vorzuziehen ist.

Eine weitere Vergleichsstudie untersuchte die Auswirkungen eines nicht näher beschriebenen Gleichgewichtstrainings auf einem Wackelbrett und eines Vibrationstrainings (Ebersbach et al., 2008). Beide Trainingsinterventionen wurden zweimal täglich für 15 min. über einem Zeitraum von drei Wochen durchgeführt. Zusätzlich waren jedoch alle beteiligten Parkinsonpatienten in einer umfassenden bewegungstherapeutischen Behandlung eingeschlossen. In beiden Gruppen verbesserten sich der durchgeführte Gleichgewichtstest, der Tinetti Mobilitäts-Test sowie der Retropulsionstest. Ein Unterschied zwischen den Gruppen wurde nicht festgestellt. Die durchgeführte Stabilometrie wies, wenn auch nicht signifikant, nach dem Training auf dem Wackelbrett ein erhöhtes Schwanken und nach dem Vibrationstraining ein geringes Schwanken auf. Eine Erklärung für die unterschiedlichen Ergebnisse in der Stabilometrie wurde nicht gegeben. Die Forschergruppe kam zu dem Ergebnis, dass ein Vibrationstraining gegenüber dem Training auf dem Wackelbrett keine größere Effektivität zur Verbesserung des Gleichgewichts zeigt.

Ashburn et al. (2007) beschreibt ein 6-wöchiges Heimtraining bei Parkinsonpatienten, die bereits wiederholte Stürze erfahren haben. Die Intervention bestand hier aus einer Kombination von Kraft-, Gleichgewichts- und Dehnübungen sowie der Vermittlung von Bewegungsstrategien. Ein Physiotherapeut besuchte die Probanden dazu einmal in der Woche und passte die Trainingsintensität individuell an. Die restlichen Tage in der Woche trainierten die Probanden eigenständig eine Stunde pro Tag. Der Functional Reach Test und Berg Balance Test wurden erhoben und zeigten nach Beendigung der Interventionszeit weder für die Interventionsgruppe noch für eine vorhandene Kontrollgruppe eine Veränderung. Die Autoren beschreiben einen Trend zu weniger Stürzen und „Beinahe-Stürze“ in der Trainingsgruppe. Sie vermuten eine Verbesserung der Gleichgewichtskontrolle überwiegend auf Grundlage der vermittelten Bewegungsstrategien sowie einer besseren Selbsteinschätzung, weniger jedoch durch das Training selbst. Es stellt sich hier die Frage, ob die gewählte Interventionsdauer von sechs Wochen ausreichend ist, um einen Effekt bei bereits gestürzten Probanden zu erreichen. Wahrscheinlich ist es schwerer bei Parkinsonpatienten in einem höheren Stadium positive Effekte eines Gleichgewichtstrainings auf die posturale Stabilität zu erzie-

len, als in einem früheren Stadium (siehe Kap. 5.1). Generell ist es besser präventiv tätig zu werden. So kommt eine Studie zu gesunden, älteren Menschen zu dem Ergebnis, dass 30-40 % aller Stürze verhindert werden können, wenn die Personen, die gefährdet sind eine bewegungstherapeutische Behandlung bekommen würden (Tinetti, 2003). Eine bewegungstherapeutische Intervention sollte daher möglichst frühzeitig im Krankheitsverlauf begonnen werden (Schenkman et al., 1998, Ashburn et al., 2007).

Stankovic (2004) konnte dennoch zeigen, dass Parkinsonpatienten ohne bisherige Sturzerfahrung sowie Parkinsonpatienten mit einer positiven Sturzanamnese von einer 30-tägigen Bewegungstherapie zur Verbesserung des Gleichgewichts profitieren. Die Trainingsinhalte reichten auch hier von Dehn-, Kraft- und Gleichgewichtsübungen über Gehen und Treppensteigen bis zur Vermittlung von Bewegungsstrategien zur Sturzprävention und Aufklärung über die Wirkweise der medikamentösen Therapie. Getestet wurde die Standdauer bis max. 30 s im normalen Stand, im engen Stand, in einer Schrittposition, im Tandemstand und im Einbeinstand sowie der Functional Reach Test (Smithson et al., 1998). Die Parkinsonpatienten ohne Sturzgeschichte zeigten nach der Interventionsphase signifikante Verbesserungen im Tandemstand (von  $20,3 \pm 9$  s auf  $24,2 \pm 5$  s) und leichte Verbesserungen im Einbeinstand (von  $16,4 \pm 10$  s auf  $18,4 \pm 6$  s). Die Parkinsonpatienten mit Sturzerfahrung verbesserten sich im Tandemstand (von  $13,7 \pm 12$  s auf  $16,9 \pm 8$  s), Einbeinstand (von  $8,7 \pm 10$  s auf  $12,5 \pm 7$  s) sowie im Functional Reach Test (von  $21,2 \pm 6$  cm auf  $26,4 \pm 6$  cm). Eine genaue Beschreibung über den Trainingsumfang ist hier leider nicht gegeben. Da es sich bei diesem Training um eine Kombination verschiedener Trainingsarten handelt, kann der Einfluss speziell des Gleichgewichtstrainings kaum abgeschätzt werden.

Auch Bühlmeier (2008) untersuchte eine Kombination aus verschiedenen Trainingsinhalten wie Mobilitäts-, Koordinations-, Kraft- und Gleichgewichtsübungen. In dieser Studie sollten die Probanden in jeder Trainingseinheit neue Bewegungsaufgaben lösen. Die Probanden trainierten zwölf Wochen, jeweils zweimal pro Woche, für 60 min. Die durchgeführten Gleichgewichtstests zeigten nach der Interventionsphase einen verringerten COP-Weg im Stand mit geschlossenen Augen sowie im Tandemstand. Eine durchgeführte dynamische Posturographie zeigte einen verringerten COP-Weg sowie eine erhöhte Reflexaktivität. Auch hier ist der Einfluss eines Gleichgewichtstrainings aufgrund der Kombination mit anderen Trainingsinhalten und dem Schwerpunkt auf dem Neulernen von Bewegungsaufgaben nicht abzuschätzen.

Eine Studie beschäftigte sich mit der Frage des angemessenen Trainingsumfangs. So untersuchten Gobbi et al. (2009) eine Trainingsintervention aus Dehn-, Kraft-, Ausdauer-, Koordinations- und Gleichgewichtsübungen an zwei Gruppen über einem Zeitraum von sechs Monaten. Eine Gruppe trainierte dazu dreimal pro Woche mit steigender Intensität, die andere Gruppe trainierte einmal pro Woche mit gleichbleibender Intensität. Als Messinstrument wurde der Berg Balance Test eingesetzt. Es zeigte sich, dass beide Gruppen trotz unterschiedlicher Trainingsumfänge über den langen Trainingszeitraum die Punktzahl im Berg Balance Test leicht erhöhen konnten. Leider wurde keine Kontrollgruppe ohne Trainingsintervention eingesetzt. Die Autoren gehen davon aus, dass das Training dazu beiträgt den Teufelskreis der zunehmenden körperlichen Inaktivität und deren negativen Folgen zu unterbrechen.

Ein anderes Training konzipierten Jöbges und Kollegen (2004). Sie trainierten über einen recht kurzen Zeitraum von zehn Tagen, zweimal täglich gezielt wiederholte, kompensatorische Ausgleichsschritte. Dazu wurden die Probanden für jeweils 20 min. Perturbationen in Form von Stößen eines Untersuchungsleiters ausgesetzt. Die Probanden sollten dabei versuchen durch kompensatorische Schritte das Gleichgewicht aufrechtzuerhalten. Nach den zwei Wochen wurde eine Vergrößerung des kompensatorischen Schrittes und eine Verkürzung der Initiierungszeit festgestellt. Diese Effekte waren auch nach zwei Monaten ohne Intervention noch zu erkennen. Der SOT zeigte hingegen keinen Unterschied. Auch hier wurde auf eine Kontrollgruppe verzichtet. In dieser Studie wurde ein zweiter Eingangstest durchgeführt. Dieser bietet die Möglichkeit die Variabilität der Testgruppe besser einschätzen und vor dessen Hintergrund das Ergebnis entsprechend interpretieren zu können. Es ist bekannt, dass die Symptome der Parkinson-Erkrankung sehr stark emotional beeinflussbar sind, so verstärkt sich bspw. der Tremor, wenn der Proband aufgeregt ist. Eine zweite Eingangsmessung gibt dem Probanden die Möglichkeit sich mit der ungewohnten Testsituation im Labor zu arrangieren. Somit werden die Bedingungen für den Pre- und für den Post-Test besser standardisiert. Eine zweite Eingangsmessung empfiehlt auch Kimmeskamp (2003). In seiner Untersuchung trainierten die Probanden über einen Zeitraum von vier Wochen täglich sechs einfache Gleichgewichtsübungen und trugen über den gesamten Interventionszeitraum spezielle Schuheinlagen mit einer Noppenoberfläche zur Stimulierung der Fußsensorik. Ausgewählte Gangparameter zeigten keinen Einfluss des Gleichgewichtstrainings und der Einlegesohle. Im Parallelstand reduzierte

sich der Weg des COPs und durch den Einsatz der speziellen Einlegesohle wurde ein größeres funktionales Vorlehnen beobachtet.

Cakit et al. (2007) und Toole et al. (2005) untersuchten den Einfluss eines 6- bzw. 8-wöchigen Laufbandtrainings auf die posturale Stabilität. Toole et al. (2005) beobachteten Verbesserungen im SOT von 48,8 % auf 54,8 % sowie im Berg Balance Test von drei Punkten. Cakit et al. (2007) zeigte signifikante Verbesserungen im Berg Balance Test von  $37,0 \pm 9$  Punkte auf  $44,1 \pm 7$  Punkte. Die dort untersuchte Kontrollgruppe zeigte hingegen keinen Unterschied. Somit zeigte sich hier ein positiver Effekt eines Ausdauertrainings auf die Gleichgewichtsfähigkeit. Wie bereits in der Studie von Hirsch et al. (2003) zeigt sich auch hier, dass die Verbesserung der konditionellen Fähigkeiten einen großen Einfluss auf die Gleichgewichtsfähigkeit zu haben scheint.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Literaturlage zur Effektivität von Gleichgewichtstraining zur Verbesserung der posturalen Stabilität bei Parkinsonpatienten nicht ausreichend ist und weiterer Forschung bedarf (Dibble und Lange, 2006, Bloem et al., 2006). Der aktuelle Stand der Literatur lässt ein Potential zur Verbesserung der posturalen Kontrolle erkennen. Dennoch ist es notwendig in einem kontrollierten Studiendesign, mit verschiedenen Gleichgewichtstests die Effektivität eines reinen Gleichgewichtstrainings zu überprüfen. Daraus ergibt sich die Zielstellung der vorliegenden Arbeit im nachfolgenden Kapitel.



## 6. Zielstellung und Hypothesen

Eines der Kardinalsymptome der Parkinson-Krankheit ist die posturale Instabilität. Durch einen progressiven Krankheitsverlauf und ein Nicht-Ansprechen auf medikamentöse und operative Therapiemaßnahmen, führt dieses Symptom zu einer enormen Beeinträchtigung der Mobilität und Aktivität im täglichen Leben der Patienten. Bewegungstherapeutische Maßnahmen sind daher besonders bedeutsam, die Beeinträchtigungen durch die posturale Instabilität zu stabilisieren und evtl. auch zu reduzieren. Der Einfluss eines Gleichgewichtstrainings wurde bisher nicht hinreichend untersucht. Aufgrund eines nachgewiesenen Einflusses von körperlicher Aktivität auf die Neuroplastizität und von körperlicher Inaktivität auf die posturale Instabilität werden hier Anpassungserscheinungen erwartet (vgl. Kap. 5.1).

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist, ein Standgleichgewichts- und Standstabilisationstraining mit am Parkinson-Syndrom erkrankten Personen über einen Zeitraum von zwölf Wochen durchzuführen und mit bekannten Testverfahren der Gleichgewichts- und Stabilitätsmessung Auswirkungen des Trainings zu überprüfen.

Aus der zentralen Fragestellung:

*Führt eine bewegungstherapeutische Intervention mittels Gleichgewichtstraining bei Parkinsonpatienten zu einer nachweislichen Beeinflussung der posturalen Stabilität?*

sowie der vorangegangenen Literaturbesprechung ergeben sich folgende Hypothesen, die in der vorliegenden Arbeit betrachtet werden sollen:

- Hypothese 1: *Gleichgewichtstraining beeinflusst das statische und dynamische Gleichgewicht von Parkinsonpatienten in motorischen Alltagssituationen.*
- Hypothese 2: *Gleichgewichtstraining beeinflusst das Standgleichgewicht von Parkinsonpatienten, gemessen mit dem Verfahren der statische Posturographie.*
- Hypothese 3: *Gleichgewichtstraining beeinflusst die Standstabilität von Parkinsonpatienten, gemessen mit dem Verfahren der dynamischen Posturographie.*

Hypothese 4: *Gleichgewichtstraining beeinflusst die Beinkraft von Parkinsonpatienten.*

Hypothese 5: *Gleichgewichtstraining beeinflusst die Selbstsicherheit von Parkinsonpatienten bei der Bewältigung von Gleichgewicht-herausfordernden Alltagsaktivitäten.*

## **7. Methodik**

Im vorliegenden Kapitel wird der methodische Aufbau der empirischen Untersuchung erläutert. Dabei wird die Probandenstichprobe vorgestellt sowie der Versuchsablauf, das Instrumentarium und die statistische Auswertung der verwendeten Testverfahren hinreichend beschrieben. Eine Begründung der Auswahl der Methoden wurde zum größten Teil in Kapitel 4 thematisiert und soll daher hier nicht wiederholt aufgegriffen werden. Eine kritische Reflexion der Methoden erfolgt in der Methodendiskussion zu einem späteren Zeitpunkt der Arbeit in Kapitel 9.1.

### **7.1. Studiendesign**

In einem randomisierten und kontrollierten Design wurden die Auswirkungen eines 12-wöchigen Gleichgewichtstrainings bei Parkinsonpatienten mittels alltagsmotorischen, biomechanischen und subjektiven Testverfahren untersucht.

In einer Vorbesprechung wurden die Ein- und Ausschlusskriterien überprüft (Kapitel 7.2), anthropometrische Daten, der UPDRS-Score (Teil III) sowie Fragebögen zur körperlichen Aktivität (PAQ-50+) und zur gleichgewichtsbezogenen Selbstsicherheit (ABC) erhoben. Alle in der Studie eingeschlossenen Parkinsonpatienten wurden anschließend randomisiert einer Interventionsgruppe oder einer Kontrollgruppe zugeteilt. Die Randomisierung erfolgte dabei durch ein einfaches Losverfahren, ausgeführt durch zwei an der Studie nicht beteiligter Personen. Die Interventionsgruppe führte über zwölf Wochen dreimal pro Woche ein Gleichgewichtstraining durch. Die Methoden und Inhalte sind Kapitel 7.7 zu entnehmen. Die Kontrollgruppe hatte in dieser Zeit die Aufgabe das gewohnte Bewegungsverhalten beizubehalten. Diese Phase wird nachfolgend für beide Gruppen als Interventionsphase bezeichnet, wohlwissend, dass die Kontrollgruppe keinerlei Intervention erfahren hat.

Beide Gruppen vollzogen vor und nach der Interventionsphase jeweils zwei Pre-Tests bzw. zwei Post-Tests gleichen Inhalts, durchgeführt an jeweils zwei nicht aufeinander folgenden Tagen innerhalb einer Woche. Das Ergebnis über die Gruppeneinteilung wurde den Probanden nach der ersten Pre-Messung mitgeteilt. Die Pre-Tests wie auch die Post-Tests bestanden aus dem Berg Balance Test, einem Tandemwalk-Test, statischen und dynami-

schen Posturographie-Messungen sowie einer isometrischem Maximalkraftmessung der Beinextensoren. Die durchgeführten Testverfahren werden in den nachfolgenden Kapiteln hinreichend erläutert. Abschließend erfolgte eine Nachbesprechung mit ähnlichen Inhalten wie bereits in der Vorbesprechung, zusätzlich wurde ein subjektives Feedback zu den vergangenen zwölf Wochen erbeten. Die Vor- und Nachbesprechungen sowie die Pre- und Posttests erfolgten stets für jeden Probanden zur selben Tageszeit und im sogenannten ON-Stadium. Sie wurden so organisiert, dass sie innerhalb von 60 min. durchzuführen waren. Das ON-Stadium wurde gewählt, da es in dieser aktiven Phase vermehrt zu Stürzen kommt (Gray und Hildebrand, 2000) und um den Einfluss der Variationen durch die aufkommende oder abschwächende Medikamentenwirkung zu minimieren (Morris und Iansek, 1996). Abb. 2 verdeutlicht das Studiendesign zusammenfassend im Diagramm.

Alle Besprechungen und Untersuchungen fanden im Labor für Biomechanik und Bewegungswissenschaft der Technischen Universität Chemnitz statt und wurden in dem Zeitraum von Anfang August 2010 bis Ende Dezember 2010 durchgeführt (Tab. 9).

**Tab. 9: Zeitlicher Ablauf der Untersuchung**

<b>Vorbesprechungen</b>	02.08. – 27.08.2010
<b>Pre-Test I + II</b>	30.08. - 10.09.2010
<b>Interventionsphase</b>	13.09. - 03.12.2010
<b>Post-Test I + II / Nachbesprechungen</b>	06.12. - 18.12.2010

Die vorliegende Studie wurde durch die Ethikkommission der Technischen Universität Chemnitz geprüft und zugelassen. Alle Teilnehmer wurden über das Ziel und den Inhalt der Untersuchung aufgeklärt und gaben ihr schriftliches Einverständnis (Anhang 10.1).

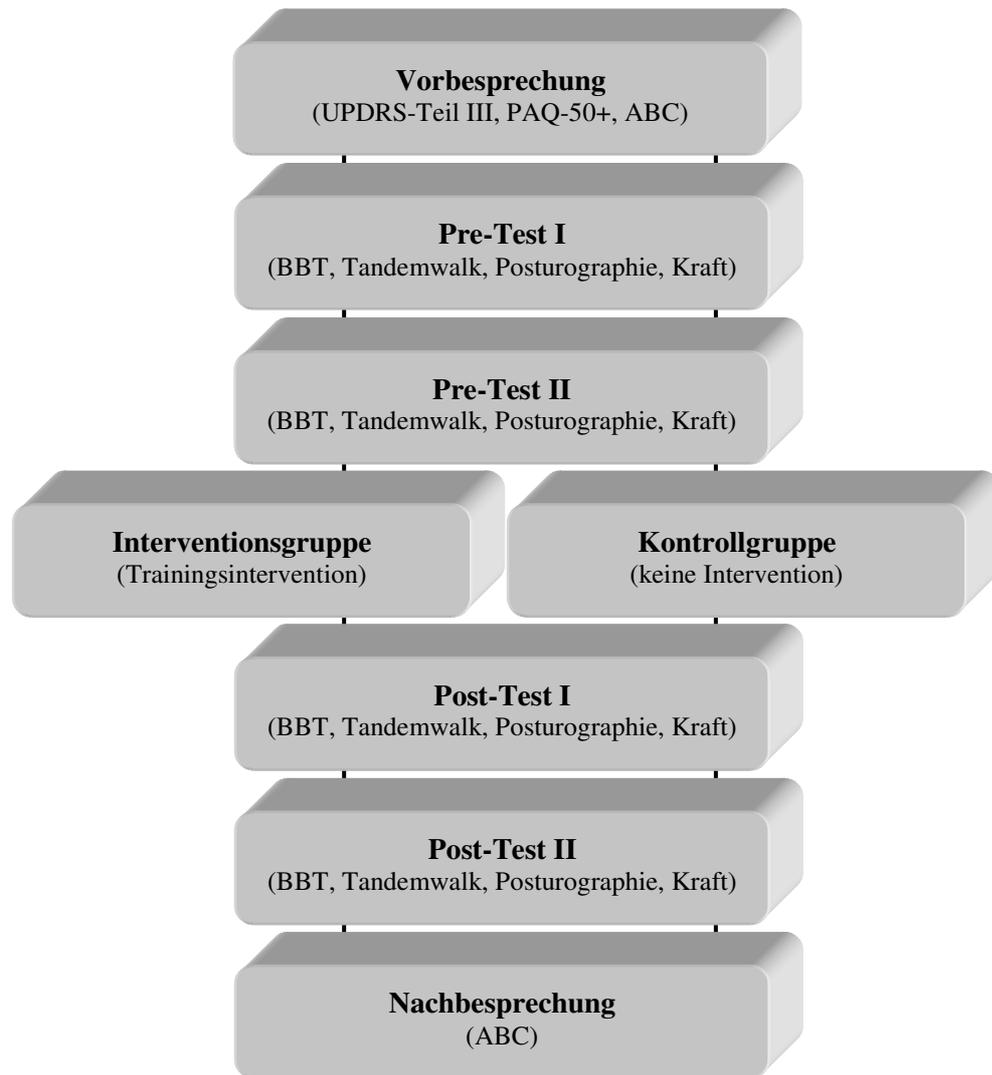


Abb. 2: Studiendesign in übersichtlicher Form

## 7.2. Probandenstichprobe

Die Rekrutierung der Probanden erfolgte über regionale Medien, über die Homepage der Technischen Universität Chemnitz, über regionale Selbsthilfegruppen sowie einem Schreiben an die ortsansässigen Neurologen. Dem Aufruf folgten ca. 170 interessierte Personen, davon 114 Personen aus der Region Chemnitz und den umliegenden Landkreisen Mittelsachsen, Zwickau, Erzgebirge und Vogtland. Den potentiellen Probanden der näheren Umgebung wurde vor Beginn der Studie eine Einführungsveranstaltung angeboten bzw. Informationsmaterial zugeschickt. An der Einführungsveranstaltung

nahmen 48 an Morbus Parkinson erkrankte Personen teil, von denen anschließend 40 Personen in die Untersuchung eingeschlossen werden konnten. Von den übrigen Personen, denen das Informationsmaterial zugeschickt wurde, konnten acht Personen in die Studie aufgenommen werden. Tabelle 10 zeigt die geforderten Voraussetzungen für eine Studienteilnahme.

**Tab. 10: Ein- und Ausschlusskriterien**

<b>Einschlusskriterien:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- diagnostiziertes Parkinson-Syndrom mit Angabe der Art des Syndroms und evtl. weiteren neurologischen Erkrankungen durch den behandelnden Neurologen</li> <li>- stabile Parkinson-Medikation vier Wochen vor Studienbeginn sowie über die gesamte Studiendauer</li> <li>- hausärztliche Einverständniserklärung (siehe Anhang 10.2)</li> <li>- Bereitschaft und Befähigung zu einer regelmäßigen Teilnahme an allen Untersuchungen und Trainingseinheiten über die gesamte Studiendauer in den Räumen der Technischen Universität Chemnitz</li> </ul>
<b>Ausschlusskriterien:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- unvorhersehbare motorische Fluktuationen und stark ausgeprägte Dyskinesien</li> <li>- weitere neurologische sowie kardiovaskuläre, hämatologische oder orthopädische Einschränkungen, die eine Teilnahme an den Untersuchungen und am Trainingsprogramm ausschließen</li> <li>- Versäumnis von mehr als 15 % der Trainingseinheiten</li> <li>- Beginn einer anderweitigen Trainingsintervention</li> </ul>

Insgesamt erschien für 19 Personen der Anreiseweg zum Untersuchungs- und Trainingsort zu weit entfernt oder zu aufwendig, 23 Personen haben die Teilnahme an der Studie ohne Angabe von Gründen abgelehnt, elf Personen litten nicht an einem Morbus Parkinson, bzw. waren nicht in neurologischer Behandlung, fünf Personen waren an einen Rollstuhl gebunden oder durch eine akute Erkrankung nicht in der Lage an der Studie teilzunehmen, drei Personen erhielten keine Einverständniserklärung durch ihren Hausarzt und fünf Personen hatten sich erst nach Beginn der Studie gemeldet.

Die Probandenstichprobe bestand aus 33 männlichen und 15 weiblichen Parkinsonpatienten. Durch eine randomisierte Zuteilung wurde die gesamte Gruppe in eine Interventionsgruppe, welche in der Interventionsphase ein Gleichgewichtstraining erfuhr (in Abbildungen und Tabellen im Folgenden

mit SENT bezeichnet) und in eine Kontrollgruppe, welche in der Interventionsphase ihr gewohntes Bewegungsverhalten beibehält (in Abbildungen und Tabellen im Folgenden mit KONT bezeichnet) aufgeteilt. Abb. 3 gibt einen Überblick über die Compliance der Stichprobe über die gesamte Studiendauer.

Drei Probanden der Interventionsgruppe schieden aus unterschiedlichen gesundheitlichen Gründen, welche nicht mit dem durchgeführten Trainingsprogramm in Verbindung standen, bereits während der Interventionsphase aus. Aus der Kontrollgruppe erschienen sechs Probanden nicht zu den Post-Messungen, was größtenteils auf die Witterungsbedingungen durch starken Schneefall und Glatteis zurückzuführen war und die Probanden keine Möglichkeit sahen die Räumlichkeiten der Technischen Universität Chemnitz aufzusuchen. Zwei Probanden konnten daher nur an einem anstatt an den zwei Post-Tests teilnehmen. Somit nahmen 22 Probanden der Interventionsgruppe und 17 bzw. 19 Probanden der Kontrollgruppe an den Post-Messungen teil.

Ein Vergleich der Medikamentenangabe zum Zeitpunkt der Pre- und der Post-Messungen detektierte sieben Probanden der Interventionsgruppe und sechs Probanden der Kontrollgruppe, deren Anti-Parkinson-Medikation während der Interventionsphase verändert wurde. Die entsprechenden Probanden wurden nachträglich von der Auswertung ausgeschlossen.

Von jedem Probanden wurden Angaben bzgl. der Anthropometrie, dem Zeitpunkt der Erstdiagnose, der Hoehn & Yahr - Stufe, dem UPDRS – Teil III (motorischer Teil), der Anzahl an Stürzen in den letzten drei Monaten und der momentanen Medikation erhoben. Weiterhin wurden die Probanden gebeten einen Fragebogen zur körperlichen Aktivität speziell für über 50 – jährige, die German - Physical Activity Questionnaire (PAQ-50+) auszufüllen (Huy und Schneider, 2008). Die Angaben sind Tabelle 11 zu entnehmen.

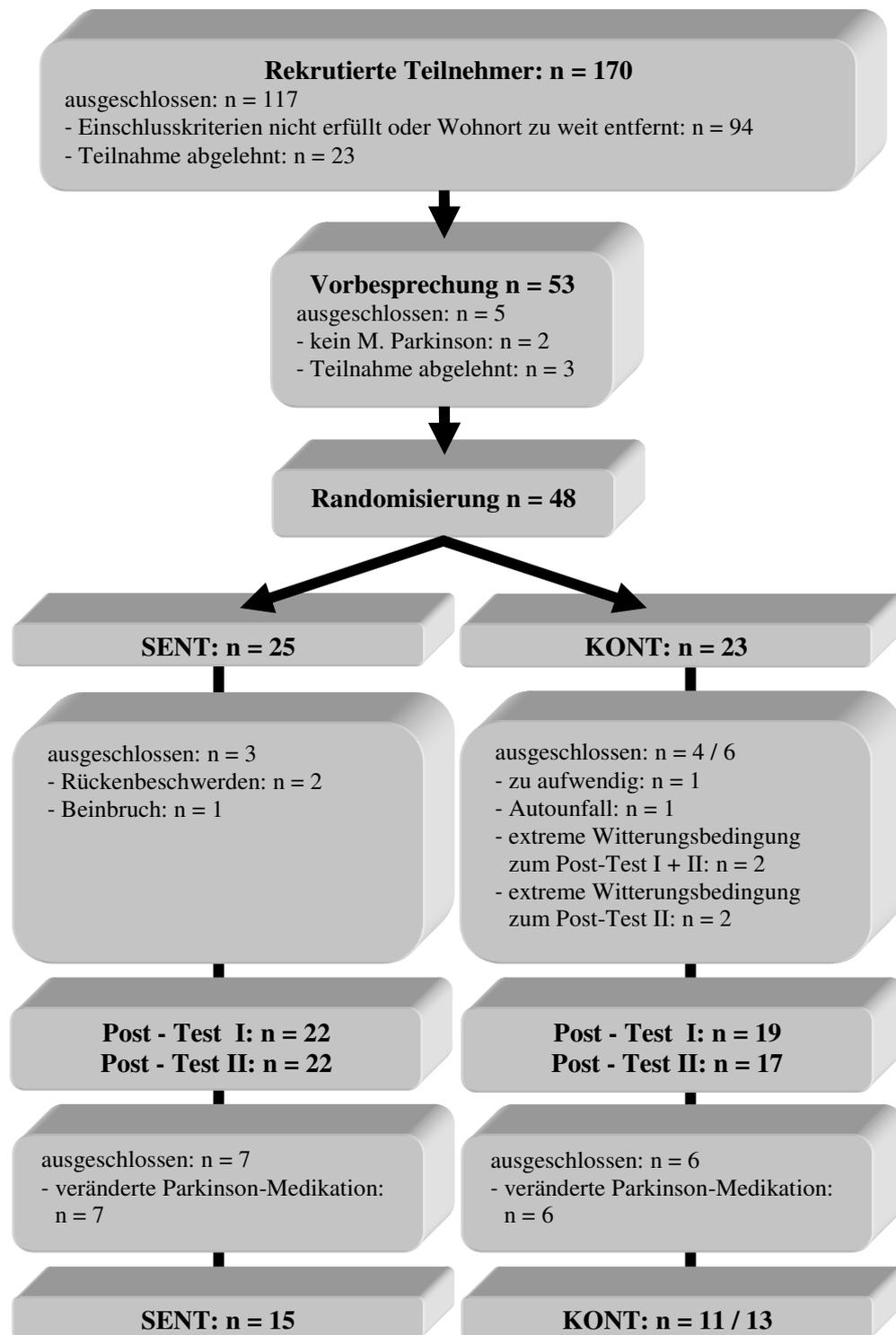


Abb. 3: Stichproben - Compliance

**Tab. 11: Anthropometrische Merkmale und Charakteristik der Untersuchungsgruppen**

<b>Merkmal</b>	<b>SENT</b>	<b>KONT</b>
<b>n [-]</b>	15	11
<b>Männer : Frauen [-]</b>	13 : 2	9 : 2
<b>Alter [Jahre]</b>	67 ± 9	68 ± 6
<b>Größe [cm]</b>	173 ± 11	173 ± 7
<b>Gewicht [kg]</b>	82 ± 16	75 ± 9
<b>Erstdiagnose [Jahre]</b>	5 ± 3	6 ± 4
<b>Stürze [-]</b>	1,4 ± 2	1,6 ± 3
<b>IPS [-]</b>	12 (15)	10 (11)
<b>L-Dopa Substitution [-]</b>	11 (15)	7 (11)
<b>UPDRS-Score (III) [-]</b>	29 ± 10	29 ± 10
<b>Hoehn &amp; Yahr [-]</b>	2,3 ± 0,9	2,5 ± 0,5
<b>PAQ – 50 [h/Woche]</b>	55 ± 38	55 ± 31

Die Übersicht verdeutlicht die homogene Gruppenverteilung in den erfassten Parametern. Eine Auflistung der einzelnen Probanden ist dem Anhang 10.3 zu entnehmen.

### **7.3. Alltagsmotorische Testverfahren**

Zur Untersuchung möglicher Auswirkungen des Gleichgewichtstrainings auf die Alltagsmotorik der Parkinson-Probanden wurde der Berg Balance Test angewandt. Zusätzlich diente ein Tandemwalk-Test als Test für die dynamische Gleichgewichtsfähigkeit.

#### **7.3.1. Berg Balance Test**

Die Gleichgewichtsfähigkeit in möglichst alltagsnahen Bewegungsaufgaben wurde mit Hilfe der standardisierten Testbatterie des Berg Balance Tests untersucht (siehe Kap. 4.1). Dieser Test begutachtet anhand von 14 einzelnen Bewegungsaufgaben überwiegend die statische Gleichgewichtsfähigkeit. Das Protokoll gibt vor, wie der Proband zu jeder Aufgabe aufgefordert werden soll und welche Hilfestellung zu geben ist. Dazu liest der Untersuchungsleiter die Anweisungen vor und begutachtet anschließend die Ausführung jeder Übung anhand einer Skala von 0 - 4 Punkten. Je mehr Punkte der Proband erreicht, desto sicherer und selbständiger konnte die Bewegungsaufgabe er-

füllt werden. Zusätzlich wird jede Übung durch den Untersuchungsleiter demonstriert. Abb. 4 zeigt einen Ausschnitt aus dem Test-Protokoll. Der Berg Balance Test ist vollständig im Anhang 10.4 aufgeführt.

### 1. Vom Sitzen zum Stehen

**Bitte stehen Sie auf! Versuchen Sie, ihre Hände nicht zur Unterstützung zu benutzen.**

kann aufstehen ohne die Hände einzusetzen und sich selbständig stabilisieren	4	
kann selbständig mit Einsatz der Hände aufstehen	3	
kann nach einigen Versuchen mit Einsatz der Hände aufstehen	2	
braucht minimale Hilfe zum Aufstehen oder zum Stabilisieren	1	
braucht mäßige bis maximale Hilfe um aufzustehen	0	
<b>Bemerkungen:</b>		

**Abb.4: Übung 1 aus dem Berg Balance Test übersetzt nach Scherfer vom Original (Berg 1989)**

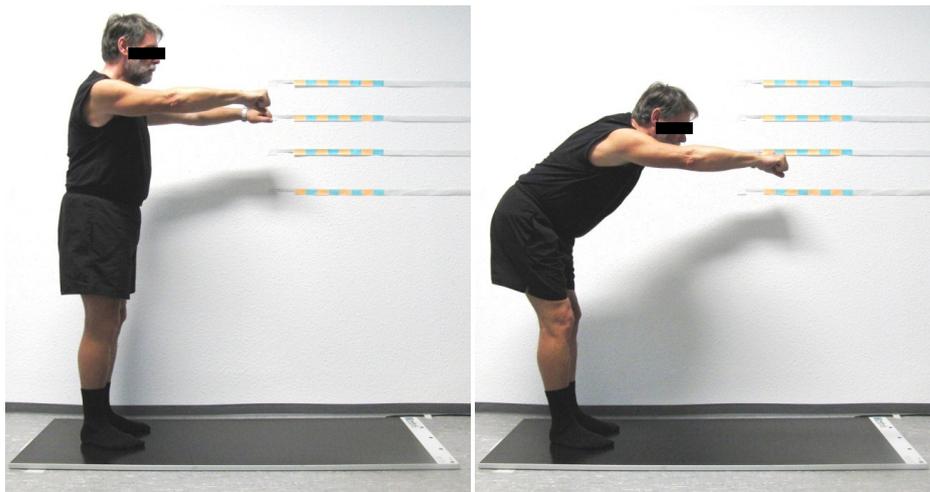
Die Aufgaben bestanden im Einzelnen aus:

- (1) Aufstehen aus dem Sitzen
- (2) Hinsetzen aus dem Stand
- (3) Transfer zwischen unterschiedlichen Sitzgelegenheiten
- (4) Betreten einer Fußbank –mit beiden Füßen abwechselnd (4 x)
- (5) zwei Minuten ruhig stehen ohne Unterstützung
- (6) zwei Minuten ruhig sitzen ohne Unterstützung
- (7) Stehen mit geschlossenen Augen
- (8) mit ausgestreckten Armen nach vorne langen
- (9) Stehen mit geschlossenen Füßen
- (10) Aufheben eines Gegenstandes vom Boden
- (11) Stehen mit einem Fuß vor dem anderen – dem sog. Tandemstand
- (12) über die linke und über die rechte Schulter nach hinten schauen
- (13) eine 360° - Drehung erst nach links und dann nach rechts
- (14) Einbeinstand

Welches Bein beim Tandemstand vorne stand und welches Bein für den Einbeinstand verwendet wurde, wurde protokolliert und musste am nächsten Test-Tag identisch sein. Einige Aufgaben wurden zusätzlich mit einem Maßband oder einer Stoppuhr überprüft. So wurde in Übung 4 darauf geachtet, ob der Proband mehr oder weniger als 20 Sekunden benötigt, um viermal mit jedem Fuß die Fußbank zu betreten. In Übung 5 und Übung 6 wurden die Zeit von zwei Minuten für das unabhängige Stehen und Sitzen überprüft. In

Übung 7 kam es darauf an, ob der Proband mehr oder weniger als drei bzw. zehn Sekunden mit geschlossenen Augen ruhig stehen kann.

Übung 8 ist auch als Functional Reach Test (FRT) oder Funktionales Vorlehnen bekannt. Der Proband sollte dazu, wie in Abb. 5 zu sehen, die Arme in Schulterhöhe nach vorne strecken und die Hände zu Fäusten ballen. Durch ein Vorlehnen des Rumpfes sollte versucht werden so weit wie möglich mit den Fäusten nach vorne zu reichen. An einem an der Wand befestigten Maßband (in Abb. 5 leider nicht zu erkennen) wurde dabei am Caput metacarpale III der Abstand zwischen der Ausgangsstellung und dem maximalen Vorlehnen gemessen. Zusätzlich wurde der Hinweis an die Probanden gegeben, die Fersen nicht vom Boden abzuheben. War dies der Fall, wurde die Messung wiederholt oder nicht für die weitere Auswertung verwendet. Der Proband hatte jeweils zwei Versuche. Die Bewertung durch den Berg Balance Test erfolgte beim ersten Versuch. Die erreichten Weiten wurden zusätzlich notiert.



**Abb. 4: Der Functional Reach Test als Übung 8 des Berg Balance Tests**

In Übung 9 wurde die Zeit gemessen, wie lange der Proband mit geschlossenen Füßen stehen kann. Eine Minute wurde hierbei als Maximum angesehen. In Übung 11, dem Tandemstand, wurde ebenfalls die Zeit genommen und 30 Sekunden als Obergrenze festgelegt. In Übung 13, der Drehung um die eigene Körperachse, wurden zusätzlich die benötigte Schrittzahl für die Drehung nach links und die Drehung nach rechts notiert. In Übung 14, dem Einbeinstand, wurde die Dauer mit einer Stoppuhr kontrolliert und protokolliert.

Für die Aufgaben, die ein ruhiges Stehen erforderten, wurde der Hinweis: „Stehen Sie so ruhig wie möglich!“ gegeben. Durch ein an der Wand angebrachtes Bild wurde die Blickrichtung vorgegeben. Nach Wulf et al. (2009) ist auch für Parkinsonpatienten die Konzentration auf einen außerhalb liegenden Punkt vorteilhaft während Gleichgewichtsübungen.

Während der Durchführung von Übung 5,7,8,9,11 und 14 wurde zusätzlich die plantare Druckverteilung der Probanden gemessen (siehe Kapitel 7.4.1). Dazu mussten die Probanden auf einer Druck-Messplatte stehen (Abb. 5). Dies hatte zur Folge, dass die ursprüngliche Reihenfolge des Berg Balance Tests abgeändert wurde, damit der Proband die Messplattform nicht mehrfach verlassen und wieder aufsuchen musste. Dies förderte eine für den Probanden annähernd unbewusste Messwert-Aufnahme.

Der Berg Balance Test wurde bei jedem Pre- und Posttest einmal durchgeführt. Die Gesamtpunktzahl [-] jedes einzelnen Tests wurde anschließend addiert und diente als Parameter für die statische Gleichgewichtsfähigkeit. Weitere Parameter waren die gemittelte Reichweite [cm] aus beiden Versuchen des Functional Reach Tests (Übung 8), die gemittelte Anzahl der benötigten Schritte [-] während einer 360° Drehung nach links und nach rechts (Übung 13) sowie die Standdauer [s] beim Einbeinstand. Die Untersuchungsleiter wurden zuvor geschult und waren über die Gruppenzugehörigkeit der Probanden nicht aufgeklärt. Die Probanden wurden in beiden Pre- und Post-Tests jeweils von demselben Untersuchungsleiter bewertet.

### **7.3.2. Tandemwalk-Test**

Der Tandemwalk-Test (TWT) diente dazu die ausgewählten Tests durch den Aspekt der dynamischen Gleichgewichtsfähigkeit zu ergänzen. Die Aufgabe bestand daraus auf einer am Boden markierten Linie zehn Tandem-Schritte (umgangssprachlich: „Kaffeebohnen-Schritte“) nach vorne und anschließend rückwärts wieder zurück zu gehen. Der Blick sollte dabei geradeaus auf ein aufgehängtes Wandbild gerichtet und die Arme zur Seite ausgestreckt werden. Die Schritte, die erfolgreich auf der Linie platziert werden konnten wurden gezählt. Ein Übungsleiter stand während des Tests hinter dem Probanden mit Blick auf die Linie (Abb. 6) und notierte die erfolgreichen Schritte im Untersuchungsprotokoll. Ein weiterer Übungsleiter stand in unmittelbarer Nähe des Probanden und sicherte diesen falls notwendig. Der Tandemwalk-Test wurde bei jedem Pre-Test und bei jedem Post-Test zweimal durchgeführt. Als Parameter der dynamischen Gleichgewichtsfähigkeit in alltagsmo-

torischen Situationen wurde der Mittelwert aus den erfolgreichen Schritten vorwärts [-] und den erfolgreichen Schritten rückwärts [-] berechnet. Die Untersuchungsleiter waren über die Gruppenzugehörigkeit der Probanden nicht aufgeklärt.



**Abb. 5: Tandemwalk-Test**

## **7.4. Biomechanische Testverfahren**

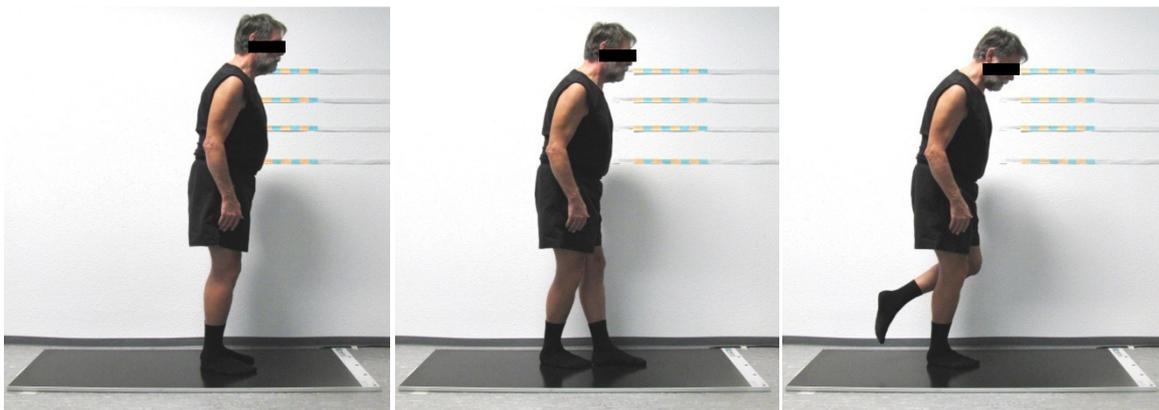
Für die biomechanische Untersuchung möglicher Auswirkungen des Gleichgewichtstrainings wurden Verfahren der statischen und dynamischen Posturographie sowie ein isometrischer Maximalkrafttest der Beinextensoren angewandt.

### **7.4.1. Statische Posturographie**

Parallel zur Erhebung des in Kap. 7.3.1 erläuterten Berg Balance Tests wurde bei folgenden monopodalen und bipedalen Übungen eine statische Posturographie durchgeführt: normaler bequemer Stand (Übung 5), normaler Stand mit geschlossenen Augen (Übung 7), Stand mit enger Fußstellung (Übung 9), Tandemstand (Übung 11) und Einbeinstand (Übung 14).

Für die Untersuchung wurde eine mit kapazitiven Drucksensoren ausgestattete Druck-Messplattform (Typ FDM 1.5, zebris Medical GmbH/ Isny) mit einer Sensorfläche von 149 cm x 54,2 cm und einer Sensordichte von 1,4 Sensoren/cm<sup>2</sup> verwendet. Die Genauigkeit der Druckmessung beträgt laut Her-

steller  $\pm 5\%$ . Aufgrund der niedrigen Bodenhöhe von 2,5 cm und der großzügigen Abmaße der Messplattform konnte der Berg Balance Test ohne Unterbrechung und die statische Posturographie fast unbemerkt von den Probanden durchgeführt werden. Der normale bequeme Stand und der Stand mit enger Fußstellung wurden über eine Dauer von 30 s, der Stand mit geschlossenen Augen, der Tandemstand und der Einbeinstand über eine Dauer von 10 s gemessen. Die Aufnahme­frequenz betrug jeweils 50 Hz. Die Probanden wurden vor jeder Übung aufgefordert „so ruhig wie möglich“ zu stehen und geradeaus auf ein aufgehängtes Wandbild zu schauen. In Pre-Test I und Post-Test I wurde jeweils einmal während des Berg Balance Tests gemessen, in Pre-Test II und Post-Test II wurde jeweils einmal während des Berg Balance Tests sowie zweimal im Anschluss gemessen. Zwischen den Wiederholungen und nach jeder Übung wurde der normale Stand eingenommen und nach dem Befinden des Probanden gefragt.



**Abb. 6: Von links nach rechts: normaler Stand mit geschlossenen Augen, Tandemstand und Einbeinstand auf der zebris® Druck-Messplattform**

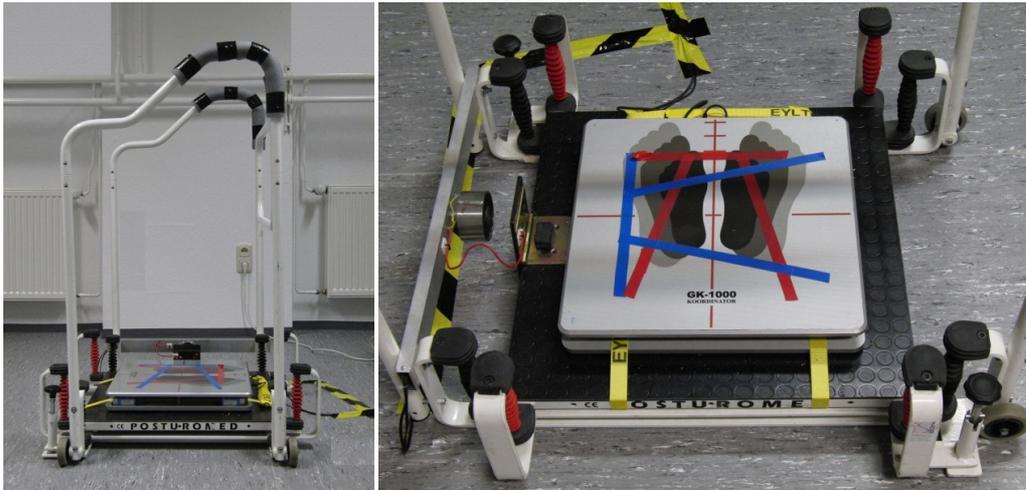
Für die Datenaufnahme wurde die zebris® eigene Software WinFDM v0.1.0 verwendet. Anschließend wurden die ASCII-Rohdaten exportiert und mit MATLAB® 7.7.0 weiterverarbeitet. Aus den COP-Koordinaten wurden der zurückgelegte Weg [mm] und die vom COP beschriebene Fläche [mm<sup>2</sup>] berechnet. Für die Auswertung von Test II der Pre- und Post-Messung wurde jeweils der Median aus drei gültigen Versuchen, mindestens jedoch aus zwei gültigen Versuchen verwendet.

### 7.4.2. Dynamische Posturographie

Die dynamische Standstabilität wurde mit Hilfe gezielter Perturbationen der Probanden durch eine plötzliche Bewegung der Unterstützungsfläche und der damit hervorgerufenen Ausgleichsreaktion untersucht.

Als „Perturbationsgerät“ diente ein umgebautes Posturomed® (Haider Bioswing/Pullenreuth), welches bereits in Untersuchungen von Gruber (2001) und Bühlmeier (2008) zum Einsatz kam. Auf der an vier Federn aufgehängten Standfläche des Posturomeds® wurde zur Ermittlung des Kraftmittelpunktes eine 45 x 45 cm große Kraft-Messplattform (GK-1000, IMM Elektronik GmbH/Mittweida) zentral positioniert und arretiert. Die Messplattform besaß vier Kraftaufnehmer (Typ KT 700, Megatron Elektronik AG&Co/München) aus deren Kraft-Zeit-Verläufen mit Hilfe der Software LabView™ 8.5 der Kraftmittelpunkt berechnet und aufgezeichnet wurde. Vor jeder Perturbation wurde die Standfläche 4,5 cm von der Ruhelage ausgelenkt und durch einen Elektromagneten fixiert. Der Proband hatte die Aufgabe in einer für ihn angenehmen Position, mit herunter hängenden, seitlich am Körper angelegten Armen, „so ruhig wie möglich“ auf dem arretierten Posturomed® zu stehen und den Blick geradeaus auf ein Wandbild zu richten. Die Arretierung der ausgelenkten Standfläche wurde anschließend vom Messplatz des Untersuchungsleiters aus und für den Probanden nicht sichtbar per Knopfdruck gelöst. Die Perturbation erfolgte randomisiert nach lateral und nach anterior, jedoch musste sich der Proband für die unterschiedlichen Perturbationsrichtungen um 90° drehen. Bei jeder Perturbation wurde die Standfläche in 0,4 s um 7 cm ausgelenkt und erreichte dabei eine Spitzenbeschleunigung von 340 cm/s<sup>2</sup> sowie eine Spitzengeschwindigkeit von 25 cm/s. Das Schwingungs- und Dämpfungsverhalten des Posturomeds® wurde von Gruber (2001) experimentell überprüft und zeigte eine gleichbleibende Dämpfungskonstante ab einem Gewicht von 50 kg. Die gewählte Intensität sollte das Gleichgewicht der Probanden deutlich stören, aber nicht zum Sturz führen. Abb. 8 zeigt das umgebaute Posturomed®.

Für die Sicherheit der Probanden sorgten ein das Posturomed® umgebendes Geländer sowie ein mit der Labordecke verbundenes Sicherheitsgeschirr, in das die Probanden eingespannt wurden. Zusätzlich stand ein Untersuchungsleiter bereit, der nicht nur die Aufgabe hatte falls notwendig ebenfalls zu sichern, sondern auch durch eine Unterhaltung mit den Probanden die Aufmerksamkeit von der bevorstehenden Perturbation abzulenken.



**Abb. 7: Umgebautes Posturomed® mit Elektromagnet zur Arretierung und GK-1000 zur Messung des Kraftmittelpunktes**

Die sensomotorische Reaktion auf die Störreize wurde durch Ableitung der Summenpotentiale des M. tibialis anterior und des M. gastrocnemius caput medialis der linken und rechten Extremität untersucht. Dazu wurde auf die Mitte des jeweiligen Muskelbauches eine aktive Oberflächenelektrode vom Typ DE- 2.1- Bagnoli™ (DELSYS®/ Boston) mit einem speziellen doppel-seitigen Klebestreifen aufgebracht. Die insgesamt 41 x 20 x 5 mm große Differentialelektrode besaß zwei 10 x 1 mm große Ableitungsbalken (99,9% Ag) mit einem Abstand von 1 cm. Die Platzierung jeder Elektrode wurde durch eine Kontraktion des entsprechenden Muskels überprüft, anschließend rasiert, mit einem Nass-Schleifpapier der Körnung 180 aufgeraut und mit Alkohol gereinigt. Die Referenzelektrode wurde auf den linken, lateralen Knöchel appliziert. Abschließend wurde die korrekte Platzierung aller vier Elektroden durch eine Kontraktion der abzuleitenden Muskulatur online am Bildschirm überprüft. Daraufhin wurden die EMG-Signale der Probanden in entspannter, liegender Position über zwei Sekunden aufgezeichnet, aufgezoomt und auf mechanische Artefaktfreiheit sowie einer schmalen Nulllinie von maximal 15  $\mu\text{V}$  hin überprüft. Lag die Nulllinie nicht in dem gewünschten Bereich, wurde die Haut erneut gereinigt oder die Position der Elektroden neu bestimmt. Waren alle Signale in Ordnung, wurden die Kabel mit einem elastischen Netzschlauchverband an den Beinen sowie mit Klebeband an der Kleidung des Probanden befestigt und das Sicherheitsgeschirr angelegt. Von dem Anbringen der Elektroden, dem Befestigen der Kabel, dem Anziehen des Sicherheitsgeschirrs über die Positionierung und Sicherung auf dem Posturomed bis zur ersten Messung vergingen mehrere Minuten. So wurde

eine Wartezeit vom Anbringen der Elektroden bis zur Messung von fünf Minuten in jedem Fall sichergestellt. Abbildung 9 zeigt den kompletten Versuchsaufbau.



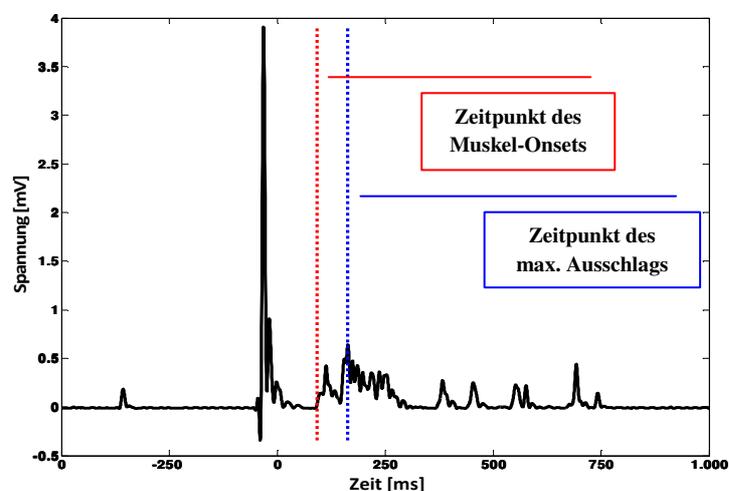
**Abb. 8: Messplatz mit gesichertem Probanden**

Nach dem ersten Pre-Test wurden die Elektrodenpositionen mit einem speziellen Hautstift markiert um exakt dieselben Ableitungsstellen bei allen folgenden Messungen wieder zu verwenden und annähernd gleiche Ableitbedingungen zu ermöglichen. Die Markierungen wurden in der Interventionsphase bei jedem Training durch den Übungsleiter kontrolliert und ggf. nachgezeichnet. Die Kontrollgruppe erhielt einen entsprechenden Hautstift und war selbst für ein Nachzeichnen verantwortlich. Für eine annähernd vergleichbare Ausgangsposition wurde die Position der Fersen auf der Standfläche und die Winkelstellung der Füße zur Sagittalebene von ca.  $15^\circ$  vorgegeben. Die Standbreite konnte vom Probanden selbst gewählt werden. Diese sollte für jeden Versuch, Test-Tag und Perturbationsrichtung identisch sein und wurde durch Abstandsmessungen zwischen anatomischen Punkten an Vor- und Rückfuß kontrolliert und protokolliert. Auch der Kniewinkel wurde mit einem digitalen Goniometer vor jedem Versuch überprüft.

Am ersten Test-Tag der Pre-Messung gestattete man den Probanden für jede Perturbationsrichtung einen Probeversuch. Anschließend und an jedem weite-

ren Test-Tag wurden jeweils drei Wiederholungen aufgezeichnet. Zwischen den Wiederholungen wurde die Fußposition und der Kniewinkel des Probanden überprüft und falls notwendig korrigiert. Die synchronisierten Kraft- und EMG-Signale wurden über 3,5 Sekunden einschließlich eines Pre-Triggers von 0,5 Sekunden aufgezeichnet und über eine 12-bit A/D-Wandlerkarte einem PC bzw. der Aufnahmesoftware LabView™ 8.5 zugeführt. Als Start-Trigger-Signal diente das Abschalten des Elektromagneten, was sich durch eine Spannung von 4,8 V im Signal des Elektromagneten eindeutig identifizieren ließ. Die Aufnahmefrequenz betrug 2 kHz.

Die aktiven Elektroden verstärkten das EMG-Signal um den Faktor 10. Zusammen mit dem Verstärker vom Typ Bagnoli™-8 (DELSYS®/Boston) wurde das Signal insgesamt um das 1000-fache verstärkt. Der hardwareseitige Filter besaß eine Bandbreite von 20 – 450 Hz. Die ASCII-Rohdaten wurden mit Hilfe der Software MATLAB® 7.7.0 weiterverarbeitet und dazu gleichgerichtet, mit einem Butterworth-Tiefpassfilter der 4. Ordnung und einer Cutoff-Frequency von 100 Hz gefiltert und schließlich der Offset, falls vorhanden korrigiert. Abb. 10 zeigt ein typisches gleichgerichtetes, gefiltertes Signal eines M.tibialis anterior eines beliebigen Probanden.

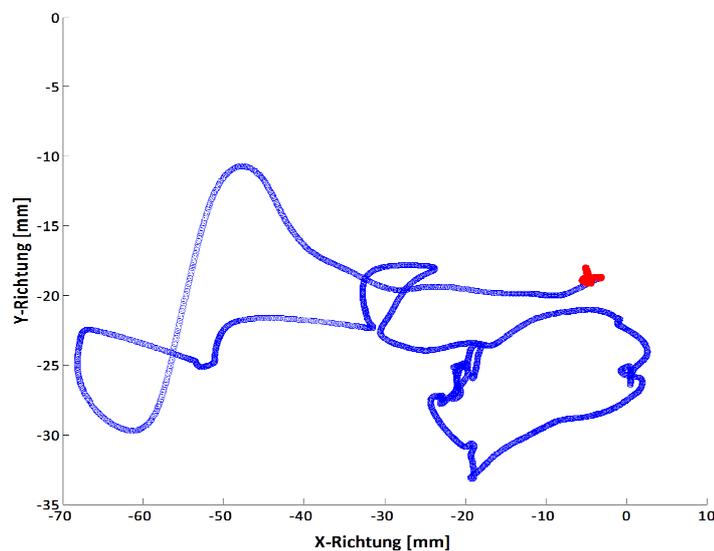


**Abb. 9: Gleichgerichtetes, gefiltertes EMG-Signal des M.tibialis anterior während einer Perturbation nach anterior**

Die Parameter Time-to-Onset [ms], Time-to-Peak [ms] sowie ein normalisiertes EMG-Signal [%] über die Intervalle 0-30 ms, 0-100 ms und 0-500 ms wurden berechnet und für die Auswertung hinzu gezogen. Als Muskel-Onset wurde der Zeitpunkt im EMG-Signal festgelegt, an dem der Wert über min-

destens 25 ms lang größer war, als die 2-fache Standardabweichung des Pre-Triggers im Intervall von -150 bis -350 ms. Gesucht wurde in einem Intervall zwischen 75 ms und 500 ms nach dem Auslösen des Trigger-Signals und die Time-to-Onset berechnet. Als Time-to-Peak wurde die Zeitdifferenz zwischen dem maximalen Ausschlag des EMG-Signals und dem Muskel-Onset berechnet (Abb. 10). Für die Normalisierung des integrierten EMGs diente die Muskelaktivität des identischen Muskels während dem ruhigen Stand über 400 ms unmittelbar vor dem jeweiligen Versuch. Die Dauer der jeweiligen Zeitintervalle wurde entsprechend berücksichtigt. Versuche, bei denen der Beginn der Muskelaktivität nicht klar vom Trigger-Signal abzugrenzen war, wurden nicht für die Auswertung hinzu gezogen.

Die berechneten Kraftmittelpunkts-Koordinaten wurden mit Hilfe der Software MatLab® 7.7 durch einen Butterworth-Filter, 4. Ordnung und einer Cutoff-Frequency von 25 Hz geglättet. Die Parameter Wegstrecke [mm] und Fläche [mm<sup>2</sup>] des COPs wurden berechnet und für die Auswertung hinzugezogen. Versuche, bei denen sich der Proband an der Umrandung festgehalten hatte oder durch das Sicherheitsgeschirr aufgefangen werden musste, wurden nicht für die Auswertung hinzu gezogen. Jeweils die Mittelwerte aus Versuch 2-4 des Pre-Tests I und den Versuchen 1-3 der übrigen Test-Tage wurden verwendet. Abb. 11 zeigt einen gefilterten Kraftmittelpunktsverlauf.



**Abb. 10:** Gefilterter Kraftmittelpunkts-Verlauf eines beliebigen Probanden während einer Perturbation nach anterior; der rote Bereich zeigt den Verlauf über die Zeitdauer des Pre-Triggers von 0,5 s, der blaue Bereich die restlichen 3 s nach dem Lösen der Arretierung

### 7.4.3. Isometrische Maximal- und Explosivkraftmessung

Die Untersuchung des isometrischen Maximal- und Explosivkraftverhaltens der Beinextensoren wurde an einer eigens umgebauten Beinpresse, einer Sonderanfertigung der Firma Medex Fitnessgeräte GmbH (Reinsberg) durchgeführt. Der Proband lag dazu in Rückenlage auf dem arretierten Schlitten der Beinpresse. Die Füße wurden gegen zwei im 90° Winkel zum Schlitten angebrachten Kraftmessplatten gestemmt. Der Kniewinkel betrug dabei 90° (siehe Abb. 12).

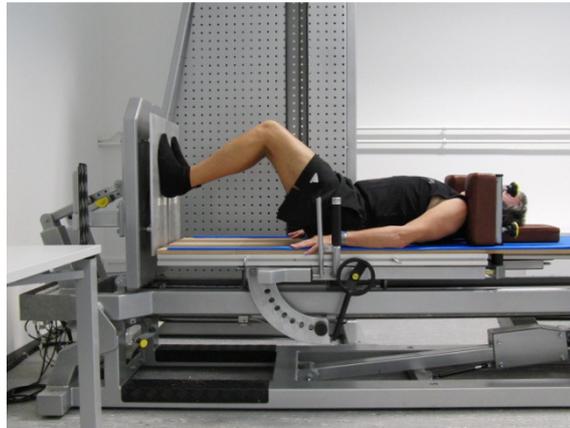


Abb. 11: Proband an der Beinpresse (Medex Fitnessgeräte GmbH, Reinsberg)

Der Proband hatte die Aufgabe auf das Kommando des Untersuchungsleiters hin, für eine Dauer von 2,5 s so kräftig wie möglich gegen die Kraftmessplatten zu stemmen. Ein verstellbares Schulterpolster verhinderte dabei ein „Fortschieben“ des Probanden. Die Position des Schlittens und des Schulterpolsters wurde zuvor auf die Größe des Probanden eingestellt und für die weiteren Untersuchungstage notiert. Auch die Position der Füße auf den Kraftmessplatten wurde markiert und standardisiert. So konnte gewährleistet werden, dass die Probanden zu den insgesamt vier Mess-Tagen jeweils dieselbe Ausgangsstellung einnahmen. Zwei submaximale Probeversuche waren vor den anschließenden drei Mess-Versuchen erlaubt. Während den Messungen wurde darauf geachtet, dass der Proband das Becken nicht anhebt und eine hechelnde Atmung anstatt einer Pressatmung anwendet. Zwischen den einzelnen Probe- und Mess-Versuchen lag eine 2-minütige Pause.

Die Kraft-Zeit-Verläufe wurden mit jeweils drei resistiven Kraftaufnehmern vom Typ U9B der Firma Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH/Darmstadt

erfasst, die Analogsignale verstärkt und mittels einer A/D-Wandlerkarte einem PC bzw. der Aufnahmesoftware LabView™ 8.5 zugeführt. Als Start-Trigger wurde eine aufgebrachte Kraft von 500 N angesetzt und ein Pre-Trigger von 0,5 s gewählt. Die Aufnahmefrequenz betrug 1 kHz. Anschließend wurde das zusammengefasste Kraftsignal beider Kraftmessplatten mit Hilfe der Software MatLab® 7.7 visuell überprüft und durch einen Butterworth-Tiefpassfilter der 4. Ordnung und einer Cutoff-Frequency von 25 Hz geglättet.

Von dieser Kraft-Zeit-Kurve wurde die Maximalkraft [N], der Zeitpunkt der Maximalkraft [s], der maximale Kraftanstieg [N/ms] durch Ableitung des Kraft-Zeit-Signals, der Zeitpunkt des maximalen Kraftanstiegs [s] sowie der mittlere Kraftanstieg [N/ms] für die Intervalle 0-30 ms, 0-50 ms, 0-100 ms und 0-200 ms ermittelt. Die Auswahl der Intervalle lehnte sich an vergleichbaren Testprotokollen mit gesunden jungen und älteren Probanden an (Granacher, 2003, Gruber und Gollhofer, 2004). Der Zeitpunkt an dem der Kraftanstieg das erste Mal  $\geq 0,4$  N/ms erreichte, diente als Startpunkt der Kraftentwicklung (Abb. 13). Der Testversuch, der die größte Maximalkraft aufwies, wurde für die Auswertung hinzugezogen. Versuche bei denen der Starttrigger vor dem eigentlichen Versuch ausgelöst wurde, das Becken angehoben wurde oder der Starttrigger von 500 N gar nicht erst erreicht werden konnte, wurden nicht zur Auswertung hinzugezogen.

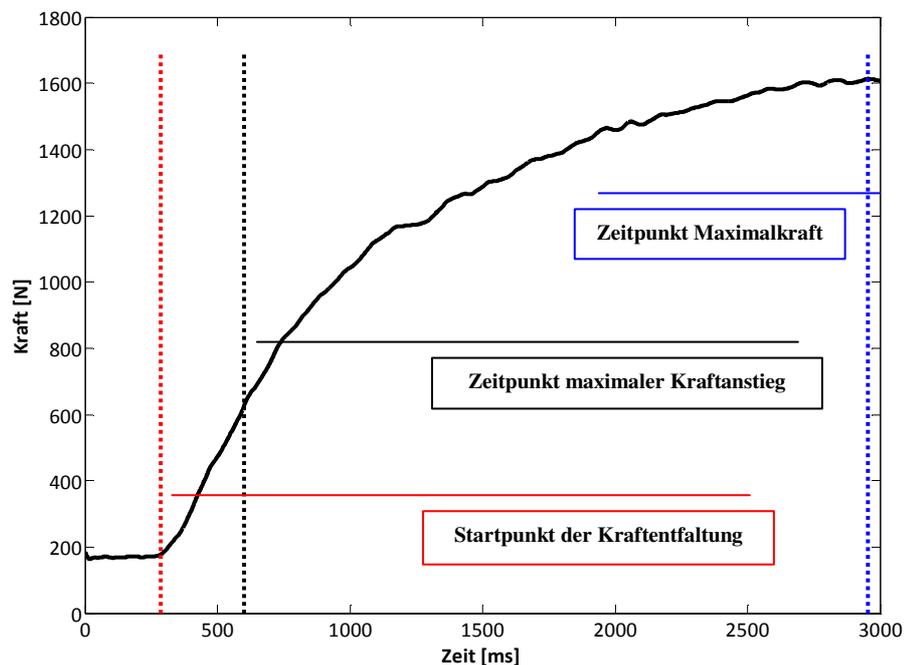


Abb. 12: Gefilterte Kraft-Zeit-Kurve eines Probanden

## 7.5. Subjektive Testverfahren

Zur Erfassung der subjektiven Einschätzung der Gleichgewichtsfähigkeit wurden die Probanden mit Hilfe der Activities-Specific Balance Confidence Scale zur Gleichgewichts-Selbstsicherheit befragt sowie um ein Feedback im persönlichen Gespräch gebeten.

### 7.5.1. Activities-Specific Balance Confidence Scale

Alle Probanden wurden vor und nach der Interventionsphase gebeten einen speziellen Fragebogen zur Gleichgewichts-Selbstsicherheit, die verkürzte Form der Activities-Specific Balance Confidence Scale in deutscher Übersetzung, in Anwesenheit des Untersuchungsleiters auszufüllen (Schott, 2008, Adkin et al., 2003, Oude Nijhuis et al., 2007). Der Fragebogen bestand aus insgesamt 6 Fragen zu unterschiedlichen Alltagssituationen, in denen das Gleichgewicht besonders gefordert ist. Frage 4 des Fragebogens lautet z.B.: „Wie zuversichtlich sind Sie, dass Sie ihr Gleichgewicht halten können bzw. nicht ins Wanken geraten, wenn sie von Personen angestoßen werden, während Sie im Kaufhaus herumgehen?“. Jede Frage sollte anhand einer Scala

wie in Abb. 14 zu sehen, durch ein Kreuz auf der zutreffenden Prozentzahl beantwortet werden.

0 %	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100 %
überhaupt nicht										absolut
zuversichtlich										zuversichtlich

**Abb. 13: Antwortmöglichkeit zu jeder Frage der Activities-Specific Balance Confidence Scale**

Die Hinweise, die zum Fragebogen gegeben wurden, sowie die vollständige Auflistung der Fragen ist dem Anhang 10.5 zu entnehmen. Der Mittelwert aus allen sechs Antworten diente als Parameter für die subjektive Einschätzung der Gleichgewichts-Selbstsicherheit.

### 7.5.2. Probandenfeedback

In der Nachbesprechung sollten die Probanden der Trainingsgruppe in einem lockeren Gespräch erzählen, ob und was sich durch die Trainingsintervention verändert hat sowie ihr persönliches Feedback abgeben. Beide Gruppen machten Aussagen zum Fortschritt der Erkrankung und die Anzahl an Stürzen über die Dauer der Interventionsphase.

## 7.6. Trainingsintervention

Die Interventionsgruppe führte über den gesamten Interventionszeitraum von zwölf Wochen dreimal pro Woche für jeweils 60 Minuten ein Standgleichgewichts- bzw. Standstabilisationstraining durch. Für optimale Trainingsbedingungen wurden drei Kleingruppen mit einer maximalen Gruppenstärke von zehn Probanden geschaffen. In Tab. 12 sind die Trainingstage und Trainingszeiten zusammengefasst.

**Tab. 12: Aufteilung der Trainingsgruppen**

<b>Trainingsgruppe</b>	<b>montags</b>	<b>mittwochs</b>	<b>freitags</b>
<b>Gruppe 1</b>	10:00-11:00	10:00-11:00	10:00-11:00
<b>Gruppe 2</b>	15:30-16:30	15:30-16:30	15:30-16:30
<b>Gruppe 3</b>	18:00-19:00	18:00-19:00	18:00-19:00

Die Vormittags- und Nachmittagsgruppe trainierte in den Gymnastikräumen auf dem Campus der Technischen Universität Chemnitz. Die Abendgruppe trainierte in den Räumen der AOKPlus® Sachsen zentral in der Innenstadt von Chemnitz.

Jede Trainingseinheit begann mit einem ca. 10-minütigen Aufwärmprogramm aus verschiedenen kleinen Spielen z.B. zum Kennenlernen oder aus gleichgewichtsspezifischen Übungen z.B. dem Imitieren unterschiedlicher Gangarten (Storchengang) oder dem Absolvieren eines Hindernisparcours, bei dem über unterschiedliche Gegenstände balanciert werden musste (u. a. Seile, Kirschkerne-Säckchen).

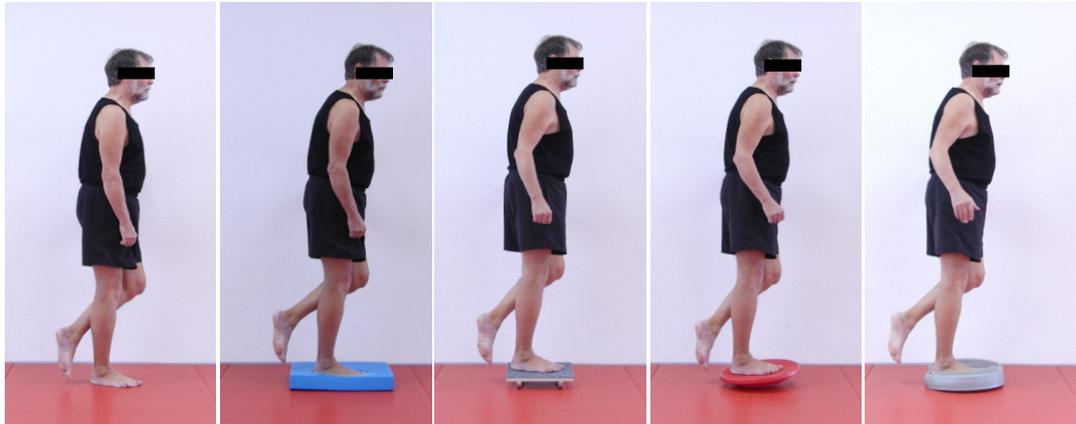
Der Hauptteil nahm ca. 35 – 40 Minuten in Anspruch und setzte sich aus mehreren Übungen zum Standgleichgewicht wie z.B. dem Zehen- und Fersestand, dem Tandemstand und dem Einbeinstand zusammen. Eine Wiederholung dauerte max. 15-25 s. Jede Übung wurde sechsmal wiederholt, monopedale Übungen dreimal pro Bein. Zwischen den Wiederholungen wurde eine Pause von 20-30 s und zwischen den Übungen von drei Minuten eingelegt. Die Intensität sollte optimaler Weise so gewählt werden, dass die Probanden gerade noch das Gleichgewicht halten oder dieses durch einen Ausgleichsschritt selbständig wiedererlangen konnten. Dies erforderte ein individuelles Anpassen des Schwierigkeitsgrades.

Um die Intensität der einzelnen Übungen steigern zu können, wurden verschiedene Zusatzaufgaben wie z.B. das Schließen der Augen, den Kopf in den Nacken legen oder auch leichte Stöße durch den Übungsleiter und Zusatzgeräte wie Seile und Bälle verwendet. Abb. 15 zeigt eine Auswahl.



Abb. 14: Übungen

Eine weitere Steigerungsmöglichkeit ermöglichen verschiedene instabile Untergründe wie das AIREX® Balance-Pad, Kippelbretter, Therapiekreisel und AERO-Steps®XL (Abb. 16).



**Abb. 15: Untergründe**

Zur Anleitung und vor allem zur Sicherung der Teilnehmer standen in jeder Trainingseinheit bis zu vier Übungsleiter zur Verfügung. Weiterhin wurde unmittelbar neben der Wand trainiert, so dass es den Teilnehmern möglich war, sich wenn nötig an der Wand abzustützen. Trainiert wurde barfuß. Zur Übersicht ist die Belastungsgestaltung in Tab. 13 noch einmal zusammengefasst.

**Tab. 13: Belastungsgestaltung**

<b>Merkmal</b>	<b>Ausprägung</b>
<b>Umfang</b>	12 Wochen
<b>Häufigkeit</b>	3x / Woche
<b>Dauer</b>	60 min.
<b>Methode</b>	Wiederholung
<b>Wiederholungen</b>	5-6
<b>Dauer</b>	max. 15-25 s.
<b>Pause</b>	20-30 s
<b>Serienpause</b>	2 min.

Den Abschluss jeder Trainingseinheit bildete eine 10-minütige Entspannungsphase aus gegenseitigen Igelballmassagen oder Entspannungsgeschichten.

Um eine Überlastung der Teilnehmer zu vermeiden, wurde nicht an aufeinanderfolgenden Tagen und nicht am Tag vor einem Post-Test trainiert. Falls ein Proband einmal nicht am Training teilnehmen konnte, ermöglichte ein Heimtrainingsplan das Training teilweise auch Zuhause durchführen zu können (Anhang 10.6).

### **7.7. Trainingscompliance**

Insgesamt war das Engagement und damit die Trainingsbeteiligung der Probanden der Trainingsgruppe enorm hoch. Außer den gesundheitsbedingten Ausfällen hat kein Proband das Training vorzeitig abgebrochen. So betrug die Trainingscompliance im Mittel 90 %. Darin eingeschlossen ist auch Proband P027, der eine Woche wegen Grippe; Proband P037, der eine Woche wegen starker Schmerzen in einem Bein; Proband P031, der Zuhause schwer gestürzt war und P035, der wegen schwerer Krankheit des Ehepartners aussetzen musste.

### **7.8. Statistische Datenverarbeitung**

Die Daten wurden zunächst mit Hilfe des Normalverteilungstests nach Shapiro-Wilk auf Normalverteilung überprüft. Da diese nicht immer gegeben war, wurde eine einheitliche Auswertung angestrebt und ausschließlich nicht-parametrische Verfahren angewendet.

Zunächst wurde ein Vergleich von Test I und Test II jeweils für die Pre-Messung und für die Post-Messung durchgeführt. Ziel ist es Informationen über mögliche Lern- oder Gewöhnungseffekte zu erhalten. Da es sich hierbei um abhängige Stichproben handelt, wurde für metrische Daten ein Wilcoxon-Test und für ordinale Daten ein Vorzeichen-Test angewendet.

Anschließend erfolgte ein Pre/Post-Vergleich. Hier wurden für beide Untersuchungsgruppen die aufgezeichneten Daten vor der Interventionsphase mit den Daten nach der Interventionsphase verglichen. Als statistischer Test diente der Wilcoxon-Test bzw. Vorzeichen-Test. Um Informationen über Unterschiede zwischen den Untersuchungsgruppen zu erhalten, wurden zusätzlich die Differenzen zwischen den Ergebnissen der Pre- und Post-Messungen berechnet (Post-Daten - Pre-Daten). Da es sich in diesem Fall um unabhängige Stichproben handelt, standen hier der Mann-Whitney-Test für metrische Daten und der Median-Test für ordinale Daten zur Verfügung. Weiterhin wur-

den beide Untersuchungsgruppen zum Zeitpunkt der Pre-Messung und zum Zeitpunkt der Post-Messung miteinander verglichen. Dies sollte einen Anhaltspunkt geben, ob sich die Gruppen bereits zur Pre-Messung voneinander unterschieden und somit unterschiedliche Ausgangsbedingungen vorlagen bzw. ob sich die Gruppen durch die Intervention der Interventionsgruppe im Post-Test voneinander unterschieden. Aufgrund der unabhängigen Stichproben wurde hier für metrische Daten der Mann-Whitney-Test und für ordinale Daten der Median-Test verwendet. Für einen besseren Einblick in die Ergebnisse wurden diese zusätzlich deskriptiv in einem standardisierten Boxplot und einem Differenzenplot dargestellt. Bei Betrachtung der Boxplots ist darauf zu achten, dass nicht der Mittelwert, sondern der Median dargestellt ist. Wohingegen im Text stets der Mittelwert betrachtet wird. So ist es möglich dem Leser in kompakter Form mehr Informationen zuteilwerden zu lassen.

Das Signifikanzniveau wurde für alle Berechnungen auf .05 festgelegt. Signifikante Unterschiede von  $p \leq .05$  sind im Text mit einem Asterisk (\*) gekennzeichnet. Die statistische Analyse erfolgte mit Hilfe der Software SPSS PASW Statistics Version 18.

## 8. Ergebnisse

Die Gliederung des vorliegenden Kapitels orientiert sich an der Gliederungsstruktur der vorangegangenen Beschreibung der Methodik. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden redundante Ergebnisdarstellungen teilweise in den Anhang übertragen.

### 8.1. Alltagsmotorische Testverfahren

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse des Gesamtscores des Berg Balance Tests, der zusätzlich notierten Weite beim Vorlehnen im Functional Reach Test (Übung 8), der benötigten Anzahl an Schritte für eine 360° - Drehung (Übung 13) und der Standzeit im Einbeinstand (Übung 14) dargestellt. Die Ergebnisse der drei unterschiedlichen Beurteilungsverfahren des Functional Reach Tests werden beschrieben und anschließend die Ergebnisse des Tandemwalk-Test in Vorwärts- und Rückwärts-Richtung aufgezeigt. Nach einer Betrachtung der wiederholten Eingangs- und Ausgangsmessungen erfolgt der Pre-/Post-Vergleich der beiden Untersuchungsgruppen.

#### 8.1.1. Betrachtung der wiederholten Eingangs- und Ausgangsmessung

Tab. 14 zeigt den statistischen Vergleich jeweils der beiden Eingangs- und Ausgangsmessungen. Für eine deskriptive Betrachtung der Ergebnisse sind die entsprechenden Boxplots im Anhang 10.7 aufgeführt.

**Tab. 14: Vergleich von Test I und Test II der Pre- und Post-Messungen der alltagsmotorischen Testverfahren; dargestellt sind die p-Werte**

Testvariable	n	Pre-Messung	Post-Messung
Berg Balance Test	26	.791	.064
360° - Drehung	26	.038*	.379
Einbeinstand	26	.502	.206
FRT_BBT	26	.039*	.289
FRT_Maßband	26	.031*	.170
FRT_COP	10	.721	.213
TWT vorwärts	26	.143	1.000
TWT rückwärts	26	1.000	1.000

Der Gesamtscore des Berg Balance Tests erhöhte sich von Test I zu Test II um maximal einen Punkt. Dieser Unterschied wird als vernachlässigbar angesehen. Auch der Einbeinstand und der Tandemwalk-Test zeigten keine signifikanten Veränderungen zwischen den wiederholten Messungen. Entsprechend wird hier ein Lern- oder Gewöhnungseffekt ausgeschlossen.

In den Messungen zur 360° - Drehung und zum Functional Reach Test wurden hingegen signifikante Veränderungen zwischen den wiederholten Messungen der Pre-Messreihe festgestellt. So konnten die Probanden die Anzahl der benötigten Schritte für eine 360° - Drehung um durchschnittlich 0,7 Schritte und damit um fast 8 % verringern. Der Functional Reach Test, beurteilt durch die Vorgaben des Berg Balance Tests, erhöhte sich von drei auf vier Punkten um einen ganzen Punkt. Diese Verbesserung zeigte sich auch bei den am Maßband abgelesenen Werten. Hier vergrößerte sich die Reichweite signifikant um durchschnittlich 2,4 cm und damit um ganze 10 %. Die Messung des Druckmittelpunktes zeigte einen ähnlichen Trend, wenn auch nicht signifikant. Da sich bei diesen Parametern auch in der Post-Messreihe der jeweilige Trend erkennen lässt, ist ein Lern- oder Gewöhnungseffekt nicht auszuschließen und sollte bei der weiteren Beurteilung in Betracht gezogen werden.

Dementsprechend wird für den nachfolgenden Pre-/Post-Vergleich jeweils der zweite Test-Tag hinzugezogen.

### 8.1.2. Pre-/Post-Vergleich

Nachfolgende Tabellen zeigen in zusammengefasster Form den Pre-/Post-Vergleich der Ergebnisse der alltagsmotorischen Testverfahren.

**Tab. 15: Vergleich der Pre- und Post-Messungen der Ergebnisse der alltagsmotorischen Testverfahren; dargestellt sind die Mediane bzw. MW  $\pm$  SD sowie die p-Werte der Interventionsgruppe**

Testvariable	Einheit	n	Pre	Post	p-Wert
BBT	[-]	15	51	55	.754
360° - Drehung	[Schritte]	15	7,9 ( $\pm$ 2,2)	7,8 ( $\pm$ 3,8)	.568
Einbeinstand	[s]	15	19,5 ( $\pm$ 12,6)	19,0 ( $\pm$ 11,9)	.674
FRT_BBT	[-]	15	4	4	1.000
FRT_Maßband	[cm]	15	27,0 ( $\pm$ 6,5)	26,7 ( $\pm$ 6,6)	.864
FRT_COP	[mm]	9	167 ( $\pm$ 23)	165 ( $\pm$ 27)	.482

Testvariable	Einheit	n	Pre	Post	p-Wert
TWT vorwärts	[Schritte]	15	9,5	9,5	1.000
TWT rückwärts	[Schritte]	15	8,5	8,5	.388

**Tab. 16: Vergleich der Pre- und Post-Messungen der Ergebnisse der alltagsmotorischen Testverfahren; dargestellt sind die Mediane bzw. MW  $\pm$  SD sowie die p-Werte der Kontrollgruppe**

Testvariable	Einheit	n	Pre	Post	p-Wert
BBT	[-]	11	54	54	.727
360° - Drehung	[Schritte]	11	8,5 ( $\pm$ 2,9)	8,2 ( $\pm$ 3,7)	.526
Einbeinstand	[s]	11	22,1 ( $\pm$ 11,0)	22,3 ( $\pm$ 9,7)	.799
FRT_BBT	[-]	11	4	4	1.000
FRT_Maßband	[cm]	11	27,8 ( $\pm$ 7,1)	26,0 ( $\pm$ 5,8)	.185
FRT_COP	[mm]	6	174 ( $\pm$ 23)	176 ( $\pm$ 16)	.715
TWT vorwärts	[Schritte]	11	10	9,5	016*
TWT rückwärts	[Schritte]	11	8,5	9,0	.508

Die Betrachtung der Differenz von Post- zu Pre-Messung ergab jeweils keinen Hinweis auf einen Unterschied zwischen der Interventions- und der Kontrollgruppe. Darüber hinaus unterschieden sich die Untersuchungsgruppen weder in der Pre-Messung noch in der Post-Messung signifikant voneinander.

Die Parameter der alltagsmotorischen Testverfahren zeigten sowohl für die Interventionsgruppe als auch für die Kontrollgruppe kaum Veränderungen nach der Interventionsphase. Der Median im Berg Balance Gesamtscore stieg, wenn auch nicht signifikant in der Interventionsgruppe um vier Punkte an. In der Kontrollgruppe blieb der ohnehin sehr hohe Wert des Berg Balance Tests konstant (Abb. 17).

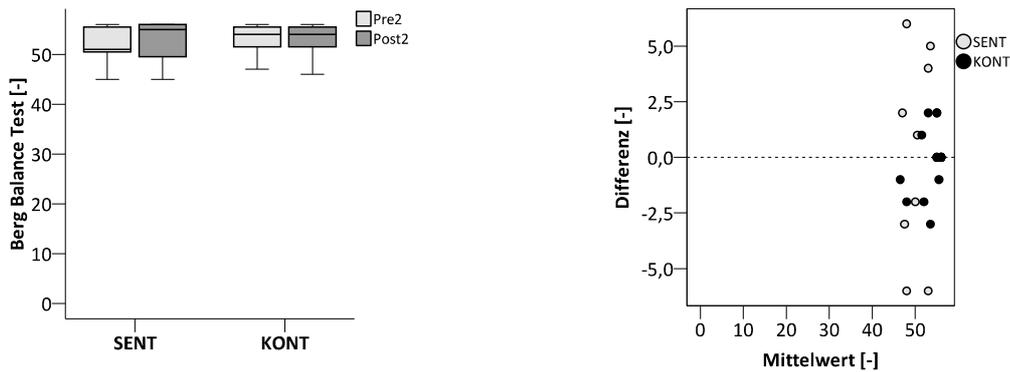


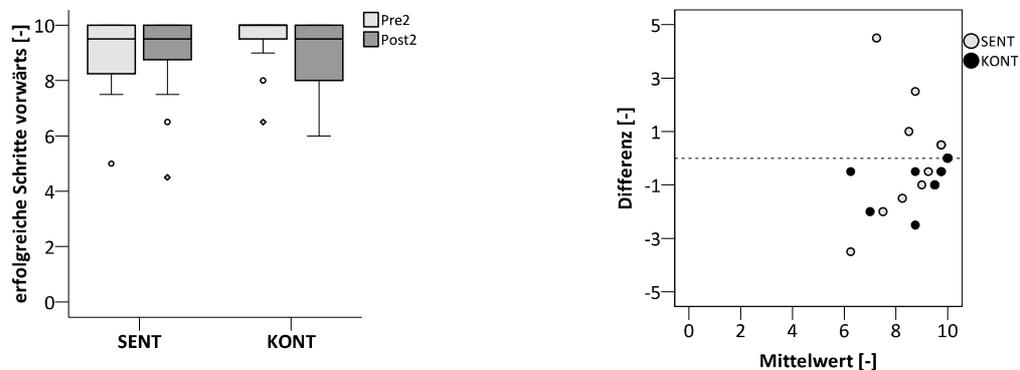
Abb. 16: Boxplot und Differenzenplot des Berg Balance Tests

Das Differenzenplot in Abb. 17 zeigt, dass elf Probanden der Interventionsgruppe die Punktzahl im Berg Balance Test erhalten oder um bis zu 6 Punkte vergrößern konnten. Vier Probanden verringerten die Punktzahl, darunter Proband P022 und P031 mit der größten Abnahme von bis zu 6 Punkten. Von beiden Probanden war bekannt, dass die Symptome sich deutlich verschlechtern. So berichtete Proband P022, dass der Rigor stark zunehme und er nach der Studie mit der L-Dopa-Substitution beginnen werde. Proband P031 stürzte während der Interventionsphase und konnte seitdem nicht an den vorherigen Gesundheitszustand anknüpfen. Sechs Probanden der Kontrollgruppe konnten die Punktzahl im Berg Balance Test erhalten oder um maximal 2 Punkte vergrößern. Fünf Probanden verringerten die Punktzahl um maximal 3 Punkte.

Beim Tandemwalk-Test in Vorwärtsrichtung blieb der Median innerhalb der Interventionsgruppe mit 9,5 erfolgreichen Schritten gleich, wobei jedoch eine geringere Streuung der Werte zwischen den Probanden erkennbar ist (Abb. 18). Die Gruppe gibt demnach ein homogeneres Bild hinsichtlich der Ergebnisse dieses Tests ab. Interessanterweise konnten gerade die Probanden P004, P021, P031 und P037 in der Post-Messung zwischen 0,5 und 4,5 Schritte mehr erfolgreich auf der Linie platziert. Diese vier Probanden gehören zu den vom Ausmaß der Symptome und dem Zurückliegen der Erstdiagnose schwerer betroffenen, bzw. am längsten betroffenen Probanden der Interventionsgruppe.

Die Probanden der Kontrollgruppe hingegen verringerten die erfolgreichen Schritte um einen halben Schritt. Dies erscheint nicht viel, ist jedoch als signifikanter Unterschied nachweisbar. Im Boxplot erkennt man, dass im Post-Test die Streuung der Werte zwischen den Probanden deutlich zunimmt (Abb. 18). Weiterhin ist im Differenzenplot gut erkennbar, dass sich von den

11 Probanden 7 Probanden deutlich verschlechterten und sich bei keinem Probanden überhaupt eine Verbesserung einstellte.



**Abb. 17: Boxplot und Differenzenplot der erfolgreichen Schritte vorwärts im Tandemwalk-Test**

Die deskriptive Statistik der übrigen Testvariablen kann dem Anhang 10.7 entnommen werden.

## 8.2. Biomechanische Testverfahren

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse des COP-Verlaufs im normalen Stand mit offenen und geschlossenen Augen, im Stand mit enger Fußstellung, im Tandemstand und im Einbeinstand dargestellt. Die Ergebnisse des COP-Verlaufs und der Muskelaktivität in ausgewählten Muskeln bei einer Perturbation nach lateral und nach anterior werden beschrieben und anschließend die Ergebnisse der isometrischen Kraftmessung aufgezeigt. Nach einer Betrachtung der wiederholten Eingangs- und Ausgangsmessungen erfolgt der Pre-/Post-Vergleich der beiden Untersuchungsgruppen.

### 8.2.1. Betrachtung der wiederholten Eingangs- und Ausgangsmessung

Tab. 17 bis Tab. 20 zeigen den statistischen Vergleich jeweils der beiden Eingangs- und Ausgangsmessungen. Für eine deskriptive Betrachtung der Ergebnisse sind die entsprechenden Boxplots im Anhang 10.8 aufgeführt.

**Tab. 17: Vergleich von Test I und Test II der Pre- und Post-Messungen der statischen Posturographie-Messungen; dargestellt sind die p-Werte**

Testvariable	n	Pre-Messung	Post-Messung
normaler Stand - Weg	23	.094	.715
normaler Stand - Fläche	23	.976	.456
Stand mit geschl. Augen - Weg	26	.585	.657
Stand mit geschl. Augen - Fläche	26	.114	.889
Stand mit enger Fußstellung - Weg	26	.062	.334
Stand mit enger Fußstellung - Fläche	26	.576	.799
Tandemstand - Weg	18	.679	.433
Tandemstand - Fläche	18	.760	.266
Einbeinstand - Weg	14	.331	.510
Einbeinstand - Fläche	14	.779	.299

In den fünf Testbedingungen der durchgeführten statischen Posturographie zeigen weder der COP-Weg noch die COP-Fläche signifikante Veränderungen zwischen den wiederholten Messungen. Entsprechend wird hier ein Lern- oder Gewöhnungseffekt ausgeschlossen.

**Tab. 18: Vergleich von Test I und Test II der Pre- und Post-Messungen der dynamischen Posturographie-Messungen für die Perturbation nach anterior; dargestellt sind die p-Werte**

Testvariable	n	Pre-Messung	Post-Messung
Perturbation – Weg	25	.443	.015*
Perturbation – Fläche	25	.443	.026*
M. tib.ant. - TTO	25	.459	.968
M. tib.ant. - TTP	25	.609	.412
M. tib.ant. - nEMG1	25	.716	.150
M. tib.ant. - nEMG2	25	.443	.028*
M. tib.ant. - nEMG3	25	.581	.032*

Die Zeit bis zum Onset und die Zeit bis zum maximalen Ausschlag des M. tibialis anterior zeigten keine signifikanten Veränderungen zwischen den wiederholten Messungen. Im Fall des M. gastrocnemius caput medialis konnte bei über der Hälfte der Parkinson-Probanden keine Aktivität beobachtet werden, die über die zweifache Standardabweichung der Muskelaktivität im ruhigen Stand hinaus ging. Daher musste auf eine Auswertung dieser Parameter verzichtet werden.

In den Messungen des COPs und den normalisierten Integralen des M. tibialis anterior wurden hingegen signifikante Veränderungen zwischen den wiederholten Messungen der Post-Messreihe festgestellt. So verringerte sich der COP-Weg signifikant um durchschnittlich 25 mm und damit um 7 %. Die COP-Fläche reduzierte sich signifikant um durchschnittlich 70 mm<sup>2</sup> und damit fast um 3 %. Ein leichter Trend zeichnete sich auch in der Pre-Messreihe ab. Die normalisierten EMG-Amplituden 1-3 erhöhten sich, wenn auch nicht signifikant, jeweils in den Pre-Tests und verringerten sich, teilweise signifikant in den Post-Tests. Somit kann in den Testvariablen der dynamischen Posturographie für eine Perturbation nach anterior ein Lern- oder Gewöhnungseffekt nicht ausgeschlossen werden.

**Tab. 19: Vergleich von Test I und Test II der Pre- und Post-Messungen der dynamischen Posturographie-Messungen für die Perturbation nach lateral; dargestellt sind die p-Werte**

Testvariable	n	Pre-Messung	Post-Messung
Perturbation - Weg	26	.020*	.007*
Perturbation - Fläche	26	.112	.001*
M. tib.ant. - TTO	20	.015*	.627
M. tib.ant. - TTP	20	.191	.550
M. tib.ant. - nEMG1	20	.067	.167
M. tib.ant. - nEMG2	20	.191	.067
M. tib.ant. - nEMG3	20	.126	.044*
M. gastroc.med. - TTO	9	.314	.441
M. gastroc.med. - TTP	9	.214	.214
M. gastroc.med. - nEMG1	9	.214	.767
M. gastroc.med. - nEMG2	9	.314	.859
M. gastroc.med. - nEMG3	9	.678	.859

Die Zeit bis zum maximalen Ausschlag und die normalisierten Amplituden 1 und 2 des M. tibialis anterior sowie alle gemessenen Parameter des M. gastrocnemius caput medialis zeigten keine signifikanten Veränderungen zwischen den wiederholten Messungen.

In den Messungen des COPs, der Zeit bis zum Onset und dem normalisierten Integral 3 des M. tibialis anterior wurden hingegen signifikante Veränderungen zwischen den wiederholten Messungen der Pre- und/oder der Post-Messreihe festgestellt. So verringerte sich der COP-Weg in den Pre-Messungen signifikant um durchschnittlich 47 mm und damit um 8 % sowie

in den Post-Messungen signifikant um 49 mm und damit um 9 %. Die COP-Fläche reduzierte sich signifikant in der Post-Messreihe um durchschnittlich 252 mm<sup>2</sup> und damit um 5 %. Ein leichter Trend zeichnete sich hier auch in der Pre-Messreihe ab. Die Zeit bis zum Muskel-Onset verkürzte sich signifikant von  $144 \pm 53$  ms auf  $114 \pm 31$  ms in der Pre-Messung. In der Post-Messung blieb diese annähernd konstant. Die normalisierten EMG-Amplituden 1-3 erhöhten sich, wenn auch nicht signifikant, jeweils in den Pre-Tests und verringerten sich, teilweise signifikant jeweils in den Post-Tests. Somit wird bei den Testvariablen der dynamischen Posturographie für eine Perturbation nach lateral teilweise ein Lern- oder Gewöhnungseffekt vermutet.

**Tab. 20: Vergleich von Test I und Test II der Pre- und Post-Messungen der isometrischen Kraftmessung; dargestellt sind die p-Werte**

Testvariable	n	Pre-Messung	Post-Messung
Maximalkraft	12	.023*	.039*
Zeitpunkt der Maximalkraft	12	.477	.311
Maximaler Kraftanstieg	12	.552	.382
Zeitpunkt des maximalen Kraftanstieges	12	.196	.814
Mittlerer Kraftanstieg 0 – 30 ms	12	.861	.249
Mittlerer Kraftanstieg 0 – 50 ms	12	.345	.345
Mittlerer Kraftanstieg 0 – 100 ms	12	.701	.382
Mittlerer Kraftanstieg 0 – 200 ms	12	.861	.701

Bei der isometrischen Kraftmessung wurden signifikante Veränderungen in der Maximalkraft zwischen den wiederholten Messungen sowohl in der Pre-Messreihe als auch in der Post-Messreihe festgestellt. So konnten die Probanden ihre Maximalkraft zwischen den Mess-Tagen der Pre-Messreihe um durchschnittlich 268 N und damit um 14 % erhöhen. In den Post-Messungen erhöhten sie die Maximalkraft um durchschnittlich 777 N und damit um 10 %. Die übrigen Testvariablen der isometrischen Kraftmessung zeigten keine signifikanten Veränderungen zwischen den wiederholten Messungen. Somit muss besonders bei der Maximalkraft von einem Lerneffekt ausgegangen werden.

Bei den biomechanischen Testverfahren lassen einige Testvariablen einen Lern- oder Gewöhnungseffekt vermuten, daher und aus Gründen einer einheitlichen Auswertung wurde wie zuvor bei den alltagmotorischen Testver-

fahren jeweils der zweite Test-Tag für die nachfolgende Auswertung hinzu gezogen.

### 8.2.2. Pre-/Post-Vergleich

Nachfolgende Tabellen zeigen in zusammengefasster Form den Pre-/Post-Vergleich der Ergebnisse der parallel zum Berg Balance Test durchgeführten Messung des Druckmittelpunktes.

**Tab. 21: Vergleich der Pre- und Post-Messungen der Ergebnisse der statischen Posturographie; dargestellt sind MW  $\pm$  SD sowie die p-Werte der Interventionsgruppe**

Testvariable	Einheit	n	Pre	Post	p-Wert
normaler Stand - Weg	[mm]	15	395 ( $\pm$ 84)	448 ( $\pm$ 122)	.140
normaler Stand - Fläche	[mm <sup>2</sup> ]	15	553 ( $\pm$ 843)	457 ( $\pm$ 425)	.691
Stand mit geschl. Augen - Weg	[mm]	15	203 ( $\pm$ 52)	201 ( $\pm$ 88)	.733
Stand mit geschl. Augen - Fläche	[mm <sup>2</sup> ]	15	360 ( $\pm$ 236)	267 ( $\pm$ 209)	.102
Stand mit enger Fußstellung - Weg	[mm]	15	540 ( $\pm$ 123)	544 ( $\pm$ 157)	.691 <sup>a</sup>
Stand mit enger Fußstellung - Fläche	[mm <sup>2</sup> ]	15	692 ( $\pm$ 281)	704 ( $\pm$ 462)	.887
Tandemstand - Weg	[mm]	13	418 ( $\pm$ 112)	434 ( $\pm$ 158)	.552
Tandemstand - Fläche	[mm <sup>2</sup> ]	13	772 ( $\pm$ 649)	727 ( $\pm$ 536)	.916
Einbeinstand - Weg	[mm]	10	353 ( $\pm$ 150)	403 ( $\pm$ 117)	.241
Einbeinstand - Fläche	[mm <sup>2</sup> ]	10	435 ( $\pm$ 149)	537 ( $\pm$ 280)	.241

a) Die Betrachtung der Differenzen bestätigte einen Unterschied zwischen den Gruppen ( $p = .004^*$ ).

**Tab. 22: Vergleich der Pre- und Post-Messungen der Ergebnisse der statischen Posturographie; dargestellt sind MW  $\pm$  SD sowie die p-Werte der Kontrollgruppe**

Testvariable	Einheit	n	Pre	Post	p-Wert
normaler Stand - Weg	[mm]	11	435 ( $\pm$ 123)	526 ( $\pm$ 215)	.213
normaler Stand - Fläche	[mm <sup>2</sup> ]	11	462 ( $\pm$ 369)	462 ( $\pm$ 458)	.964
Stand mit geschl. Augen - Weg	[mm]	11	200 ( $\pm$ 64)	196 ( $\pm$ 75)	.504
Stand mit geschl. Augen - Fläche	[mm <sup>2</sup> ]	11	247 ( $\pm$ 183)	205 ( $\pm$ 125)	.656
Stand mit enger Fußstellung - Weg	[mm]	11	499 ( $\pm$ 129)	612 ( $\pm$ 146)	.006 <sup>*a</sup>
Stand mit enger Fußstellung - Fläche	[mm <sup>2</sup> ]	11	696 ( $\pm$ 207)	679 ( $\pm$ 586)	.062
Tandemstand - Weg	[mm]	10	461 ( $\pm$ 152)	498 ( $\pm$ 167)	.333
Tandemstand - Fläche	[mm <sup>2</sup> ]	10	555 ( $\pm$ 268)	896 ( $\pm$ 626)	.284

Testvariable	Einheit	n	Pre	Post	p-Wert
Einbeinstand - Weg	[mm]	9	470 (± 180)	497 (± 149)	.260
Einbeinstand - Fläche	[mm <sup>2</sup> ]	9	559 (± 216)	724 (± 198)	.110

a) Die Betrachtung der Differenzen bestätigte einen Unterschied zwischen den Gruppen ( $p = .004^*$ ).

Die Betrachtung der Differenz von Post- zu Pre-Messung ergab, bis auf den in Tab. 21 und Tab. 22 mit a gekennzeichneten Testvariablen keinen Hinweis auf einen Unterschied zwischen der Interventions- und der Kontrollgruppe. Weder in der Pre-Messung noch in der Post-Messung unterschieden sich die Untersuchungsgruppen voneinander signifikant.

Die Parameter der statischen Posturographie zeigten sowohl für die Interventionsgruppe als auch für die Kontrollgruppe kaum Veränderungen nach der Interventionsphase. Allein der COP-Weg im Stand mit enger Fußstellung verlängerte sich signifikant in der Kontrollgruppe. Der COP-Weg der Interventionsgruppe blieb hingegen annähernd konstant (Abb. 19). Eine Betrachtung der Differenzen bestätigte diesen Unterschied zwischen den Untersuchungsgruppen.

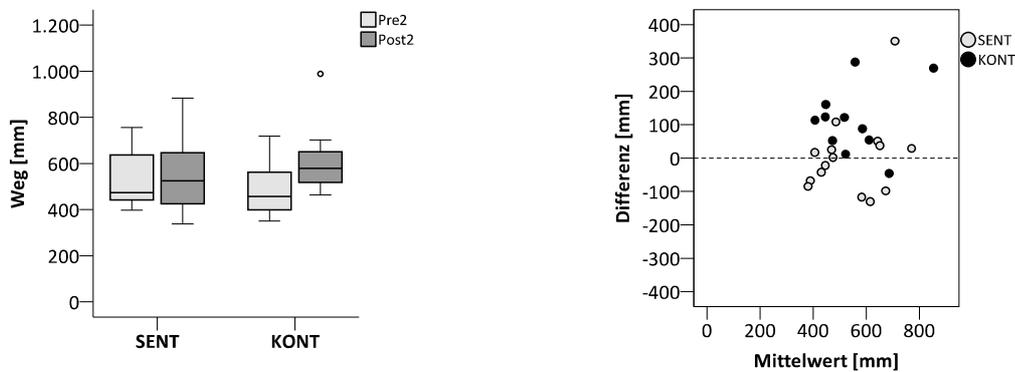
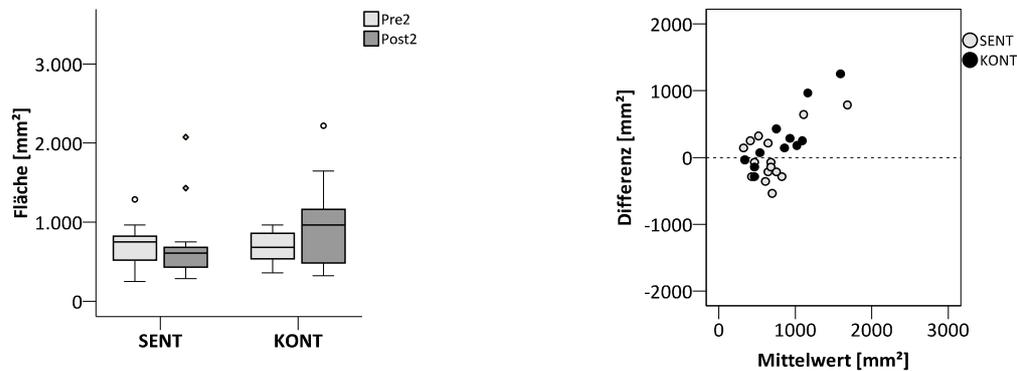


Abb. 18: Boxplot und Differenzenplot des COP-Weges im Stand mit enger Fußstellung

Das Differenzenplot in Abb. 19 lässt erkennen, dass sieben Probanden der Interventionsgruppe in der Post-Messung einen kürzeren COP-Weg beschrieben als in der Pre-Messung. Die übrigen acht Probanden verlängerten den COP-Weg. Proband P004 zeigte insgesamt die größte Verlängerung mit einem 350 mm längeren Weg in der Post-Messung. In der Kontrollgruppe beschrieb allein Proband P010 einen kürzeren COP- Weg. Die übrigen 10 Probanden verlängerten ihren COP-Weg in der Post-Messung, Proband P026 und P029 um bis zu 300 mm.

Weiterhin lässt die Interventionsgruppe, wenn auch nicht signifikant, eine geringere COP-Fläche im Stand mit enger Fußstellung erkennen und die Kontrollgruppe eine leichte Vergrößerung (Abb. 20).



**Abb. 19: Boxplot und Differenzenplot der COP-Fläche im Stand mit enger Fußstellung**

Betrachtet man das Differenzenplot (Abb. 20) ist zu erkennen, dass neun Probanden der Interventionsgruppe die COP-Fläche im Stand mit enger Fußstellung reduzierten. Sechs Probanden vergrößerten die Fläche. Proband P003 und P004 zeigten in der Interventionsgruppe die größten Zunahmen. Nur drei Probanden der Kontrollgruppe konnten die COP-Fläche reduzieren. Acht Probanden zeigten in der Post-Messung eine Vergrößerung der Fläche. Proband P029 und P048 der Kontrollgruppe zeigten insgesamt die größten Zunahmen. Weiterhin ist aus den Boxplots (Abb. 20) zu erkennen, dass in den Pre-Messungen ähnliche Streuungsverhältnisse in der Interventions- und Kontrollgruppe vorherrschen. Die Interventionsgruppe präsentiert sich in der Post-Messung homogener bezüglich der Streuung der COP-Fläche zwischen den Gruppenmitgliedern. Dementgegen ist bei der Kontrollgruppe eine größere Streuung in den Daten zu erkennen.

Die deskriptive Statistik der übrigen Testvariablen kann dem Anhang 10.8 entnommen werden.

Die Tab. 23 - 26 zeigen in zusammengefasster Form die Ergebnisse des Pre-/Post-Vergleichs zum COP-Verlauf sowie zur Aktivität des M. tibialis anterior und des M. gastrocnemius caput medialis während gezielter Perturbation der Standfläche nach anterior und nach lateral. Zunächst wird die Perturbation nach anterior betrachtet, daran anknüpfend folgen die Ergebnisse der Perturbation nach lateral.

**Tab. 23: Vergleich der Pre- und Post-Messungen der Ergebnisse der dynamischen Posturographie während einer Perturbation nach anterior; dargestellt sind MW ± SD sowie die p-Werte der Interventionsgruppe**

Testvariable	Einheit	n	Pre	Post	p-Wert
<b>Perturbation – Weg</b>	[mm]	15	390 (± 182)	346 (± 125)	.088
<b>Perturbation – Fläche</b>	[mm <sup>2</sup> ]	15	2512 (± 1356)	1933 (± 769)	.053 <sup>a</sup>
<b>M. tib.ant. - TTO</b>	[ms]	15	97 (± 10)	100 (± 16)	.427 <sup>b</sup>
<b>M. tib.ant. - TTP</b>	[ms]	15	174 (± 151)	115 (± 90)	.125 <sup>a</sup>
<b>M. tib.ant. - nEMG1</b>	[%]	15	5516 (± 3668)	7898 (± 6424)	.125
<b>M. tib.ant. - nEMG2</b>	[%]	15	5472 (± 4016)	7977 (± 6333)	.069
<b>M. tib.ant. - nEMG3</b>	[%]	15	2473 (± 1992)	3415 (± 2849)	.173

a) Die Betrachtung der Differenzen bestätigte einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ( $p_{\text{Fläche}} = .036^*$ ;  $p_{\text{TTP}} = .024^*$ ).

b) In der Pre-Messung unterschieden sich die Gruppen signifikant ( $p = .027^*$ ). In der Post-Messung wiesen die untersuchten Gruppen keinen signifikanten Unterschied auf.

**Tab. 24: Vergleich der Pre- und Post-Messungen der Ergebnisse der dynamischen Posturographie während einer Perturbation nach anterior; dargestellt sind MW ± SD sowie die p-Werte der Kontrollgruppe**

Testvariable	Einheit	n	Pre	Post	p-Wert
<b>Perturbation – Weg</b>	[mm]	11	358 (± 200)	361 (± 204)	.657
<b>Perturbation – Fläche</b>	[mm <sup>2</sup> ]	11	2700 (± 3033)	3375 (± 4478)	.286 <sup>a</sup>
<b>M. tib.ant. - TTO</b>	[ms]	11	93 (± 10)	99 (± 13)	.075 <sup>b</sup>
<b>M. tib.ant. - TTP</b>	[ms]	11	120 (± 105)	166 (± 162)	.100 <sup>a</sup>
<b>M. tib.ant. - nEMG1</b>	[%]	11	9648 (± 4553)	9634 (± 6101)	.125
<b>M. tib.ant. - nEMG2</b>	[%]	11	9971 (± 5071)	9726 (± 6537)	.790
<b>M. tib.ant. - nEMG3</b>	[%]	11	4245 (± 3109)	4535 (± 5737)	.929

a) Die Betrachtung der Differenzen bestätigte einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ( $p_{\text{Fläche}} = .036^*$ ;  $p_{\text{TTP}} = .024^*$ ).

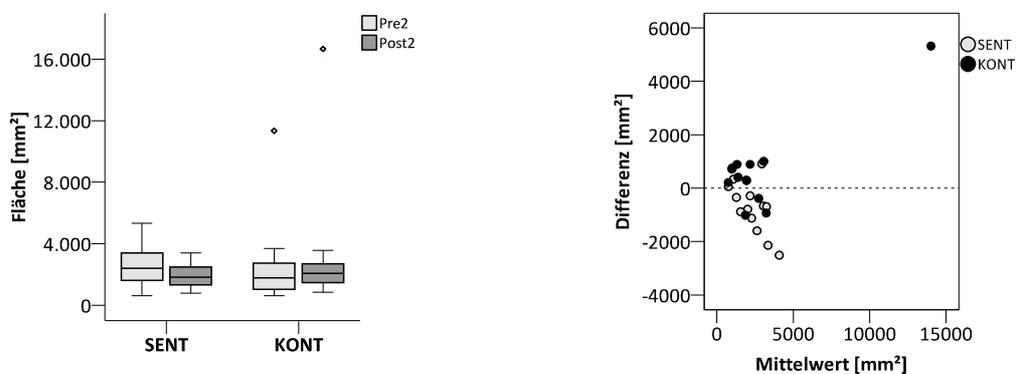
b) In der Pre-Messung unterschieden sich die Gruppen signifikant ( $p = .027^*$ ). In der Post-Messung wiesen die untersuchten Gruppen keinen signifikanten Unterschied auf.

Die Betrachtung der Differenz von Post- zu Pre-Messung ergab, außer bei den mit a gekennzeichneten Testvariablen, keinen Hinweis auf einen Unterschied zwischen der Interventions- und Kontrollgruppe. Bis auf bei den mit b gekennzeichneten Testvariablen konnten keine signifikanten Unterschiede

zwischen den Untersuchungsgruppen weder in der Pre-Messung noch in der Post-Messung nachgewiesen werden.

Insgesamt zeigten sich bei einer Perturbation nach anterior sowohl für die Interventionsgruppe als auch für die Kontrollgruppe keine signifikanten Unterschiede nach der Interventionsphase in den untersuchten Testvariablen.

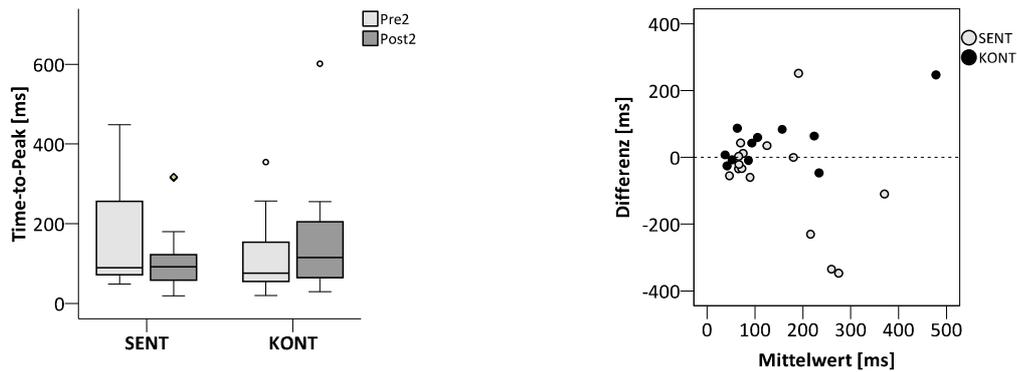
Einen signifikanten Unterschied zwischen den Differenzen beider Gruppen wurde in der vom COP beschriebenen Fläche beobachtet. Die Interventionsgruppe reduzierte die Fläche nach der Interventionsphase um durchschnittlich 579 mm<sup>2</sup> und damit um 23 %. Die Kontrollgruppe vergrößerte hingegen die COP-Fläche um durchschnittlich 675 mm<sup>2</sup> und damit um 25 % (Abb. 21).



**Abb. 20: Boxplot und Differenzenplot der COP-Fläche während einer Perturbation nach anterior**

Das Differenzenplot in Abb. 21 lässt erkennen, dass insgesamt zehn Probanden der Interventionsgruppe die COP-Fläche verringerten und fünf vergrößerten. Demgegenüber verringerten nur drei Probanden der Kontrollgruppe die COP-Fläche und die übrigen acht Probanden vergrößerten diese. Proband P012 zeigt die größte Zunahme von über 5000 mm<sup>2</sup>.

Ein signifikanter Unterschied zwischen den Differenzen beider Gruppen wurde in der Zeit bis zur maximalen Aktivität des M. tibialis anterior beobachtet. Die Interventionsgruppe verkürzte die Zeit durchschnittlich um 59 ms und damit um 34 %. Die Kontrollgruppe verlängerte die Zeit bis zum maximalen Ausschlag um durchschnittlich 46 ms und damit um 38 % (Abb. 22).



**Abb. 21: Boxplot und Differenzenplot der Time-to-Peak während einer Perturbation nach anterior**

Im Differenzenplot ist zu erkennen, dass zehn Probanden der Interventionsgruppe die Zeit bis zum maximalen Ausschlag des M. tibialis anterior reduzierten und fünf erhöhten. Im Gegensatz dazu reduzierte sich bei vier Probanden der Kontrollgruppe die Zeit bis zur größten Aktivität und sieben Probanden erhöhten die Zeitdauer. Auffällig ist, dass innerhalb der Interventionsgruppe gerade die Probanden eine starke Reduzierung der Time-to-Peak erreichen konnten, welche in der Pre-Messung einen besonders hohen Zeitraum aufwiesen. Entsprechend wurde die Streuung der Ergebnisse zwischen den Probanden dieser Gruppe deutlich reduziert (Abb. 22).

Während der Perturbation nach lateral wird die Unterstützungsfläche des Probanden nach links ausgelenkt. Der Körperschwerpunkt verlagert sich unweigerlich nach rechts, was zur Folge hat, dass das rechte Bein stärker belastet und das linke Bein, auch durch die Zentrifugalkraft teilweise komplett entlastet wird. Daher sollen im Folgenden ausschließlich die EMG-Signale des rechten Beines betrachtet werden. Der M. gastrocnemius medialis ist während der Perturbation nach lateral nicht bei allen Probanden aktiv beteiligt. Acht bzw. sechs Probanden der Untersuchungsgruppen konnten in die Auswertung einbezogen werden. Die Ergebnisse werden im Folgenden dargelegt.

**Tab. 25: Vergleich der Pre- und Post-Messungen der Ergebnisse der dynamischen Posturographie während einer Perturbation nach lateral; dargestellt sind MW ± SD sowie die p-Werte der Interventionsgruppe**

Testvariable	Einheit	n	Pre	Post	p-Wert
<b>Perturbation - Weg</b>	[mm]	15	535 (± 165)	501 (± 159)	.041*
<b>Perturbation - Fläche</b>	[mm <sup>2</sup> ]	15	4082 (± 2706)	3741 (± 2077)	.394
<b>M. tib.ant. - TTO</b>	[ms]	12	113 (± 24)	120 (± 16)	.308
<b>M. tib.ant. - TTP</b>	[ms]	12	121 (± 82)	176 (± 185)	.347

Testvariable	Einheit	n	Pre	Post	p-Wert
M. tib.ant. - nEMG1	[%]	12	5176 (± 4203)	6608 (± 4968)	.480
M. tib.ant. - nEMG2	[%]	12	5156 (± 4177)	6924 (± 6758)	.272
M. tib.ant. - nEMG3	[%]	12	2816 (± 2512)	3199 (± 3034)	.875
M. gastroc.med. - TTO	[ms]	8	121 (± 12)	129 (± 25)	.401
M. gastroc.med. - TTP	[ms]	8	93 (± 151)	60 (± 69)	.889
M. gastroc.med. - nEMG1	[%]	8	3811 (± 2792)	2231 (± 1632)	.123 <sup>a,b</sup>
M. gastroc.med. - nEMG2	[%]	8	2647 (± 2123)	1418 (± 967)	.123 <sup>a,b</sup>
M. gastroc.med. - nEMG3	[%]	8	621 (± 433)	255 (± 185)	.093 <sup>a,b</sup>

a) Die Betrachtung der Differenzen bestätigte einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ( $p_{nEMG1} = .013^*$ ,  $p_{nEMG2} = .029^*$ ,  $p_{nEMG3} = .020^*$ ).

b) In der Pre-Messung wiesen die untersuchten Gruppen keinen signifikanten Unterschied auf. In der Post-Messung unterschieden sich die Gruppen signifikant ( $p_{nEMG1} \leq .001$ ,  $p_{nEMG2} = .003$ ,  $p_{nEMG3} = .003$ ).

**Tab. 26: Vergleich der Pre- und Post-Messungen der Ergebnisse der dynamischen Posturographie während einer Perturbation nach lateral; dargestellt sind MW ± SD sowie die p-Werte der Kontrollgruppe**

Testvariable	Einheit	n	Pre	Post	p-Wert
Perturbation - Weg	[mm]	11	471 (± 97)	416 (± 72)	.033*
Perturbation - Fläche	[mm <sup>2</sup> ]	11	3561 (± 1831)	2985 (± 1201)	.248
M. tib.ant. - TTO	[ms]	11	124 (± 38)	120 (± 23)	.594
M. tib.ant. - TTP	[ms]	11	121 (± 77)	121 (± 96)	1.000
M. tib.ant. - nEMG1	[%]	11	7056 (± 5189)	6338 (± 3663)	.594
M. tib.ant. - nEMG2	[%]	11	5832 (± 3563)	5571 (± 3082)	.594
M. tib.ant. - nEMG3	[%]	11	3198 (± 2173)	2830 (± 1655)	.477
M. gastroc.med. - TTO	[ms]	6	122 (± 6)	127 (± 7)	.249
M. gastroc.med. - TTP	[ms]	6	30 (± 10)	28 (± 14)	.753
M. gastroc.med. - nEMG1	[%]	6	4129 (± 2042)	7324 (± 2398)	.046 <sup>a,b</sup>
M. gastroc.med. - nEMG2	[%]	6	2950 (± 1378)	4797 (± 2270)	.116 <sup>a,b</sup>
M. gastroc.med. - nEMG3	[%]	6	592 (± 281)	1013 (± 525)	.116 <sup>a,b</sup>

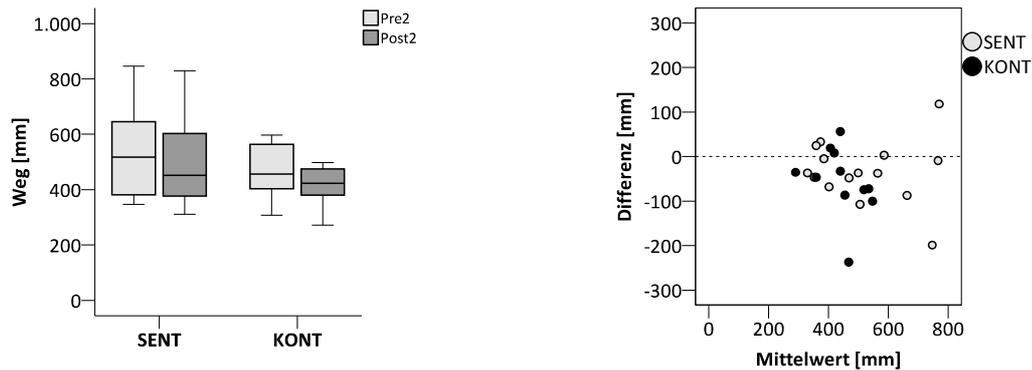
a) Die Betrachtung der Differenzen bestätigte einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ( $p_{nEMG1} = .013^*$ ,  $p_{nEMG2} = .029^*$ ,  $p_{nEMG3} = .020^*$ ).

b) In der Pre-Messung wiesen die untersuchten Gruppen keinen signifikanten Unterschied auf. In der Post-Messung unterschieden sich die Gruppen signifikant ( $p_{nEMG1} \leq .001$ ,  $p_{nEMG2} = .003$ ,  $p_{nEMG3} = .003$ ).

Die Betrachtung der Differenz von Post- zu Pre-Messung ergab, bis auf die mit a gekennzeichneten Testvariablen, keinen Hinweis auf einen Unterschied zwischen der Interventions- und Kontrollgruppe. Außer in den mit b gekennzeichneten Testvariablen unterschieden sich die Untersuchungsgruppen weder in der Pre-Messung noch in der Post-Messung voneinander signifikant.

Insgesamt zeigten sich bei einer Perturbation nach lateral sowohl für die Interventionsgruppe als auch für die Kontrollgruppe kaum signifikante Unterschiede nach der Interventionsphase.

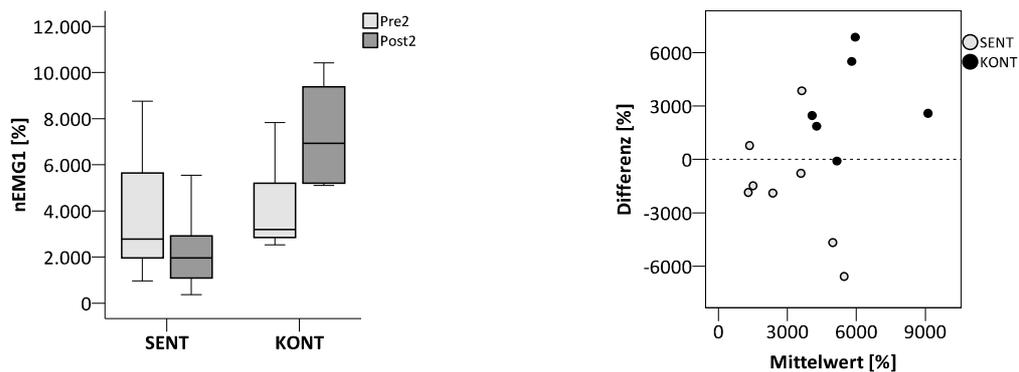
Für beide Gruppen verringerte sich der COP-Weg signifikant in der Post-Messung (Abb. 23).



**Abb. 22: Boxplot und Differenzenplot des COP-Weges während einer Perturbation nach lateral**

Das Differenzenplot lässt erkennen, dass bis auf jeweils drei Probanden der Untersuchungsgruppen, alle Probanden den zurückgelegten Weg des Druckmittelpunktes verkürzten.

Die normalisierten Intervalle 1 bis 3 des M. gastrocnemius zeigen für beide Gruppen keinen signifikanten Unterschied zwischen der Pre- und der Postmessung auf. Dennoch ist der Unterschied zwischen den Differenzen und zwischen den Post-Messungen beider Gruppen signifikant. Abb. 24 verdeutlicht dies exemplarisch auch für die beiden anderen Intervalle.



**Abb. 23: Boxplot und Differenzenplot des nEMG1 des M. gastrocnemius medialis während einer Perturbation nach lateral**

Das Differenzenplot zeigt, dass von den acht Probanden der Interventionsgruppe zwei Probanden (P005 und P052) die Muskelaktivität im M. gastrocnemius caput medialis in der Post-Messung erhöhten, während die übrigen Probanden die Muskelaktivität verringerten. In der Kontrollgruppe erhöhten fünf Probanden die Intensität der Muskelaktivität, ein Proband veränderte sich kaum. Die deskriptive Statistik der übrigen Testvariablen kann dem Anhang 10.8 entnommen werden.

Nachfolgende Tabellen zeigen in zusammengefasster Form den Pre-/Post-Vergleich der Ergebnisse der isometrischen Maximalkraftmessung.

**Tab. 27: Vergleich der Pre- und Post-Messungen der Ergebnisse der isometrischen Kraftmessung; dargestellt sind MW  $\pm$  SD sowie die p-Werte der Interventionsgruppe**

Testvariable	Einheit	n	Pre	Post	p-Wert
Maximalkraft	[N]	7	2258 ( $\pm$ 612)	3448 ( $\pm$ 1062)	.018*
Zeitpunkt Maximalkraft	[ms]	7	2,85 ( $\pm$ 0,25)	2,83 ( $\pm$ 0,24)	.345
Maximaler Kraftanstieg	[N/ms]	7	3,33 ( $\pm$ 3,1)	4,81 ( $\pm$ 3,1)	.018*
Zeitpunkt max. Kraftanstieg	[ms]	7	0,92 ( $\pm$ 0,68)	0,67 ( $\pm$ 0,20)	.499
Mittlerer Kraftanstieg 0 – 30 ms	[N/ms]	7	1,17 ( $\pm$ 1,4)	0,87 ( $\pm$ 0,4)	.398
Mittlerer Kraftanstieg 0 – 50 ms	[N/ms]	7	1,55 ( $\pm$ 2,2)	1,29 ( $\pm$ 0,9)	.310
Mittlerer Kraftanstieg 0 – 100 ms	[N/ms]	7	1,73 ( $\pm$ 2,4)	1,97 ( $\pm$ 1,6)	.398
Mittlerer Kraftanstieg 0 – 200 ms	[N/ms]	7	1,71 ( $\pm$ 1,6)	2,36 ( $\pm$ 2,1)	.063

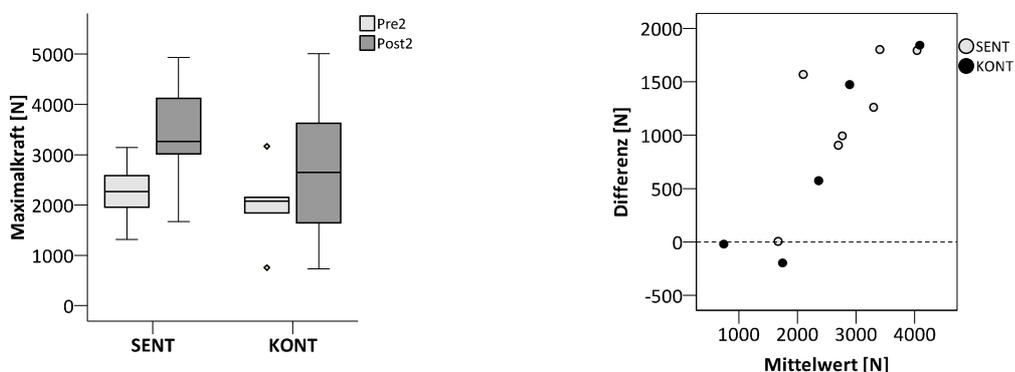
**Tab. 28: Vergleich der Pre- und Post-Messungen der Ergebnisse der isometrischen Kraftmessung; dargestellt sind MW  $\pm$  SD sowie die p-Werte der Kontrollgruppe**

Testvariable	Einheit	n	Pre	Post	p-Wert
Maximalkraft	[N]	5	1999 ( $\pm$ 861)	2734 ( $\pm$ 1670)	.225
Zeitpunkt Maximalkraft	[ms]	5	2,90 ( $\pm$ 0,13)	2,73 ( $\pm$ 0,29)	.225
Maximaler Kraftanstieg	[N/ms]	5	3,31 ( $\pm$ 3,1)	4,65 ( $\pm$ 2,8)	.225
Zeitpunkt max. Kraftanstieg	[ms]	5	1,48 ( $\pm$ 1,28)	0,54 ( $\pm$ 0,14)	.225
Mittlerer Kraftanstieg 0 – 30 ms	[N/ms]	5	0,64 ( $\pm$ 0,2)	1,14 ( $\pm$ 0,6)	.043*
Mittlerer Kraftanstieg 0 – 50 ms	[N/ms]	5	0,83 ( $\pm$ 0,5)	1,57 ( $\pm$ 1,1)	.043*
Mittlerer Kraftanstieg 0 – 100 ms	[N/ms]	5	1,26 ( $\pm$ 0,9)	2,00 ( $\pm$ 1,6)	.225
Mittlerer Kraftanstieg 0 – 200 ms	[N/ms]	5	1,25 ( $\pm$ 0,9)	2,63 ( $\pm$ 1,9)	.043*

Die Betrachtung der Differenz von Post- zu Pre-Messung ergab keinen Hinweis auf einen Unterschied zwischen der Interventions- und Kontrollgruppe. Weder in der Pre-Messung noch in der Post-Messung unterschieden sich die Untersuchungsgruppen voneinander signifikant.

Insgesamt konnte ein Proband der Interventionsgruppe nicht mit in die Auswertung einbezogen werden, da dieser in der Pre-Messung nicht kräftig genug war den Starttrigger von 500 N auszulösen. In der Post-Messung schaffte dieser Proband dann eine Maximalkraft von 843 N.

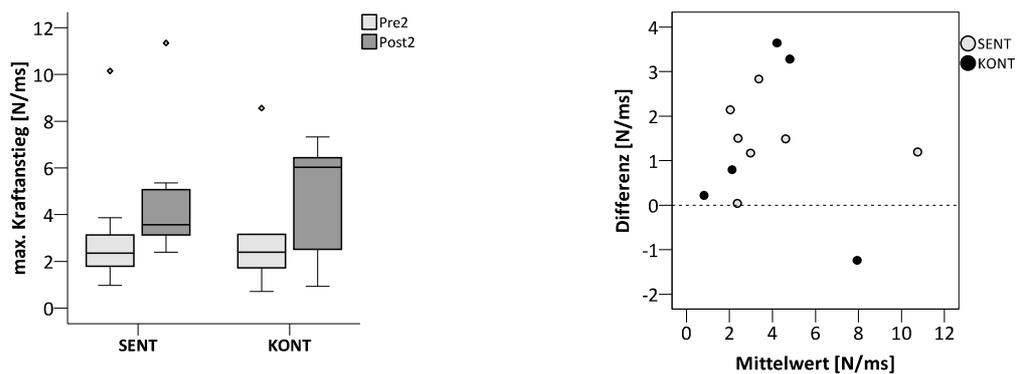
Die Maximalkraft erhöhte sich in beiden Gruppen, für die Interventionsgruppe signifikant um 53 % und für die Kontrollgruppe nicht signifikant um 37 % (Abb. 25).



**Abb. 24: Boxplot und Differenzenplot der Maximalkraft**

Das Differenzenplot zeigt, dass sich bis auf einen Probanden (P022) alle Probanden der Interventionsgruppe um mindestens 900 N in der Maximalkraft verbesserten. Der Proband ohne Verbesserungen zeigt identische Werte wie bereits zur Eingangsmessung. Von den fünf Probanden der Kontrollgruppe zeigten insgesamt drei Probanden Verbesserungen, davon Proband P001 und P032 mit wesentlichen Verbesserungen der Maximalkraft. Diese Probanden gaben an, zwar ihr Bewegungsverhalten nicht verändert zu haben, aber weiterhin regelmäßig an Physiotherapie, Seniorensport und im Gegensatz zu den anderen Probanden auch an Gerätetraining im Fitnessstudio teilzunehmen. Ein Proband konnte das Niveau der Pre-Messung halten, bei einem Probanden verringerte sich die Maximalkraft.

Der maximale Kraftanstieg erhöhte sich in beiden Gruppen, für die Interventionsgruppe signifikant um 44 % und für die Kontrollgruppe nicht signifikant um 40 % (Abb. 26).



**Abb. 25: Boxplot und Differenzenplot des maximalen Kraftanstiegs**

Im Differenzenplot ist zu erkennen, dass bis auf Proband P022 alle Probanden der Interventionsgruppe den maximalen Kraftanstieg um mindestens 1 N/ms erhöhen konnten. Von den fünf Probanden der Kontrollgruppe zeigen insgesamt drei Probanden Verbesserungen, davon zwei Probanden mit wesentlichen Verbesserungen des maximalen Kraftanstiegs. Diese Probanden entsprechen den zuvor bei der Maximalkraft genannten Probanden.

Der mittlere Kraftanstieg erhöhte sich in beiden Gruppen, für die Kontrollgruppe signifikant (Abb. 27).

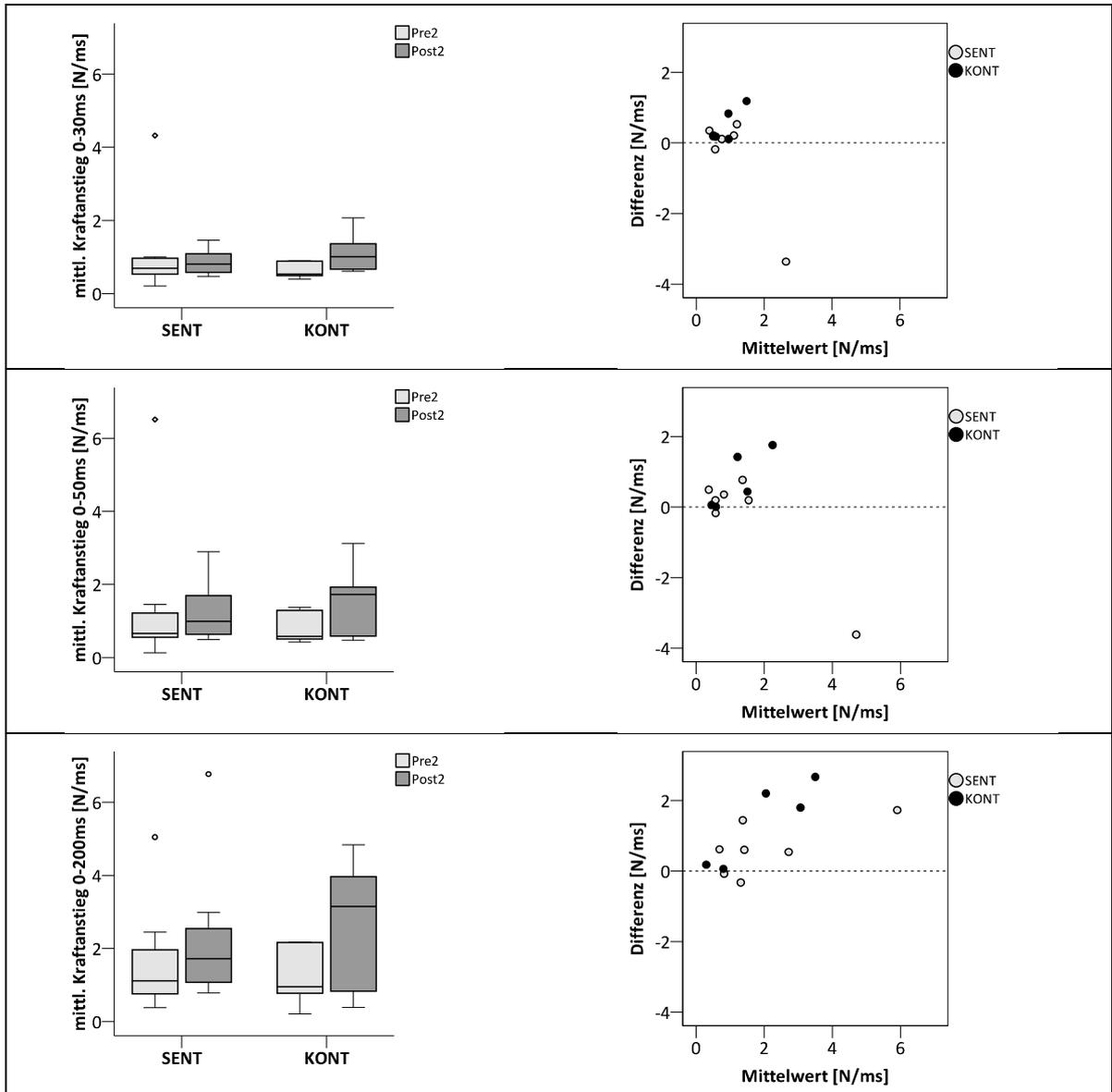


Abb. 26: Boxplots und Differenzenplots für den mittleren Kraftanstieg der Intervalle 0-30ms, 0-50ms, 0-100ms und 0-200ms

Betrachtet man die Differenzenplots der mittleren Kraftanstiege 0-30 ms und 0-50 ms ist zu erkennen, dass bis auf einen Proband aus der Interventionsgruppe, alle Probanden in der Post-Messung einen höheren mittleren Kraftanstieg aufweisen. Das Differenzenplot des Intervalls 0 – 200 ms zeigt eine deutliche Trennung der Kontrollgruppe in drei Probanden mit einem deutlichen gestiegenen mittleren Kraftanstieg (entsprechend denen der Maximal-

kraft) und zwei Probanden ohne Veränderung des mittleren Kraftanstiegs. Die Probanden mit einem erhöhten mittleren Kraftanstieg entsprechen den bereits zuvor bei der Maximalkraft besprochenen Probanden. Die Differenzen der Interventionsgruppe positionieren sich überwiegend dazwischen.

Die deskriptive Statistik der nicht aufgeführten Testvariablen kann dem Anhang 10.8 entnommen werden.

### 8.3. Subjektive Testverfahren und Feedback

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Activities - Specific Balance Scale sowie das subjektive Probandenfeedback dargestellt.

Die subjektive Einschätzung der gleichgewichtsbezogenen Selbstsicherheit erhöhte sich in der Interventionsgruppe (n = 15) durchschnittlich von 64,3 ( $\pm$  23) % auf 72,1 ( $\pm$  19) % (p = .064). In der Kontrollgruppe (n = 13) verringerte sich diese signifikant von 68,2 ( $\pm$  22) % auf 59,1 ( $\pm$  26) % (p = .034\*). Eine Betrachtung der Differenzen bestätigte einen Unterschied zwischen den Gruppen (p = .046\*).

Weder in der Pre-Messung noch in der Post-Messung unterschieden sich die Untersuchungsgruppen voneinander signifikant.

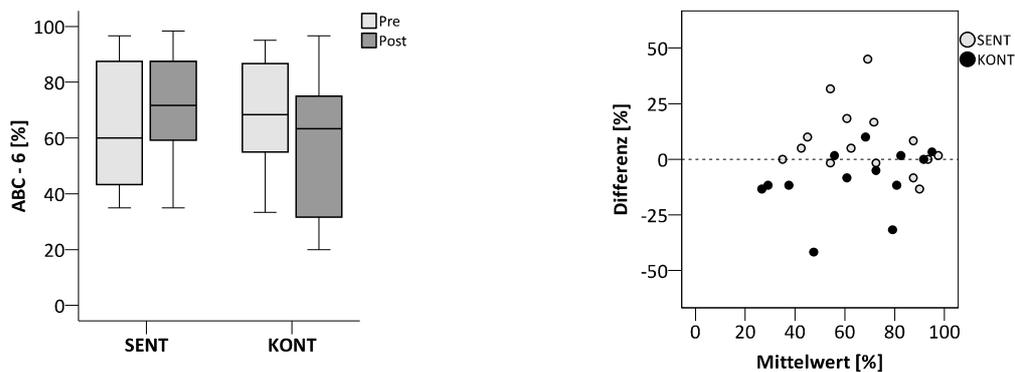


Abb. 27: Boxplot und Differenzenplot der Activities-Specific Balance Confidence Scale

Das Differenzenplot (Abb. 28) lässt erkennen, dass die Probanden der Interventionsgruppe bis auf zwei Ausnahmen die selbsteingeschätzte Gleichgewichtssicherheit beibehalten oder verbessern konnten. Demgegenüber ging bei fast allen Probanden der Kontrollgruppe die selbsteingeschätzte Gleich-

gewichtssicherheit zurück. Nur ein Proband schätzte diese nach der Interventionsphase besser ein.

Im Rahmen der Nachbesprechung wurden die Probanden um ein subjektives, mündliches Feedback gebeten. Folgende Fragen wurden dabei gestellt und von den Probanden frei beantwortet.

*Wie hat sich der Fortschritt der Erkrankung in den letzten drei Monaten bemerkbar gemacht?*

Interventionsgruppe: Zwei Probanden gaben an Verbesserungen bemerkt zu haben. Bei beiden Probanden habe sich das Allgemeinbefinden verbessert, bei einem Probanden sei das Gleichgewicht beim Laufen verbessert worden. Acht Probanden berichteten von einer konstanten Situation. Fünf Probanden nannten Verschlechterungen durch schwerere Arme, Zunahme von Bewegungsblockaden, Zunahme des Tremors, Abnahme der Wirkungsdauer der Medikamente, Verschlechterung des Schriftbildes und trockene Augen.

Kontrollgruppe: Zwei Probanden berichteten von einer besseren Beweglichkeit durch die Physiotherapie. Vier Probanden berichteten von einer konstanten Situation. Sieben Probanden nannten Verschlechterungen durch Erschöpfung, Zunahme von Bewegungsblockaden, Zunahme des Tremors, Schmerzen, Unmut, Nachlassen der Feinmotorik und Dyskinesien.

*Wie hat Ihnen das Training der letzten drei Monate gefallen? Was hat Ihnen besonders gefallen?*

Alle Probanden der Interventionsgruppe gaben hinterher an, dass Ihnen das Training gut bis sehr gut gefallen habe. Zehn Probanden hoben das Trainieren in der Gruppe mit Leidensgenossen hervor. Acht Probanden sagten, dass sie Zuhause weiter trainieren werden. Einigen hatten sich dazu bereits Trainingsgeräte gekauft oder selbst angefertigt. Weitere Aussagen von einzelnen Probanden waren:

- „Es tut gut gefordert zu werden.“
- „Drei Trainingseinheiten pro Woche waren sehr anstrengend.“
- „Es hätte gerne noch anstrengender gestaltet werden können.“
- „Es ist gut zu sehen, dass es anderen schlechter geht.“
- „Die Gespräche!“
- „Das gemeinsame, langsame Ankleiden in der Kabine!“
- „Ich melde mich jetzt wieder beim Sport an!“
- „Besonders die Ballspiele!“.

*Haben Sie durch das Training in den letzten drei Monaten irgendwelche Veränderungen bemerkt?*

Zehn Probanden gaben an, durch das Training positive Veränderungen festgestellt zu haben. Vier Probanden bemerkten, dass sie viel sicherer geworden seien, z.B. könnten sie beim Hose-Anziehen nun länger auf einem Bein stehen oder hätten sich weniger gestoßen. Zwei Probanden berichteten, dass sie nicht mehr gestürzt seien, da sie sich immer selbst abfangen konnten und insgesamt weniger taumeln. Zwei Probanden berichteten, dass sich das Laufen verbessert hätte. Sie würden nun größere Schritte machen. Ein Proband wurde von Bekannten auf die Verbesserung seines Ganges angesprochen. Drei Probanden berichten von einem insgesamt besseren Allgemeinbefinden. Ein Proband gab an weniger Scheu vor bestimmten Bewegungsaktivitäten im Alltag zu haben und ein Proband bemerkte, dass seine Muskulatur zunahm.

Die anderen sechs Probanden konnten weder von positiven noch von negativen subjektiven Veränderungen berichten.

In der Vor- und Nachbesprechung wurde nach der Anzahl an Stürzen in den letzten drei Monaten gefragt. Die Antworten sind in Tabelle 29 und 30 zusammengefasst.

**Tab. 29: Anzahl der Stürze in den letzten drei Monaten der Interventionsgruppe.**

	002	003	004	005	013	021	022	030	031	034	036	037	039	045	052
Pre	0	7	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	5	5	0
Post	1*	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0

\*, „War schon schlimmer, ist besser geworden.“

**Tab. 30: Anzahl der Stürze in den letzten drei Monaten der Kontrollgruppe.**

	001	009	010	011	012	018	023	026	029	032	038	040	048
Pre	0	11	0	20	0	4	0	0	0	3	0	0	0
Post	0	11	0	>1	0	>1*	0	0	0	1	1	2	0

\*„Hat zugenommen!“

*Sind während dem Training Überlastungsbeschwerden o.ä. aufgetreten?*

Zwölf Probanden hatten keinerlei Beschwerden in den letzten drei Monaten. Drei Probanden berichteten von einer Zunahme der Nackenverspannungen,

von Beschwerden der bestehenden Knie- und Hüftarthrosen oder von abendlichen Schmerzen im Oberschenkel.

*Hat sich die Intensität der Rückenschmerzen in den letzten drei Monaten verändert?*

Interventionsgruppe: Ein Proband berichtete von einem Rückgang der Rückenschmerzen. 13 Probanden sagten, an den Rückenschmerzen hätte sich nichts verändert. Ein Proband bemerkte zusätzliche Verspannungen im Nackenbereich.

Kontrollgruppe: Ein Proband berichtete von einem Rückgang der Rückenschmerzen durch einen Besuch der Rückenschule. Fünf Probanden sagten, an den Rückenschmerzen hätte sich nichts verändert. Sieben Probanden erfuhren in den letzten drei Monaten zusätzliche Rückenschmerzen und verwiesen auf den „Ischias“, das Schneeschippen und die Hausarbeit.

### **Zusammenfassung:**

Die wiederholte Durchführung der alltagsmotorischen und biomechanischen Testverfahren lässt Lern- oder Gewöhnungseffekte sowohl in den Pre- als auch in den Post-Messungen erkennen.

Die Ergebnisse der alltagsmotorischen Testverfahren zeigen nach der Interventionsphase für beide Untersuchungsgruppen kaum Veränderungen auf. Die Kontrollgruppe verringert die Anzahl der erfolgreichen Schritte im Tandemwalk-Test in Vorwärtsrichtung signifikant.

Die Ergebnisse der statischen Posturographie zeigen nach der Interventionsphase für beide Untersuchungsgruppen kaum Veränderungen auf. Die Kontrollgruppe verlängert den COP-Weg beim Stand mit enger Fußstellung signifikant.

Die Ergebnisse der dynamischen Posturographie zeigen nach der Interventionsphase signifikante Unterschiede zwischen den beiden Untersuchungsgruppen auf. Während sich in der Interventionsgruppe bei einer Perturbation nach anterior die Zeit bis zur maximalen Aktivität des M. tibialis anterior

sowie die COP-Fläche verringert, erhöhen sich diese in der Kontrollgruppe. Bei einer Perturbation nach lateral reduziert sich die Aktivität des M. gastrocnemius medialis in der Interventionsgruppe, während sich diese in der Kontrollgruppe erhöht.

Die isometrische Maximalkraftmessung der Beinextensoren zeigt nach der Interventionsphase eine signifikante Erhöhung der Maximalkraft und der maximalen Kraftanstiegsrate für die Interventionsgruppe. In der Kontrollgruppe zeigt sich ein signifikanter Anstieg der mittleren Kraftanstiegsraten.

Die Interventionsgruppe zeigt nach der Interventionsphase eine Zunahme sowie die Kontrollgruppe eine Abnahme der gleichgewichtsbezogenen Selbstsicherheit.

## 9. Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand darin die Auswirkung von Gleichgewichtstraining auf die posturale Stabilität bei an Parkinson erkrankten Personen zu untersuchen. Dazu wurde über zwölf Wochen ein Gleichgewichtstraining mit Parkinsonpatienten in einem randomisierten und kontrollierten Studiendesign durchgeführt. Alltagsmotorische, biomechanische und subjektive Testverfahren wurden jeweils zweimal vor und nach der Interventionsphase gemessen. In den folgenden Kapiteln soll die durchgeführte Untersuchungsmethodik abschließend kritisch betrachtet sowie die erhobenen Untersuchungsergebnisse vor dem Hintergrund aktueller Literatur diskutiert werden. Nach einem abschließenden Fazit erfolgt in einem Ausblick die Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse in Empfehlungen für zukünftige wissenschaftliche Fragestellungen.

### 9.1. Methoden

Das Untersuchungsdesign wurde so konzipiert, dass die Probanden zunächst an einer Vorbesprechung und anschließend an zwei identischen Eingangsuntersuchungen teilnahmen. Alle Vorbesprechungen und Untersuchungen fanden in den Räumen des Biomechanik-Labors der Technischen Universität Chemnitz statt und wurden von ein und demselben Untersuchungsleiter durchgeführt. Dies wurde so gewählt, da eine einmalige Messwert-Aufnahme bei Parkinsonpatienten in der Diskussion steht (Jöbges et al., 2004, Kimmeskamp, 2003, Keus et al., 2009). Eine emotionale Anspannung der Probanden, hervorgerufen durch die ungewohnte Testsituation unter Laborbedingung, könnte sich in einer Verstärkung der Symptome niederschlagen und letztlich die Ergebnisse negativ beeinflussen (Scharf und Weineck, 2004, Gerlach, 2007). Resultierend daraus würde der Ist-Zustand der Probanden deutlich schlechter bewertet werden, was folglich zu verfälschten und zu großen Unterschieden zwischen der Pre- und Post-Messung führen würde. In der vorliegenden Studie dienten daher die Vorbesprechungen und die erste Eingangsmessung zur Gewöhnung an die Testsituation und somit zur Reduktion der emotionalen Anspannung. Nach dem aktuellen Stand der Literatur ist dies, neben den Arbeiten von Bühlmeier (2008) und Jöbges et al. (2004) die einzige Studie, die dieses Problem berücksichtigt. Da die genannten Gründe für eine zweite Eingangsmessung durchaus auch in der Ausgangsmessung Berechtigung finden, wenn bspw. die Interventionsgruppe teilweise übermo-

tiviert an die Post-Tests herangeht, wurden ebenfalls zwei identische Ausgangsmessungen durchgeführt.

Des Weiteren wurde mit einem randomisierten und kontrollierten Studiendesign gearbeitet. Nur durch eine Kontrollgruppe ist es möglich die Ergebnisse einer Interventionsgruppe entsprechend zu interpretieren. Dennoch ist dies mit Vorsicht zu betrachten, da Parkinsongruppen trotz identischer Gruppenmerkmale wie Alter, Krankheitsdauer und Beeinträchtigungsgrad aufgrund individueller Symptom-Ausprägungen äußerst unterschiedlich sein können. Fehlende Kontrollgruppen werden in der Literatur immer wieder bemängelt. Eine Placebo-Gruppe wäre wünschenswert, ist aber bei einer Trainingsintervention kaum zu realisieren.

Parkinsongruppen sind durch eine individuelle Symptomausprägung hinsichtlich zahlreicher Merkmale äußerst heterogen und sollten daher eine möglichst große Probandenzahl aufweisen. Die durchgeführte Probandenrekrutierung zeigte eine gute Resonanz und letztendlich konnten 48 Parkinsonpatienten in die Studie eingeschlossen werden. Eine Untersuchung in dieser Altersstruktur und mit diesem Krankheitsbild stößt hier sicherlich mit der Durchführung an nur einem Standort an ihre Grenzen. Von den 48 Parkinson-Probanden wurden letztendlich 15 Probanden aus der Trainingsgruppe und 13 Probanden aus der Kontrollgruppe mit in die Auswertung aufgenommen. Einige Probanden fielen gesundheitsbedingt, einige witterungsbedingt aus. Der größte Teil musste allerdings aufgrund von Medikamentenänderungen ausgeschlossen werden. Dies hätte durch eine engere Zusammenarbeit mit den behandelnden Neurologen sicher verringert werden können. Wäre die Änderung der Anti-Parkinson-Medikation allerdings strikt verboten worden, hätten sich höchstwahrscheinlich kaum Parkinsonpatienten freiwillig zur Beteiligung an der Studie bereit erklärt. Aufgrund der geringen Probandenanzahl wurden Probanden der Hoehn & Yahr-Stufe 1 bis 4 eingeschlossen. Bei Patienten einer niedrigen Krankheitsstufe mit geringen motorischen Beeinträchtigungen ist ein Trainingseffekt vermutlich deutlicher zu erzielen (Goodwin et al., 2008, Ashburn et al., 2007, Schenkman et al., 1998, Fox et al., 2006). Stankovic (2004) beobachtete allerdings, dass auch Probanden in einem höheren Krankheitsstadium von einem bewegungstherapeutischen Training profitierten. Weiterhin wurden Probanden mit einem sekundären Parkinson-Syndrom bzw. Parkinson-Plus-Syndrom zugelassen. Die bewegungstherapeutische Therapie zur Behandlung der posturalen Instabilität unterscheidet sich nicht von Patienten des idiopathischen Typs. Das Interesse der vorliegenden Studie lag darin, Auswirkungen eines Gleichgewichtstrainings in dieser allgemeinen

Patientengruppe zu untersuchen. Daher wurde hier keine Unterscheidung zwischen den unterschiedlichen Syndromen getroffen. Das Ergebnis der vorliegenden Untersuchung änderte sich nicht durch einen Ausschluss dieser Probanden. Des Weiteren wird auch bei vorliegender Diagnose des idiopathischen Parkinson-Syndroms die Rate der Fehldiagnosen zwischen 20 und 30 % eingeschätzt (Poewe und Wenning, 2002).

Alle Untersuchungen wurden für jeden Patienten zur selben Tageszeit durchgeführt und dauerten insgesamt nicht länger als 60 min. Dies sollte gewährleisten, dass die Messungen in einer motorisch guten Phase im Tagesverlauf durchgeführt werden und die Bedingungen an jedem Test-Tag annähernd standardisiert sind.

Die Trainingsinhalte der Trainingsintervention orientierten sich an bekannten in der Bewegungstherapie eingesetzten Gleichgewichtsübungen im Stand unter Verwendung einfacher Trainingsmittel wie Wackelbrett und Therapiekreisel. Die Intensitätsgestaltung von Gleichgewichtstraining, insbesondere für Parkinsonpatienten, ist wissenschaftlich nicht hinreichend untersucht und in vielen Interventionsstudien nicht hinreichend dokumentiert. Eine Vergleichbarkeit mit anderen Studien ist somit häufig kaum möglich. In der vorliegenden Arbeit wurde das Training daher genau protokolliert. Die Dauer einer einzelnen Wiederholung von 15 – 25 s orientierte sich an der Literatur gesunder Probanden (Dohm-Acker et al., 2008, Granacher, 2003, Brand, 2006). Eine adäquate Intensität konnte dahingehend sichergestellt werden, dass versucht wurde so zu trainieren, dass das Gleichgewicht gerade noch gehalten werden konnte oder durch einen Ausgleichsschritt wieder hergestellt werden musste. Die Anforderungen konnten dazu individuell angepasst werden. Zusätzlich wurde mehrmals in einer Übungsstunde das Befinden der Probanden anhand einer zu Beginn eingeführten 6-Punkte-Borg-Skala überprüft. Da die Intensität nicht zu hoch gewählt wurde, ist daran zu erkennen, dass keine Verletzungen oder Ermüdungserscheinungen aufgetreten sind. Keiner der Probanden hat das Training vorzeitig abgebrochen. Eine Trainingsdauer von zwölf Wochen wurde als ausreichend lang betrachtet, um mögliche Auswirkungen zu erreichen.

Die vielfältigen Einflussfaktoren lassen vermuten, dass die posturale Instabilität nicht durch ein Testverfahren allein beurteilt werden kann. Zahlreiche Autoren fordern daher die Anwendung einer Testbatterie (Brusse et al., 2005, u.a. Hirsch et al., 2003, Behrman et al., 2002, Bloem et al., 2001b, Stack et al., 2005, Jacobs et al., 2006a). Diesem Standpunkt wurde in der vorliegen-

den Arbeit entsprochen. Bewährte alltagsmotorische, biomechanische und subjektive Testverfahren, die zur Untersuchung der Gleichgewichtsfähigkeit bei Parkinsonpatienten angewandt werden, wurden herangezogen.

Zur Untersuchung der alltagsmotorischen Gleichgewichtsfähigkeit diente der bewährte Berg Balance Test, seinerseits eine Testbatterie. Der darin enthaltene Functional Reach Test wurde zusätzlich, wie in der Literatur empfohlen, mit dem Abstand des COPs vom posteriorsten Punkt der Ferse überprüft (Kage et al., 2009). Die im Berg Balance Test enthaltenen überwiegend statischen Gleichgewichtsübungen wurden zusätzlich durch eine dynamische Komponente, dem Tandemwalk-Test, ergänzt.

Als biomechanische Testverfahren dienten die statische Posturographie und die dynamische Posturographie. Der dynamischen Posturographie wird durch die standardisierte Störung der posturalen Stabilität ein größerer Aussagewert zugesprochen. Sie ist aber aufgrund der aufwendigen und der sich zwischen den Forschergruppen unterscheidenden Mess-Apparatur bisher weniger etabliert (Stehle, 2009). In der vorliegenden Untersuchung wurde ein umgebautes Posturomed<sup>®</sup> verwendet, welches bereits in Untersuchungen von Bühlmeier (2008) und Brand (2007) zur Anwendung kam. Der Proband wurde zunächst mehrmals in eine Richtung und anschließend mehrmals in die andere Richtung „perturbiert“. Eine Perturbation in eine für den Probanden unvorhersehbare Richtung war hier nicht möglich. Dies wäre zur Vermeidung einer möglichen Gewöhnung oder Vorahnung wünschenswert gewesen. Da Parkinsonpatienten sich nachweislich nicht auf die Art und die Stärke der Perturbation einstellen können und das Gleichgewicht in der vorliegenden Untersuchung in jeder Wiederholung aufs Neue herausgefordert wurde, wird dieser Effekt als gering eingeschätzt (Diener et al., 1988, Beckley et al., 1993, Bloem et al., 1995, Schieppati und Nardone, 1991). Die Perturbation nach anterior und nach lateral wurden gewählt, da die dadurch provozierte Sturzrichtung bei Parkinsonpatienten besonders häufig auftritt (de Freitas et al., 2010).

Die Auswahl der Muskeln für die elektromyographische Untersuchung orientierte sich an den am stärksten beteiligten Muskeln. Das ist bei einer Perturbation im Stand besonders der M. tibialis anterior. Als Gegenspieler mit möglichst wenig Cross-talk zu den benachbarten Muskeln wurde der M. gastrocnemius caput medialis ausgewählt (Henry et al., 1998). Für eine Beschreibung der Muskelsynergien und der Gleichgewichtsstrategien ist es sinnvoll auch Muskeln des Oberschenkels und des Rumpfes zu untersuchen. Aufgrund des großen Testumfangs und der zeitlichen Limitierung von 60

min. musste die Untersuchung auf zwei Muskeln je Körperseite beschränkt werden. Der erste Versuch wurde nicht für die Auswertung berücksichtigt. Untersuchungen des ersten komplett unvorbereiteten Versuches bei Parkinsonpatienten ergaben, dass dieser keine weiteren Informationen als die Verwendung der gepoolten Versuche offenbarte (Visser et al., 2010).

Weiterhin wurde eine Untersuchung der isometrischen Maximal- und Explosivkraft der Beinextensoren durchgeführt. Probanden mit orthopädischen oder kardiovaskulären Vorbelastungen wurden vorsorglich von diesem Test ausgeschlossen. Hirsch und Kollegen (2003) berichteten in ihrer Untersuchung, in der ein Maximalkrafttest mit vier Wiederholungen gefordert war, von einem Probanden mit einem Beckenbruch. In der vorliegenden Untersuchung sind durch die strenge Rekrutierung keinerlei Verletzungen aufgetreten. Dennoch liegt die Probandenanzahl in dem Bereich der Hirsch-Studie, die zu den am häufigsten zitierten Kraftstudien bei Parkinsonpatienten zählt.

Die Auswirkungen eines Gleichgewichtstrainings auf das reflektorische Antwortverhalten und auf die Kraftgenerierung bei Parkinsonpatienten wurden bislang noch nicht untersucht. Die vorliegende Untersuchung ist die erste Untersuchung, die den Einfluss von Gleichgewichtstraining auf die posturale Stabilität von Parkinsonpatienten in einem so umfassenden Testdesign betrachtet.

## **9.2. Ergebnisse**

Der aktuelle Stand der Literatur zur Effektivität von bewegungstherapeutischen Interventionen bei Parkinsonpatienten, speziell von Gleichgewichtstraining, weist einen enormen Forschungsbedarf auf. Es mangelt an qualitativ hochwertigen Studien, die sich mit den Auswirkungen spezieller Trainingsstrategien beschäftigen. Dies ist im Fall des Gleichgewichtstrainings besonders verwunderlich, da dieses zu den Kerngebieten bewegungstherapeutischer Behandlungsmaßnahmen bei Parkinsonpatienten gezählt wird (Keus et al., 2007).

Für die Beurteilung der Effektivität von Gleichgewichtstraining bei Parkinsonpatienten ist eine quantifizierbare Größe der posturalen Stabilität erforderlich. Genau in diesem Punkt liegt die erschwerende Problematik. Bisher konnte sich kein Goldstandard bzw. kein Testverfahren zur Beurteilung der posturalen Stabilität durchsetzen. Verschiedene klinische, motorische, biomechanische und subjektive Verfahren kommen zum Einsatz, diese wieder-

rum in zahlreichen Variationen mit ebenso zahlreichen Auswerteparametern. In der vorliegenden Arbeit wurden daher die aktuell favorisierten Testverfahren zusammengefasst und gemeinsam zur Beurteilung eines reinen Gleichgewichtstrainings bei Parkinsonpatienten herangezogen.

Dabei kamen alltagsmotorische Testverfahren wie der Berg Balance Test und der Tandemwalktest zum Einsatz. Im Berg Balance Test erreichten die Probanden in fast allen Übungen (Übung 1-7, 9,10) die volle Punktzahl, wodurch eine mögliche Verbesserung durch eine Erhöhung der Punktzahl sehr eingeschränkt war. Dennoch lagen die ermittelten Werte beider Gruppen in einem aus der Literatur bekannten Bereich (Steffen und Seney, 2008, Dibble und Lange, 2006). Die Interventionsgruppe erhöhte die Punktzahl nach der Trainingsintervention um 4 Punkte auf insgesamt 55 Punkte. Das Ergebnis der Kontrollgruppe blieb unverändert bei 54 Punkten. Ein signifikanter Unterschied wurde nicht festgestellt. Steffen und Seney (2008) berichteten von einem kleinsten bedeutsamen Unterschied von 5 Punkten speziell für Parkinsonpatienten. Somit kann trotz leichter Erhöhung des Medianwertes in der Interventionsgruppe nicht von einem Trainingseffekt ausgegangen werden. Auch die notierte benötigte Anzahl an Schritten für eine 360°-Drehung (Übung 13) und die erreichte Standdauer im Einbeinstand (Übung 14) veränderten sich nach der Interventionsphase für keine der beiden Untersuchungsgruppen. Die Autoren anderer bewegungstherapeutischer Interventionsstudien beobachteten ähnliche Ergebnisse (Ashburn et al., 2007, Gobbi et al., 2009, Qutubuddin et al., 2007). Allein bei Smania et al. (2010), welche ebenfalls ein reines Gleichgewichtstraining über nur sieben Wochen, allerdings mit einer höheren Probandenanzahl durchführten, verbesserte sich die Trainingsgruppe im Gesamtscore des Berg Balance Tests signifikant um 5 Punkte. Hier gehen die Autoren von einer deutlichen Verbesserung der motorischen Leistung aus. Im Vergleich zur vorliegenden Untersuchung wiesen die Probanden in der Studie von Smania et al. (2010) ein geringeres Eingangsniveau auf. Somit wäre es denkbar, dass eventuelle Verbesserungen besser erfasst werden konnten. Eine Betrachtung der Kontrollgruppe bei Ashburn et al. (2007) zeigte, dass sich auch hier über einen doppelt so langen Interventionszeitraum wie in der vorliegenden Untersuchung, die Ergebnisse der Kontrollgruppe nicht veränderten.

Der Functional Reach Test, die Übung 8 des Berg Balance Tests zeigte für beide Untersuchungsgruppen in den drei unterschiedlichen Beurteilungsverfahren (BBT, Maßband, COP) keine signifikanten Veränderungen nach der Interventionsphase. Die ermittelten Werte durch das Ablesen der Reichweite

vom Maßband und durch den Ausschlag des COPs lagen in aus der Literatur bekannten Bereichen (Jacobs et al., 2006a, Dibble und Lange, 2006, Kage et al., 2009). Vergleichswerte allein für die Beurteilung der Übung 8 des Berg Balance Tests lagen nicht vor. Die visuelle Kontrolle der parallel erhobenen Druckdaten zeigte, dass einige Probanden unbemerkt vom Untersuchungsleiter die Fersen vom Boden abgehoben haben. Diese Versuche wurden für die Auswertung des COP-Ausschlags nicht berücksichtigt, wodurch sich die Probandenzahl deutlich reduzierte. Dennoch zeigten die einzelnen Beurteilungsverfahren einheitliche Ergebnisse. Auch bei Ashburn et al. (2007) zeigten sich keine Veränderungen im Functional Reach Test nach einem 6-wöchigem Heimtraining. Diese Ergebnisse stehen im Gegensatz zu Stankovic (2004) und Li et al. (2012), die nach einem kombinierten Sturzpräventionstraining bzw. nach einem Tai Chi – Training besonders bei Parkinsonpatienten mit Sturzerfahrung bzw. nach einer doppelt so langen Interventionsphase deutliche Verbesserungen nachweisen konnten.

Im Tandemwalk-Test setzten die Probanden der Interventionsgruppe nach der Interventionsphase genauso viele erfolgreiche Schritte auf die markierte Linie wie zuvor in der Eingangsmessung. Die Probanden der Kontrollgruppe konnten hingegen in Vorwärtsrichtung durchschnittlich einen halben Schritt signifikant weniger auf die Linie setzen, als vor der Interventionsphase. Die Kontrollgruppe verschlechterte sich somit, während die Interventionsgruppe eine konstante Leistung zeigte. Im Allgemeinen ist die Anzahl der erfolgreichen Schritte mit 9,5 und 8,5 Schritten für die Vorwärts- und Rückwärtsrichtung sehr hoch. Granacher (2003) beobachtete bei gleichaltrigen gesunden Probanden 5,6 bzw. 3,4 erfolgreiche Schritte. Diese Differenz ist mitunter dadurch bedingt, dass die Parkinsonpatienten im Vergleich zu den gesunden Probanden die Schritte nicht exakt Fuß an Fuß setzen konnten. In Anbetracht der hohen Anzahl der erfolgreichen Schritte in dieser Untersuchung, sollten die Testbedingungen jedoch verschärft werden. Die in Kapitel 6 formulierte Hypothese 1:

*»Gleichgewichtstraining beeinflusst das statische und dynamische Gleichgewicht von Parkinsonpatienten in motorischen Alltagssituationen«,*

kann somit nicht bestätigt werden. Insgesamt muss festgehalten werden, dass in der vorliegenden Untersuchung ein 12-wöchiges Gleichgewichtstraining keine bedeutenden Auswirkungen auf die alltagsmotorischen Testverfahren zeigte. Ein Vergleich mit anderen Interventionsstudien ist aufgrund zu großer Unterschiede im Studiendesign kaum möglich. Dennoch stehen die Ergebnis-

se im Einklang mit den Interventionsstudien von Ashburn et al. (2007), Gobbi et al. (2009) und Qutubuddin et al. (2007). Smania et al. (2010) beobachteten nach einer ähnlichen Trainingsintervention eine signifikante Verbesserung im Berg Balance Test von 5 Punkten. Dieses Ergebnis unterscheidet sich in nur einem Punkt von der vorliegenden Untersuchung. Bei Smania et al. (2010) wurde keine zweite Eingangsmessung durchgeführt. Hier konnte gezeigt werden, dass sich der Gesamtscore des Berg Balance Tests bereits durch eine Wiederholung um einen Punkt erhöht. Somit sind die vorliegenden Ergebnisse dennoch ähnlich. Li et al. (2012) und Stankovic (2004) beobachteten nach einer Trainingsintervention einen deutlichen Anstieg im Functional Reach Test von 5 cm. Da Gewichtsverlagerungen wie beim maximalen funktionalen Vorlehnen Bestandteil des durchgeführten Gleichgewichtstrainings waren, stellt sich die Frage, warum es hier nicht zu einem Trainingseffekt geführt hat. Ein Übertraining wird aufgrund der Trainingsorganisation, dem Wohlbefinden der Probanden sowie der Kraftzunahme im isometrischen Krafttest ausgeschlossen. Die Erhebung wurde blind sowie durch verschiedene Testverfahren durchgeführt, somit kann diese mögliche Fehlerquelle ebenfalls ausgeschlossen werden. Die Stabilitätsgrenzen konnten in der vorliegenden Untersuchung durch ein intensives Training nicht vergrößert werden.

Der Berg Balance Test und der Tandemwalk-Test wurden jeweils sehr hoch bewertet. Es stellt sich die Frage, ob Testverfahren, die mehr Spielraum für Verbesserungen offen gelassen hätten, auch größere Verbesserungen hätten anzeigen können. Die benötigte Anzahl an Schritten für eine 360°-Drehung, die Standdauer im Einbeinstand und der Functional Reach Test zeigten jedoch ebenfalls keine signifikanten Verbesserungen nach der Trainingsintervention. Ein Vergleich mit der Kontrollgruppe machte deutlich, dass auch diese das Niveau der Eingangsmessung halten konnte und entsprechend kein Effekt der durchgeführten Trainingsintervention zu erkennen ist. Die Anwendung der wiederholten Eingangs- und Ausgangsmessung zeigte für die Eingangsmessung einen signifikanten Unterschied in der 360°-Drehung und dem Functional Reach Test. Hier scheint eine Gewöhnung an die Übung stattzufinden und somit ein Lerneffekt aufzutreten. Dies sollte in zukünftigen Studien bei der Durchführung des Berg Balance Tests und des Functional Reach Tests beachtet werden.

Während der Durchführung der Trainingsintervention konnte bei allen Probanden der Interventionsgruppe die Intensität und die Dauer der Übungen sukzessiv erhöht werden. Umso verwunderlicher sind die Ergebnisse der all-

tagsmotorischen Testverfahren, besonders die der Standdauer im Einbeinstand. Diese Übung stellte immerhin einen wesentlichen Bestandteil der Trainingsintervention dar. Stankovic (2004) konnte in einem kürzeren und weniger speziellen Training eine Verbesserung der Standdauer im Einbeinstand nachweisen. Die Beobachtung der Probanden während der Post-Tests verstärkt die Vermutung, dass diese trotz der zweiten Ausgangsmessung besonders motiviert und ehrgeizig sowie mit hohen Erwartungshaltungen an sich selbst die einzelnen Übungen ausführten. Diese emotionale Anspannung einhergehend mit der Test-Situation im Labor könnte die Symptomatik verstärkt haben und somit einen hemmenden Einfluss auf die Bewegungsausführung und damit einen negativen Effekt auf die Ergebnisse genommen haben. Daraus lässt sich die Empfehlung ableiten, bei zukünftigen Untersuchungen die alltagsmotorischen Testverfahren in regelmäßigen Abständen innerhalb einer normalen Trainingseinheit durchzuführen.

Weiterhin kamen biomechanische Testverfahren der statischen und dynamischen Posturographie zum Einsatz. Die in der statischen Posturographie erhobenen Werte von bspw. 455 ( $\pm$  201) mm für den COP-Weg im normalen Stand aller Parkinsonpatienten der Eingangsmessung liegen in einem aus der Literatur bekanntem Bereich von 474 ( $\pm$  272) mm bei Blaszczyk et al. (2010) und Stylianou et al. (2011). In den verschiedenen Untersuchungsbedingungen zeigten sowohl die Interventionsgruppe als auch die Kontrollgruppe kaum Veränderungen nach der Interventionsphase. Ausschließlich der COP-Weg im Stand mit enger Fußstellung verlängerte sich signifikant in der Kontrollgruppe. Somit kann hier in der Interventionsgruppe von einem Aufrechterhalten der Gleichgewichtsfähigkeit durch die Trainingsintervention und in derselben Zeitspanne, von einer Verschlechterung in der Kontrollgruppe ausgegangen werden. Es existieren bisher nur wenige bewegungstherapeutische Interventionsstudien, welche die statische Posturographie als Untersuchungsinstrument einsetzen. Ein Vergleich der Untersuchungsergebnisse ist durch gravierende Unterschiede im Studiendesign meist nicht möglich. In Untersuchungen von Kimmeskamp (2003) und Bühlmeier (2008) verringerte sich nach einer bewegungstherapeutischen Intervention der COP-Weg im normalen Stand bzw. im normalen Stand mit geschlossenen Augen für die Interventionsgruppe (Kap. 5.2). Diese Ergebnisse stützen somit die Ergebnisse der vorliegenden Studie. Ebersbach et al. (2002) und Wolfsegger et al. (2011) beobachteten, dass Probanden mit einem atypischen oder sekundären Parkinson-Syndrom höhere Werte als Probanden vom idiopathischen Typ aufzeigen. Diese Beobachtung konnte in der vorliegenden Untersuchung nicht be-

stätigt werden. Allgemein wurden hier und in der Literatur große intraindividuelle Unterschiede beobachtet. Unterschiede zwischen den wiederholten Eingangs- und Ausgangsmessungen wurden nicht beobachtet. Die in Kapitel 6 formulierte Hypothese 2:

*»Gleichgewichtstraining beeinflusst das Standgleichgewicht von Parkinsonpatienten, gemessen mit dem Verfahren der statische Posturographie«,*

kann somit mit einem vorsichtigen Ja beantwortet werden. Es zeigt sich im Vergleich zur Kontrollgruppe und zusammen mit den Vergleichen aus der Literatur ein Trend zu einer Reduzierung des Schwankausmaßes des Druckmittelpunktes und damit zu einer antizipierten Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit. Fehlende signifikante Unterschiede zwischen der Eingangs- und Ausgangsmessung in den übrigen Untersuchungsbedingungen könnten zum Teil durch die geringe Probandenanzahl und zum andern durch die hohe intraindividuelle Variabilität bedingt sein. Die Untersuchungsergebnisse unterstützen die Vermutung, dass die posturale Stabilität weniger durch einen statischen Test, als durch einen dynamischen, mehr herausfordernden Test bewertet werden kann (Bühlmeier, 2008, Stylianou et al., 2011).

Die Untersuchung mittels dynamischer Posturographie zeigte während einer Perturbation nach anterior, dass die gleichgewichtstrainierten Parkinsonpatienten den M. tibialis anterior früher maximal aktivieren sowie die Aktivität in den untersuchten Intervallen vergrößern konnten. Dies machte sich auch in einer Verringerung des Schwankausmaßes des Druckmittelpunktes bemerkbar. Diese Beobachtungen stehen im Einklang mit den Untersuchungen von Bühlmeier (2008), welche einen nahezu identischen Testaufbau verwendete (siehe Kap. 5.2). Die erhobenen Werte liegen insgesamt in aus der Literatur bekannten Bereichen (Dietz et al., 1988, Horak et al., 1992, Bühlmeier, 2008). Die Werte der COP-Fläche sind in der vorliegenden Untersuchung teilweise höher. Dies kann auf eine unterschiedliche Berechnung zurückzuführen sein. Vergleichswerte für die Zeit bis zur maximalen Aktivität liegen nicht vor.

Bei einer Perturbation der Unterstützungsfläche nach lateral erhöhte sich ebenfalls die Aktivität des M. tibialis anterior, weiterhin verringerte sich die Aktivität des M. gastrocnemius caput medialis in der Interventionsgruppe. Die entsprechenden Zeiten bis zum Muskel-Onset und bis zur maximalen Aktivität zeigten keinen Unterschied im Vergleich zur Eingangsmessung. Das Schwankausmaß des Druckmittelpunktes blieb hier von den Anpassungserscheinungen unbeeinflusst. Auch in der Untersuchung von Granacher

(2003) mit gleichaltrigen, gesunden Probanden führte ein Gleichgewichtstraining zu einer Zunahme der Aktivität des M. tibialis anterior. In dieser Studie wurde ausschließlich der M. tibialis anterior betrachtet. Somit liegen keine Vergleichswerte für den M. gastrocnemius caput medialis vor. Die erhobenen Werte für die Zeit bis zum Muskel-Onset des M. tibialis anterior liegen ca. 50 ms über dem aus der Literatur bekanntem Bereich (Granacher, 2003). Dies ist dadurch zu erklären, dass in der Literatur eine physiologische Reaktion auf den Störreiz als Starttrigger verwendet wurde. Dadurch verringert sich die Zeit bis zum Muskel-Onset im Vergleich zu einem externen Trigger. Bei einer Untersuchung mit gleichaltrigen, gesunden Probanden konnte durch eine ähnliche Trainingsintervention eine signifikante Verringerung der Zeit bis zum Muskel-Onset beobachtet werden (Granacher, 2003). Diese Trainingsadaption war bei den Parkinsonpatienten nicht zu beobachten. Für den Zeitpunkt der maximalen Aktivität liegen keine Vergleichswerte vor. Die in Kapitel 6 formulierte Hypothese 3:

*»Gleichgewichtstraining beeinflusst die Standstabilität von Parkinsonpatienten, gemessen mit dem Verfahren der dynamischen Posturographie«,*

kann somit insgesamt bestätigt werden. Eine erhöhte Reflexaktivität bei einer Perturbation des Standes lässt auf eine Verbesserung der Standstabilität schließen. Diese Vermutung wird durch eine Verringerung des Schwankausmaßes bestärkt. Welche genauen Mechanismen zu einer Adaption des Reflexverhaltens beigetragen haben, kann mit dem durchgeführten Studiendesign nicht hinreichend beantwortet werden. Unzweifelhaft ist allerdings, dass ein adäquates Reagieren auf eine Perturbation des Standes zu einer verbesserten Standstabilität beiträgt. Ob sich dies auf eine Verringerung der Sturzgefährdung auswirkt, muss allerdings in prospektiven Studien noch weiter untersucht werden. Das durchgeführte Standgleichgewichts- und Standstabilisationstraining bestand aus einer vielfältigen Übungsauswahl, die nicht unbedingt dem exakten Charakter der Testbedingung entsprachen. Somit kann davon ausgegangen werden, dass sich die reflektorischen Anpassungen nicht allein auf die Testsituation reduzieren, sondern auch die allgemeine Fähigkeit auf eine sturzauslösende Situation zu reagieren trainiert werden konnte.

Anpassungserscheinungen durch ein Gleichgewichtstraining können im Grunde an jedem Punkt des sensomotorischen Systems stattfinden. Von der Reizaufnahme, der Weiterleitung, über die zentrale Verarbeitung bis zum ausführenden Organ. Granacher (2003) vermutete bei einem Gleichgewichts-

training mit gesunden älteren Probanden Anpassungserscheinungen durch eine Reduktion der präsynaptischen Hemmung der Ib- und II-Afferenzen sowie durch eine verbesserte Übertragungsfrequenz der Interneurone. Die präsynaptische Hemmung nimmt mit dem Alter zu und die Anzahl der Interneurone wird verringert. Durch ein Gleichgewichtstraining werden hier Anpassungen vermutet. Diese Annahme kann allerdings nicht auf Parkinsonpatienten übertragen werden (Bühlmeier, 2008). Eine Erhöhung der Reflexaktivität durch eine Verringerung der präsynaptischen Inhibition erscheint unwahrscheinlich, da diese bei Parkinsonpatienten in den Ia- und Ib-Afferenzen bereits reduziert ist (Morita et al., 2000, Delwaide et al., 1991).

Die Basalganglien sind vermutlich für eine schnelle Modifizierung der Aktivitätsmuster, die optimale Größe der Aktivierung sowie für ein optimales Agonisten-Antagonisten-Verhältnis zuständig. Parkinsonpatienten zeigen eine Unfähigkeit nur die wichtigsten Muskeln zu aktivieren, die muskuläre Antwort zu erhöhen bzw. anzupassen sowie Co-Kontraktionen durch zu schnellen und zu hohen Einsatz der Antagonisten (Dimitrova et al., 2004). Dimitrova und Kollegen (2004) berichten von sehr geringer bis gar keiner Aktivität in den jeweiligen Antagonisten bei Perturbationen des aufrechten Standes für junge gesunde Probanden. In der vorliegenden Untersuchung wurde gezeigt, dass Parkinsonpatienten nach einem Gleichgewichtstraining die agonistische Aktivität im M. tibialis anterior erhöhen und die antagonistische Aktivität des M. gastrocnemius caput medialis reduzieren konnten. Dimitrova und Kollegen (2003) vermuten ein Potential für Anpassungserscheinungen bei extern getriggerten Bewegungen (wie die Perturbationen des aufrechten Standes), da diese möglicherweise auch durch extrastriatale Schleifen kontrolliert werden können, wie es auch beim sog. Cueing der Fall ist. Ein Training der Standstabilität könnte somit eventuell die Verwendung der extrastriatalen Bahnen hervorheben. Ob dieser Mechanismus den Grund für die Anpassungserscheinungen in der vorliegenden Untersuchung darstellt, kann hier allerdings nicht hinreichend beantwortet werden. Dieser Annahme stehen Untersuchungen entgegen, die keine Unterschiede in der Amplitudenhöhe zwischen gleichaltrigen gesunden Probanden und Parkinsonpatienten feststellen konnten (Dimitrova et al., 2004) bzw. Untersuchungen, bei denen anstatt einer Abnahme, eine Zunahme der Aktivität des M. gastrocnemius caput medialis beobachtet wurde (Bühlmeier, 2008). Die letztgenannte Autorin folgerte, dass anstatt einer geringeren, eine höhere Co-Kontraktion sturzpräventiv wirke. Die vorliegende Untersuchung ist die erste Arbeit, die sich mit der Auswirkung von Gleichgewichtstraining auf das Reflexverhalten bei

Parkinsonpatienten beschäftigt. Weitere Forschungsarbeiten sind hier notwendig.

Neben der Untersuchung der statischen und dynamischen Posturographie wurde der Einfluss von Gleichgewichtstraining auf die Beinkraft der Parkinsonpatienten mittels einer isometrischen Maximal- und Explosivkraftmessung der Beinextensoren an der Beinpresse untersucht. Parkinsonpatienten leiden unter einer allgemeinen Abschwächung der Muskulatur zentralen Ursprungs (Parkinson, 1817, Corcos et al., 1996, Allen et al., 2009). Die Extensoren sind hiervon stärker betroffen als die Flexoren, wodurch auch die gebeugte Haltung zusätzlich begünstigt wird (Corcos et al., 1996). Hinzu kommt ein sekundärer Kraftverlust durch eine zunehmende und größere Immobilisation im Vergleich zu gleichaltrigen gesunden Probanden. Siehe dazu auch Kapitel 3. Nicht nur die Maximalkraft auch die Fähigkeit Kontraktionen möglichst schnell zu generieren ist reduziert (Corcos et al., 1996). Gerade ein schneller Kraftanstieg ist jedoch von funktionaler Wichtigkeit, besonders bei der Stabilisierung der Gelenke bzw. für die posturale Stabilität. So zeigten Allen et al. (2010), dass Parkinsonpatienten mit einer geringen sog. Muskel-Power (Kraft x Zeit) ein 6-fach erhöhtes Risiko an wiederholten Stürzen zu leiden aufweisen. Aktuelle Publikationen belegen, dass die Trainierbarkeit der Kraftfähigkeit auch bei Parkinsonpatienten gegeben ist (Dibble et al., 2006a, Dibble et al., 2006b, Hass et al., 2007, Hirsch et al., 2003, Toole et al., 2000, Scandalis et al., 2001). Hirsch et al. (2003) beobachteten einen Anstieg der Maximalkraft durch ein Gleichgewichtstraining bei Parkinsonpatienten. Der Kraftanstieg wurde bisher nicht betrachtet. In Untersuchungen mit jungen und älteren gesunden Probanden konnte gezeigt werden, dass auch Gleichgewichtstraining Einfluss auf die Kraftfähigkeit, insbesondere auf den Kraftanstieg hat (Granacher, 2003, Gruber und Gollhofer, 2004).

In der vorliegenden Untersuchung zeigten sich nach der Interventionsphase für beide Gruppen eine größere Maximalkraft sowie eine höhere maximale Kraftanstiegsrate. Dieser Unterschied war jedoch ausschließlich für die Interventionsgruppe signifikant. Somit kann hier von einem Trainingseffekt ausgegangen werden. Die Verbesserung der Maximalkraft war um 16 % größer und die der maximalen Kraftanstiegsrate um 4 % größer, als die der Kontrollgruppe. Alle Probanden der Interventionsgruppe zeigten deutliche Verbesserungen. Allein ein Proband der Interventionsgruppe (P022) zeigte konstante Werte in Eingangs- und Ausgangsmessung. Dies mag daran liegen, dass dieser Proband erst nach Beendigung der Studie eine L-Dopa-Substitution beginnen werde. Ein Dopamin-Mangel ist mit einem Kraftver-

lust von über 30 % in den Extensoren verbunden (Corcos et al., 1996). Es zeigte sich bei diesem Probanden, dass unter einem vorherrschenden Dopamin-Mangel nicht nur die Kraft geringer ist, sondern auch die Trainierbarkeit dieser eingeschränkt ist. In der Kontrollgruppe zeigten jeweils zwei Probanden (P001, P010, P032) deutliche Verbesserungen gegenüber den anderen Probanden, die kaum Verbesserungen oder Verschlechterungen aufwiesen. Von diesen beiden Probanden ist bekannt, dass sie regelmäßig an einem Krafttraining teilnehmen bzw. einen sehr aktiven Alltag durch die Betreuung eines pflegebedürftigen Partners haben. Es ist zu beachten, dass die Maximalkraft sowohl für die Eingangsmessung, als auch für die Ausgangsmessung einen deutlichen Lerneffekt aufweist. Dies sollte unbedingt in zukünftigen Untersuchungen berücksichtigt werden. Die erhobenen Werte liegen alle in einem aus der Literatur bekanntem Bereich, bzw. liegen unter den bekannten Werten für gesunde Probanden (Granacher, 2003, Gruber und Gollhofer, 2004). Der Zeitpunkt der Maximalkraft und der maximalen Kraftanstiegsrate veränderte sich wie auch bei Gruber und Gollhofer (2004) nicht. Dies war zu erwarten, da Parkinsonpatienten für eine maximale Kontraktion 3-4 s und damit länger, als die untersuchte Zeitspanne benötigen (Corcos et al., 1996). Die mittleren Kraftanstiegsraten erhöhten sich nach der Interventionsphase bis auf bei zwei Probanden der Interventionsgruppe (P036, P045) für alle übrigen Probanden beider Gruppen. Dieser Unterschied war für die Kontrollgruppe signifikant. Warum zwei Probanden keinen Anstieg der mittleren Kraftanstiegsraten zeigten, bleibt fraglich. Wieder zeigten sich hier die Probanden der Kontrollgruppe, die ein zusätzliches Krafttraining ausüben, als überlegen. Die Beobachtungen von Gruber und Gollhofer (2004) und Granacher (2003) an gesunden jüngeren und älteren Probanden, bei denen die Kraftanstiegsraten in den ersten Zeitintervallen der isometrischen Kontraktion durch ein Gleichgewichtstraining ansteigen, kann für Parkinsonpatienten somit nicht eindeutig bestätigt werden. Die in Kapitel 6 formulierte Hypothese 4:

*»Gleichgewichtstraining beeinflusst die Beinkraft von Parkinsonpatienten«,*

kann somit nicht eindeutig beantwortet werden. Eine eindeutige Aussage ist, überwiegend durch die zu geringe Probandenzahl geschuldet, nicht möglich. Es zeigt sich insbesondere wie unverzichtbar die Verwendung einer Kontrollgruppe ist. Festzuhalten ist, dass die Interventionsgruppe Verbesserungen in fast allen untersuchten Kraftparametern aufzeigte und eine Verbesserung durch ein intensives Gleichgewichtstraining nicht ausgeschlossen werden kann. Auch zeigten sich an den untersuchten Parametern keine Anzeichen

eines Übertrainings. Der durchaus interessante Ansatz, ob ein Gleichgewichtstraining zur Verbesserung der Kraftfähigkeit führt, insbesondere des Kraftanstiegs unmittelbar zu Beginn einer schnellen isometrischen Kontraktion, sollte mit einer größeren Probandenanzahl sowie einem intensiven Krafttraining überprüft werden.

Neben alltagsmotorischen und biomechanischen Testverfahren wurden die Probanden befragt und um ein subjektives Feedback gebeten. Die mittels standardisiertem Fragebogen ermittelte gleichgewichtsbezogene Selbstsicherheit erhöhte sich bei den gleichgewichtstrainierten Probanden um ca. 8 %. Nach Steffen und Seney (2008) liegt der kleinste bedeutsame Unterschied bei 13 %. Allerdings zeigte sich, dass sich die gleichgewichtsbezogene Selbstsicherheit in der Kontrollgruppe signifikant um ca. 9 % reduzierte. Der signifikante Unterschied zwischen den Gruppen bestätigte dies. Die ermittelten Werte liegen in einem aus der Literatur bekanntem Bereich (Smania et al., 2010). Die in Kapitel 6 formulierte Hypothese 5:

*»Gleichgewichtstraining beeinflusst die Selbstsicherheit von Parkinsonpatienten bei der Bewältigung von Gleichgewicht-herausfordernden Alltagsaktivitäten«,*

kann somit bestätigt werden. Es ist allerdings fraglich, ob die verbesserte gleichgewichtsbezogene Selbstsicherheit allein auf eine trainingsinduzierte verbesserte Gleichgewichtsfähigkeit oder auch auf das Gefühl der Patienten, aktiv etwas an ihrer physischen und psychischen Situation verbessern zu können, zurückzuführen ist. Eine höhere Selbstsicherheit wirkt höchstwahrscheinlich einer zunehmenden Immobilisation mit all ihren negativen Folgen (Abb. 1) entgegen. Dennoch ist es fraglich, ob durch eventuellen Übereifer oder Selbstüberschätzung auch ein erhöhtes Sturzrisiko besteht.

Das subjektive Feedback der Probanden fiel insgesamt äußerst positiv aus. Es sollte unbedingt vor dem Hintergrund betrachtet werden, dass die Probanden in einem persönlichen Gespräch, also nicht anonym befragt wurden. Unabhängig davon stützen einige Indizien das überwiegend positive Feedback. So kauften und bauten sich die Teilnehmer Trainingsgeräte für Zuhause und gründeten nach Ablauf der Studie eine Trainingsgruppe in einem Präventionssport-Verein, um das Training weiter durchführen zu können. Diese Gruppe trifft sich weiterhin einmal pro Woche zum Training.

### 9.3. Fazit und Ausblick

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Evaluation zur Effektivität von Gleichgewichtstraining bei Parkinsonpatienten große Forschungsdefizite aufweist. Dies ist zum einen einem Mangel an qualitativ hochwertigen Studien und zum anderen einem fehlenden Goldstandard in der Beurteilung der posturalen Stabilität geschuldet. Es werden geeignete Testverfahren benötigt, welche die posturale Stabilität valide und deutlich standardisierter als die bisherigen Verfahren beurteilen. Eine methodische Herangehensweise an dieses Problemfeld wäre wünschenswert.

Mithilfe aktuell angewandter Testverfahren wurde in einem umfassenden Studiendesign die zentrale Fragestellung:

*»Führt eine bewegungstherapeutische Intervention mittels Gleichgewichtstraining bei Parkinsonpatienten zu einer nachweislichen Beeinflussung der posturalen Stabilität?«,*

bearbeitet. Die unterschiedlichen Testverfahren zeigten jeweils einen mehr oder weniger deutlichen Trend für eine Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit durch ein 12-wöchiges Gleichgewichtstraining bei den untersuchten Parkinsonpatienten. Insgesamt kann somit von einem positiven Effekt ausgegangen werden. Die dynamische Posturographie sowie die Befragung zur gleichgewichtsbezogenen Selbstsicherheit zeigten dabei die deutlichste Beeinflussung infolge der Trainingsintervention. Es ist denkbar, dass in einem das Gleichgewicht-Herausforderndem-Testverfahren wie dem der dynamischen Posturographie die posturale Stabilität besser beurteilt werden kann, als in einem Verfahren welches das ungestörte Standgleichgewicht betrachtet, wie das der statischen Posturographie. Die subjektive Befragung bestätigt den positiven Trend in den biomechanischen Testverfahren. Eine zusätzliche Befragung der Angehörigen zu möglichen Effekten durch das intensive Gleichgewichtstraining könnte dieses Beurteilungsverfahren möglicher Weise etwas objektivieren.

Die angewandten alltagsmotorischen Testverfahren zeigten kaum Veränderungen nach der Interventionsphase. Es stellt sich die Frage, ob hier der durchgeführte Trainingsumfang sowie die Belastungsgestaltung ausreichend waren, um einen Trainingseffekt zu erzielen. Die ausgewählten Belastungsparameter waren durchweg an Beispielen aus der Literatur angelehnt. Dennoch ist der wissenschaftliche Erkenntnisgewinn in diesem Bereich sehr gering und bedarf unbedingt weiterer Forschung. Bessere Kenntnisse über die

Effektivität von Gleichgewichtstraining bei Parkinsonpatienten können genutzt werden, um das Training effizienter zu gestalten und damit die Motivation der Probanden weiter zu erhöhen. Die Gestaltung des Gleichgewichtstrainings und dessen Belastungsgestaltung sollten Inhalte weiterführender Forschungsansätze darstellen.

Die vorliegenden Ergebnisse der umfassenden Beurteilung der posturalen Stabilität bestätigen die Forderungen vieler Autoren mehrere unterschiedliche Testverfahren in einer Art Testbatterie anzuwenden (Brusse et al., 2005, u.a. Hirsch et al., 2003, Behrman et al., 2002, Bloem et al., 2001b, Stack et al., 2005, Jacobs et al., 2006a). Unterschiedliche Bewegungshandlungen erfordern jeweils eine unterschiedliche Zusammensetzung der somatosensorischen, propriozeptiven, visuellen und vestibulären Beteiligung. Eine einzige Testsituation ist nicht in der Lage diese Fähigkeit zufriedenstellend zu beurteilen. Erst eine gemeinsame Betrachtung der Ergebnisse ließ insgesamt einen deutlichen Trend zur Verbesserung der posturalen Stabilität erkennen. Zukünftige Forschungsansätze sollten sich daher mit dem Aufbau einer standardisierten Testbatterie sowie insbesondere mit einem gemeinsamen Bewertungsverfahren beschäftigen.

Betrachtet man die Resultate der verschiedenen Testverfahren bleibt festzuhalten, dass der Einsatz einer wiederholten Eingangs- und Ausgangsmessung häufig signifikante Unterschiede und damit einen Hinweis auf einen Lern- oder Gewöhnungseffekt aufzeigte. Dies sollte in zukünftigen Untersuchungen mit Parkinsonpatienten weiter Berücksichtigung finden. Es ist nicht auszuschließen, dass Trainingsadaptionen ohne diese Anpassung im Studiendesign zu positiv bewertet wurden und werden.

Weiterhin werden in Interventionsstudien mit Parkinsonpatienten, meist aus Mangel an Probanden, häufig keine Kontrollgruppen verwendet oder durch eine Gruppe aus gleichaltrigen gesunden Probanden ersetzt. Die Resultate der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass ohne den Einsatz einer randomisierten Kontrollgruppe, eine Interpretation deutlich erschwert worden wäre. Bereits eine Stabilisierung der körperlichen Fähigkeiten kann häufig als Trainingserfolg gewertet werden, wenn die Ergebnisse zeigen, dass sich die Kontrollgruppe im gleichen Zeitraum verschlechtert.

Eine Erhöhung der Probandenzahl ist sinnvoll und wird häufig gefordert. Dennoch ist diese Forderung vor dem Hintergrund des speziellen Erkrankungsprofils und der Altersstruktur eher unrealistisch. Um die Probandenzahl zu erhöhen sind Studien, die an mehreren Standorten durchgeführt werden

unumgänglich. Es stellt sich die Frage, ob evtl. die detaillierte Beschreibung von Einzelfällen hier ebenfalls weiterhelfen würde.

Die Ergebnisse zeigen, dass die untersuchten Parkinsonpatienten von einem zielgerichteten Gleichgewichtstraining in der Gruppe profitierten. Negative Effekte oder Nebenwirkungen wurden nicht beobachtet und werden auch in der Literatur nicht berichtet. Zusätzliche positive Nebeneffekte sind hingegen nicht auszuschließen. So führt das Training nebenbei zu einer Verminderung der sozialen Isolation. Einige Probanden berichteten, dass sie ohne die Teilnahme an der Studie ihre Wohnung gar nicht drei Mal pro Woche verlassen würden. Manche Probanden trafen sich vor oder nach dem Training in einem angrenzenden Cafe. Während des Trainings und in den Umkleidekabinen fanden rege Gespräche über die Erfahrungen mit der Krankheit statt. So wurde gleichzeitig die persönliche Auseinandersetzung mit der Erkrankung gefördert. Viele der teilgenommenen Probanden berichteten, dass sie ungern eine Parkinson-Selbsthilfe-Gruppe aufsuchten. Dort bestehen zum Teil große persönliche Barrieren. In der Trainingsgruppe wurde unter den Probanden gegenseitig Informationsmaterial und persönliche Erfahrungen ausgetauscht. Viele Probanden nutzten die Möglichkeit Fragen an den Untersuchungsleiter über die Erkrankung zu stellen. Insgesamt wurde das Training in der Gruppe sehr gut angenommen. Einen Einblick in den Trainingsalltag zeigt das Gedicht eines Teilnehmers im Anhang 10.9.

Weiterhin bietet die Durchführung eines Gleichgewichtstrainings in der Gruppe die Möglichkeit einem großen Mangel in der täglichen Praxis an erfahrenen und geschulten Therapeuten entgegenzuwirken. Viele Therapeuten behandeln in ihrer Praxis durchschnittlich drei Parkinsonpatienten pro Jahr. Ihnen fehlt es häufig an Erfahrungen und auch praktische Anleitungen für die Bewegungstherapie speziell von Parkinsonpatienten existieren kaum (Keus et al., 2009). Ein spezielles Gruppentraining zur Behandlung der posturalen Instabilität bei Parkinsonpatienten könnte diesem Mangel in der täglichen Praxis entgegen wirken. Weiter bestehen Mängel in einem schlecht vernetzten Versorgungskonzept. Der Beginn eines präventiven Trainings möglichst frühzeitig im Krankheitsverlauf konnte nachweislich die Krankheits-Progression verlangsamen sowie die funktionale Unabhängigkeit verlängern (Goodwin et al., 2008, Dibble et al., 2009, Fox et al., 2006). Tatsächlich werden die motorischen Störungen meist erst behandelt, wenn diese bereits zu ernsthaften Beeinträchtigungen geworden sind (King und Horak, 2009). Unzählige Publikationen beschäftigen sich damit einen Wert zu detektieren, an dem eine potentielle Sturzgefährdung abgelesen werden kann und aufgrund

dessen anschließend eine Bewegungstherapie verschrieben werden kann. Natürlich stehen dort ökonomische Interessen im Vordergrund. Da eine Entwicklung der posturalen Instabilität bei Parkinsonpatienten im Krankheitsverlauf antizipiert werden kann, wäre eine generelle Einführung eines Gleichgewichtstrainings in der Gruppe zu Beginn der Krankheitsmanifestation wünschenswert.

Betrachtet man die Befragung nach der gleichgewichtsbezogenen Selbstsicherheit als einen indirekten Indikator für die Angst zu stürzen und den mit dieser Angst verbundenen zunehmenden Immobilisation, konnte diese durch das Training nachweislich reduziert werden. Weiterhin fördert auch das spezielle Gleichgewichtstraining in gewissen Maßen den allgemeinen Fitness-Zustand der Probanden, wie die Untersuchung der Kraftfähigkeit der Beinextensoren zeigte. Häufig wurde in dem subjektiven Feedback nach der Interventionsphase von einem besseren Allgemeinzustand berichtet. Dies deckt sich mit den Beobachtungen von Dibble et al. (2009), der von einem Zusammenhang eines durchgeführten Krafttrainings bei Parkinsonpatienten und einer Verbesserung der Lebensqualität berichtet. Zusammenfassend werden daher entsprechende Empfehlungen formuliert.

**Empfehlungen für die Wissenschaft:**

Methodische Auseinandersetzung mit den Testverfahren zur Beurteilung der posturalen Stabilität sowie Erarbeitung einer geeigneten Testbatterie und Definition der posturalen Stabilität anhand eindeutiger, einheitlicher Parameter

Anwendung wiederholter Eingangs- und Ausgangsmessungen

Anwendung eines randomisierten und kontrollierten Studiendesigns

Durchführung von Multi-Center-Studien zur Erhöhung der Probandenanzahl

Verbesserung der Kenntnisse zur Belastungsgestaltung im Gleichgewichtstraining

**Empfehlungen für die Praxis:**

Einrichtung von regelmäßigen, mehrmals wöchentlich stattfindenden Parkinson-Sportgruppen in denen zielgerichtet und unter Anleitung von geschultem Personal trainiert wird

Beginn der Bewegungstherapie bereits zu Beginn der Krankheitsmanifestation

Regelmäßige Untersuchung der posturalen Stabilität durch Neurologen und Sporttherapeuten

## 10. Anhang

### 10.1. Einwilligungserklärung



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
CHEMNITZ

FAKULTÄT FÜR HUMAN- UND SOZIALWISSENSCHAFTEN

#### AUSWIRKUNGEN VON SENSOMOTORISCHEM TRAINING BEI MORBUS PARKINSON – EINE BIOMECHANISCHE ANALYSE

##### Einwilligungserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich insbesondere über die Ziele, den Ablauf samt Dauer und den Nutzen der Studie aufgeklärt wurde.

Die Probandeninformation habe ich gelesen und verstanden. Ich bin durch Frau Julia Augustijn M.A. über den Zweck, den Ablauf, die Bedeutung sowie die Vorteile und Risiken, die damit verbunden sein können, auch ausführlich und verständlich mündlich aufgeklärt worden. Alle meine Fragen sind zu meiner Zufriedenheit beantwortet worden. Ich habe eine Kopie der Probandeninformation und Einwilligungserklärung ausgehändigt bekommen. Ich hatte genügend Zeit, um meine Entscheidung zur Studienteilnahme zu überdenken und frei zu treffen.

Mir ist bekannt, dass ich jederzeit und ohne Angabe von Gründen meine Einwilligung zur Teilnahme an der Studie zurückziehen kann (mündlich oder schriftlich), ohne dass mir daraus Nachteile entstehen.

**Ich erkläre mich bereit, an der o. g. Studie freiwillig teilzunehmen.**

##### Vereinbarung zum Haftungsausschluss:

Eine Haftung wird lediglich für vorsätzliches und grob fahrlässiges Fehlverhalten übernommen. Für höhere Gewalt und von dem Probanden selbst verschuldete Unfälle innerhalb und außerhalb der Räumlichkeiten, auch auf den Zugängen und Zuwegen, haftet weder die Technische Universität Chemnitz noch die von ihr mit der Aufsicht beauftragten Personen. Dies gilt auch für sonstige Gefahren, die trotz Einhaltung der üblichen Sorgfalt nicht sofort erkannt werden können.

*Die Benutzung von den Versuchsgeräten, an die ich zuvor eingewiesen wurde, erfolgt auf eigene Gefahr, unbeschadet der Verpflichtung der Technischen Universität Chemnitz, diese in einem verkehrssicherem Zustand zu erhalten.*

Ich bin darauf hingewiesen worden, dass ich auf dem Weg von und zur Prüfstelle nicht unfallversichert bin.

Proband (Name in Druckbuchstaben): .....

Geburtsdatum: .....

Ort, Datum: .....

Unterschrift: .....

Ich habe das Aufklärungsgespräch geführt und die Einwilligung des Probanden eingeholt.

Projektleiter (Name in Druckbuchstaben): .....

Ort, Datum: .....

Unterschrift: .....



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
CHEMNITZ

FAKULTÄT FÜR HUMAN- UND SOZIALWISSENSCHAFTEN

### Datenschutzrechtliche Einwilligungserklärung

Mir ist bekannt, dass bei der Studie personenbezogene Daten von mir erhoben, gespeichert und ausgewertet werden sollen. Ich bin damit einverstanden, dass der Projektleiter sowie mit der Studie betraute Mitarbeiter Einblick in meine personenbezogenen Daten nehmen. Ich stimme zu, dass Daten, die meine Person betreffen (*hierzu gehören insbesondere auch Gesundheitsdaten aus meinen Gesundheitsunterlagen*), unter der Verantwortung des Projektleiters in verschlüsselter Form für Studien mit einer wissenschaftlich in Betracht kommenden Fragestellung gespeichert und verarbeitet werden. Die Einwilligung zur Erhebung und zur Verarbeitung meiner personenbezogenen Daten (*insbesondere der Angaben über meine Gesundheit*) ist unwiderruflich. Ich bin aber bereits darüber aufgeklärt worden, dass ich jederzeit die Teilnahme an der Studie beenden kann. Im Falle eines solchen Widerrufs meiner Einwilligung, an der Studie teilzunehmen, erkläre ich mich damit einverstanden, dass die bis zu diesem Zeitpunkt gespeicherten Daten weiterhin verwendet werden dürfen, soweit dies erforderlich ist. Insbesondere bin ich damit einverstanden, dass meine Daten zu Kontrollzwecken weiterhin gespeichert bleiben. Ich habe jedoch das Recht, deren Löschung zu verlangen, sofern gesetzliche Bestimmungen der Löschung nicht entgegenstehen. Ich bin mir bewusst, dass im Falle einer anonymisierten Speicherung meiner Daten deren Löschung auf meinen Wunsch hin nicht möglich ist. Unabhängig davon müssen alle Stellen, die meine personenbezogenen Daten (*insbesondere Gesundheitsdaten*) gespeichert haben, unverzüglich prüfen, inwieweit die gespeicherten Daten noch erforderlich sind, falls ich meine Einwilligung, an der Studie teilzunehmen, widerrufe. Nicht mehr benötigte Daten sind unverzüglich zu löschen.

Die Einhaltung der datenschutzrechtlichen Vorschriften wurde mir ausdrücklich zugesichert, insbesondere des Sondertatbestandes des § 36 SächsDSG zur Verarbeitung personenbezogener Daten zu Zwecken der wissenschaftlichen Forschung.

Die Weitergabe der erhobenen Daten an Dritte (das heißt Personen, die nicht an der Technischen Universität Chemnitz zur Geheimhaltung verpflichtet sind), die Auswertung sowie die Veröffentlichung der Daten erfolgt ausschließlich in pseudonymisierter Form (das heißt, dass ein Personenbezug allein anhand dieser Daten nicht hergestellt werden kann).

Proband (Name in Druckbuchstaben): .....

Geburtsdatum: .....

Ort, Datum: .....

Unterschrift: .....

## 10.2. Hausärztliche Einverständniserklärung



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
CHEMNITZ

FAKULTÄT FÜR HUMAN- UND SOZIALWISSENSCHAFTEN

An die

**Hausärzte der teilnehmenden Probanden  
der Parkinsonstudie**

**Institut für Sportwissenschaft  
Prof. Bewegungswissenschaft**

**Julia Augustijn M.A. (Doktorand)**

ThüringerWeg 05  
09126 Chemnitz  
Tel.: 0371-531 36957  
Fax: 0371-531 27629  
E-Mail: julia.augustijn@hsw.tu-chemnitz.de

Betr.: Teilnahme Ihres Patienten an der an der TU Chemnitz stattfindenden Trainingsstudie „Sensomotorisches Training mit Parkinson-Patienten“.

Sehr geehrte Damen und Herren,

Im Rahmen einer Promotionsarbeit findet ab September 2010 am Institut für Sportwissenschaft der Technischen Universität Chemnitz eine zwölfwöchige Trainingsstudie statt, deren Ziel es ist die Auswirkungen eines sensomotorischen Trainingsprogramms auf die Trainierbarkeit des Gleichgewichtsverhaltens bei Parkinson-Patienten zu überprüfen (3x pro Woche, 45-60min.). Unter dem Oberbegriff „Sensomotorisches Training“ sind dabei überwiegend Gleichgewichts- und Standstabilisationsübungen zu verstehen.

Mit allen Probanden werden Kontrollmessungen vor und nach der Trainingsphase durchgeführt. Hier soll das isometrische Kraftanstiegsverhalten der Beinmuskulatur erfasst werden (Kontraktionsdauer: 2s). Ebenso findet eine Messung der Standstabilität, auf einem umgebauten Posturomed® (Firma Haider Bioswing, Pullenreuth) statt. Hierbei wird das Reflexverhalten (EMG) und damit die Kompensationsmechanismen der Parkinson-Patienten im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne Trainingsintervention getestet. Der Proband wird dabei über ein Geschirr (an der Decke befestigt) gesichert.

**Die Versuchspersonen dürfen keine kardiovaskulären, orthopädischen oder weitere neurologische Erkrankungen neben dem Morbus Parkinson aufweisen, die einer sensomotorischen Trainingsintervention entgegen stehen würden.** Sollten Sie aus medizinischer Sicht begründete Bedenken haben und von einer Partizipation Ihres Patienten an der Trainingsstudie abraten, so bitten wir Sie uns dies mitzuteilen.

Die Patientin/der Patient leidet an folgenden internistischen und/oder orthopädischen Erkrankungen:

Aus hausärztlicher Sicht bestehen keine Bedenken für die Teilnahme von \_\_\_\_\_ am Training.

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum, Unterschrift des Hausarztes

Stempel

Wir danken Ihnen für Ihre Kooperation und verbleiben mit freundlichen Grüßen.

Julia Augustijn M.A.

Prof. T.L. Milani

### 10.3. Probandentabelle

Tab. 31: Auflistung der einzelnen Probanden

Code [-]	Geschlecht [m/w]	Alter [Jahren]	Erstdiagnose [Jahren]	Syndrom [-]	UPDRS [-]	H&Y [-]	Medikation [-]
P002	w	61	7	PPS	16	3	L, DA, A
P003	m	76	2	IPS	26	3	L, DA, MH
P004	m	55	7	IPS	26	2	L, DA
P005	w	72	6	IPS	30	2	L, DA
P013	m	74	1	IPS	21	2	L
P021	m	65	12	IPS	40	3	L, DA
P022	m	60	3	PPS	20	2	DA
P030	m	70	4	IPS	26	1	L, DA
P031	m	79	10	IPS	43	3	L, A, MH
P034	m	58	5	IPS	48	3	L
P036	m	58	5	IPS	23	1	DA, A, MH
P037	m	78	4	IPS	32	3	L
P039	m	75	3	IPS	40	4	L, DA, A, Ach
P045	m	52	1	IPS	13	2	DA
P052	m	68	2	PPS	27	1	A, NA
P001	m	62	4	IPS	15	2	DA
P009	w	73	10	SPS	33	3	L, DA
P010	m	72	10	IPS	19	2	L, NA, CH
P011	w	63	1	IPS	29	2	DA
P012	m	71	4	IPS	29	2	L, DA
P018	w	67	1	IPS	14	2	DA
P023	m	59	1	IPS	9	1	DA
P026	m	80	7	IPS	24	2	L, DA
P029	m	62	2	IPS	34	3	DA
P032	m	65	11	IPS	35	3	L, DA, MH
P038	m	71	7	IPS	37	3	L, DA, A
P040	m	58	2	IPS	32	3	DA
P048	m	69	8	IPS	48	3	L, DA, A, MH

L = Levodopa, DA = Dopaminagonisten, A = Amantadin, MH = MAO-B-Hemmer, Ach = Anticholinergika, NA = NMDA-Antagonisten, CH = COMT-Hemmer

## 10.4. Berg Balance Test

Modifizierte Reihenfolge der deutschen Übersetzung von Scherfer et al.:

### 1. Vom Sitzen zum Stehen

Bitte stehen Sie auf! Versuchen Sie, Ihre Hände nicht zur Unterstützung zu benutzen.

kann aufstehen ohne die Hände einzusetzen und sich selbstständig stabilisieren	4	
kann selbstständig mit Einsatz der Hände aufstehen	3	
kann nach einigen Versuchen mit Einsatz der Hände aufstehen	2	
braucht minimale Hilfe zum Aufstehen oder zum Stabilisieren	1	
braucht mäßige bis maximale Hilfe um aufzustehen	0	
Bemerkungen:		

### 2. Vom Stehen zum Sitzen

Bitte setzen Sie sich hin!

setzt sich sicher mit minimalem Einsatz der Hände hin	4	
kontrolliert das Hinsetzen mit den Händen	3	
berührt mit Rückseite der Beine den Stuhl, um das Hinsetzen zu kontrollieren	2	
setzt sich selbstständig aber unkontrolliert hin	1	
braucht Hilfe um sich hinzusetzen	0	
Bemerkungen:		

### 3. Transfers

Bitte setzen Sie sich auf den anderen Stuhl! - Bitte setzen Sie sich wieder auf den alten Stuhl!

kann den Transfer sicher mit minimalem Einsatz der Hände ausführen	4	
kann den Transfer sicher ausführen, muss aber die Hände einsetzen	3	
kann den Transfer mit verbaler Anweisung und/oder weniger ausführen	2	
braucht eine Person zur Hilfestellung	1	
braucht zwei Personen zur Hilfestellung oder Supervision um sicher zu sein	0	
Bemerkungen:		

### 4. Abwechselnd die Füße auf eine Fußbank stellen (Stoppuhr)

Bitte stellen Sie abwechselnd einen Fuß auf die Fußbank! Wiederholen Sie dies, bis jeder Fuß viermal auf der Fußbank stand!

kann sicher und selbstständig stehen und innerhalb von 20 s. die 8 Stufen absolvieren	4	
kann sicher und selbstständig stehen und in mehr als 20 s. die 8 Stufen absolvieren	3	
kann 4 Stufen ohne Hilfe unter Supervision	2	
kann mehr als 2 Stufen mit minimaler Hilfe absolvieren	1	
braucht Hilfe um nicht zu fallen/schon der Versuch scheitert	0	
Bemerkungen:		

### 5. Stehen ohne Unterstützung (Stoppuhr)

Bitte stehen Sie 2 Minuten so ruhig wie möglich ohne sich festzuhalten!

kann 2 min. sicher stehen	4	
kann 2 min. stehen, aber weniger sicher	3	
kann 30 s. ohne Unterstützung stehen	2	
braucht einige Versuche, um 30 s. ohne Unterstützung zu stehen	1	
kann nicht ohne Unterstützung 30 s. stehen	0	
Bemerkungen:		

Falls der Proband 2 min. ohne Unterstützung stehen kann, geben Sie die volle Punktzahl für Item 6 („Sitzen“) und fahren Sie mit Item 7 fort.

### 6. Sitzen ohne Unterstützung

Bitte sitzen Sie 2 min. mit verschränkten Armen! (wichtig: Arme liegen über Kreuz)

kann sicher und stabil 2 min. sitzen	4	
kann 2min. sitzen, aber weniger sicher	3	
kann 30 s. sitzen	2	
kann 10 s. sitzen	1	
kann nicht ohne Unterstützung 10 s. sitzen	0	
Bemerkungen:		

### 7. Stehen mit geschlossenen Augen (Stoppuhr)

Bitte schließen Sie die Augen und stehen Sie so ruhig wie möglich!

kann 10 s. sicher stehen	4	
kann 10 s. stehen, aber weniger sicher	3	
kann 3 s. stehen	2	
kann nicht die Augen 3 s. geschlossen halten, steht aber stabil	1	
braucht Hilfe um nicht zu fallen	0	
Bemerkungen:		
Tatsächliche Dauer– maximal 30 s.!		

### 8. Mit ausgestreckten Armen nach vorne langen

Heben Sie bitte beide Arme in die Waagerechte! Ballen Sie die Hand zur Faust und reichen Sie soweit Sie können nach vorne ohne die Fersen vom Boden abzuheben. (2 Versuche)

kann sicher mehr als 25 cm nach vorne reichen	4	
kann sicher mehr als 12,5 cm nach vorne reichen	3	
kann sicher mehr als 5 cm nach vorne reichen	2	
reicht nach vorne, aber weniger sicher	1	
verliert das Gleichgewicht beim Versuch/braucht externe Unterstützung	0	
Bemerkungen:		
Tatsächliche Weite 1. und 2. Versuch:		

### 9. Stehen mit geschlossenen Füßen (Stoppuhr)

Stellen Sie die Füße dicht nebeneinander und stehen Sie so ruhig wie möglich ohne sich festzuhalten!

kann selbstständig Füße nebeneinander stellen und 1 min. sicher stehen	4	
kann selbstständig Füße nebeneinander stellen und 1min. stehen, aber weniger sicher	3	
kann selbstständig Füße nebeneinander stellen und die Position 30 s. halten	2	
braucht Hilfe um die Position einzunehmen, kann aber 15 s. mit geschlossenen Füßen stehen	1	
braucht Hilfe um die Position einzunehmen, kann diese nicht für 15 s. halten	0	
Bemerkungen:		

### 10. Gegenstand vom Boden aufheben

Heben Sie bitte den Gegenstand auf, der vor Ihren Füßen liegt!

kann den Gegenstand sicher und mit Leichtigkeit aufheben	4	
kann den Gegenstand aufheben, aber weniger sicher	3	
kann den Gegenstand nicht aufheben, reicht aber bis auf 2-5cm an den Schuh heran und hält selbstständig das Gleichgewicht	2	
kann den Schuh nicht aufheben und braucht beim Versuch Supervision	1	
schon der Versuch scheitert/braucht Hilfe um das Gleichgewicht nicht zu verlieren bzw. nicht zu fallen	0	
Bemerkungen:		

### 11. Stehen mit einem Fuß vor dem anderen (Tandemstand) (Stoppuhr - Demonstrieren!)

Stellen Sie einen Fuß direkt vor dem anderen und stehen Sie so ruhig wie möglich! Wenn Sie das Gefühl haben, dass Sie einen Fuß nicht direkt vor den anderen stellen können, versuchen Sie einen Schritt weit genug nach vorn zu machen, so dass **die Ferse des vorderen Fußes vor den Zehen des hinteren Fußes steht!** (Die Länge des Schrittes sollte die Länge des anderen Fußes übertreffen. Die Standbreite sollte ungefähr der normalen Schrittbreite entsprechen.)

kann selbstständig die Füße in den Tandemstand bringen und 30 s. halten	4	
kann selbstständig einen Fuß vor den anderen stellen und diese Position 30 s. halten	3	
kann selbstständig einen kleinen Schritt nach vorn machen und diese Position 30 s. halten	2	
braucht Hilfe für einen Schritt, kann aber Position 15 s. halten	1	
verliert Gleichgewicht während des Schrittes oder Stehens	0	
Bemerkungen:		
Welcher Fuß steht vorn?		

### 12. Sich umdrehen, um nach hinten zu schauen

Schauen Sie bitte über Ihre linke Schulter direkt nach hinten auf das Poster! Wiederholen Sie dies zur rechten Seite!

schaut hinter sich über beide Seiten bei guter Gewichtsverlagerung	4	
schaut nur über eine Seite nach hinten und zeigt weniger Gewichtsverlagerung auf der anderen Seite	3	
dreht sich nur zur Seite, aber bewahrt das Gleichgewicht	2	
sehr unsicheres Umdrehen	1	
braucht Hilfe um das Gleichgewicht nicht zu verlieren bzw. nicht zu fallen	0	
Bemerkungen:		

**13. Sich um 360° drehen (Stoppuhr)**

Drehen Sie sich bitte einmal um ihre eigene Achse komplett im Kreis! Halten Sie an! Dann drehen Sie sich um die eigene Achse in die andere Richtung!

kann sich sicher um 360° in 4 s. oder weniger drehen	4	
kann sich nur in einer Richtung sicher um 360° in 4 s. oder weniger drehen	3	
kann sich sicher um 360° drehen, aber langsam	2	
sehr unsicheres Umdrehen	1	
braucht Hilfe beim Drehen	0	
Bemerkungen:		
Anzahl der benötigten Schritte <b>rechts</b> herum:		
Anzahl der benötigten Schritte <b>links</b> herum:		

**14. Auf einem Bein stehen (Einbeinstand) (Stoppuhr)**

Stehen Sie auf einem Bein, solange Sie können, ohne sich festzuhalten!

kann ein Bein selbstständig anheben und Position länger als 10 s. halten	4	
kann ein Bein selbstständig anheben und Position für 5 - 10 s. halten	3	
kann ein Bein selbstständig anheben und die Position 3 – 5 s, halten	2	
versucht ein Bein anzuheben, kann Position nicht 3 s. lang beibehalten, bleibt aber selbstständig stehen	1	
schon der Versuch scheitert oder Proband braucht Hilfe nicht zu fallen	0	
Bemerkungen:		
Welches Bein ist das gewählte Standbein (vom Probanden aus)?		
Tatsächliche Dauer- maximal 30 s.!		

## 10.5. Activities-Specific Balance Confidence Scale

Hinweise: In diesem Fragebogen geht es darum, wie zuversichtlich Sie sind, die nachfolgenden Aktivitäten durchführen zu können ohne dabei aus dem Gleichgewicht zu geraten. Wenn Sie die Aktivität z.Zt. nicht ausführen (z.B. wenn jemand ihre Einkäufe erledigt), versuchen sie sich vorzustellen, wie zuversichtlich Sie *wären*, wenn Sie die Aktivität ausführen *würden*. Wenn Sie normalerweise eine Gehhilfe verwenden oder sich irgendwo festhalten, während Sie diese Aktivität durchführen, dann bewerten Sie ihre Zuversichtlichkeit, als ob Sie diese Hilfsmittel verwenden würden. Wir möchten Sie bitten, *alle* Aktivitäten auf einer Skala, die von 0 – 100 % reicht, abzuschätzen. Es gibt dabei keine „richtigen“ oder „falschen“ Angaben, es kommt auf Ihr Erleben an. Am besten tragen Sie den entsprechenden Prozentwert ein, der Ihrer ersten Einschätzung entspricht.

***„Wie zuversichtlich sind Sie, dass Sie ihr Gleichgewicht halten können bzw. nicht ins Wanken geraten, wenn sie ...“***

1. „... auf den Zehenspitzen stehen, um nach einem Gegenstand zu greifen, der sich über Kopfhöhe befindet?“

0 %	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100 %
überhaupt nicht zuversichtlich										absolut zuversichtlich

2. „... auf einem Stuhl stehen, um nach einem Gegenstand zu greifen?“  
...
3. „... Sie sich in einem vollen Kaufhaus fortbewegen, wo viele Menschen schnell an Ihnen vorbeigehen?“  
...
4. „... von Personen angestoßen werden, während Sie im Kaufhaus herumgehen?“  
...
5. „... mit zahlreichen Einkaufsstüten/Paketen auf eine Rolltreppe bzw. von einer Rolltreppe steigen ohne sich dabei am Geländer festhalten zu können?“  
...
6. „... auf vereisten Gehwegen gehen?“

## 10.6. Heimtrainingsplan „Standfest“

- Führen Sie zu ihrer eigenen Sicherheit die Übungen hinter einer Stuhllehne, neben einer Wand oder mit Unterstützung eines Partners aus!
- Führen Sie die Übungen zunächst mit Festhalten, anschließend wenn möglich ohne Festhalten aus!
- Versuchen Sie mit jeder Wiederholung die Haltedauer zu steigern (z.B. von 8s auf 9s ohne festhalten)!
- Gehen Sie zwischen den Übungen für 1-2min. locker auf der Stelle!

### 1. Übung: Sitzen auf dem Stuhl

*Achten Sie auf eine aufrechte Sitzposition u. 30s Pause zwischen den Wiederholungen!*

1. Arme locker hängen lassen
  - rechtes/linkes Bein anheben
  - 15s. halten
  - Bein wechseln
2. Arme zur Seite ausstrecken
  - rechtes/linkes Bein anheben
  - 15s. halten
  - Bein wechseln
3. Arme nach oben ausstrecken
  - rechtes/linkes Bein anheben
  - 15s. halten
  - Bein wechseln

*Wiederholen Sie die Übungen 1.1 bis 1.3 und zeichnen Sie mit dem angehobenen Bein mit einem Igelball/Socken zunächst einen Schmetterling, dann eine Schnecke auf den Boden!*



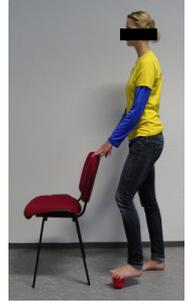
### 2. Übung: Zehen-/Fersenstand

*Wechseln Sie zwischen Ballen- und Zehenstand!*

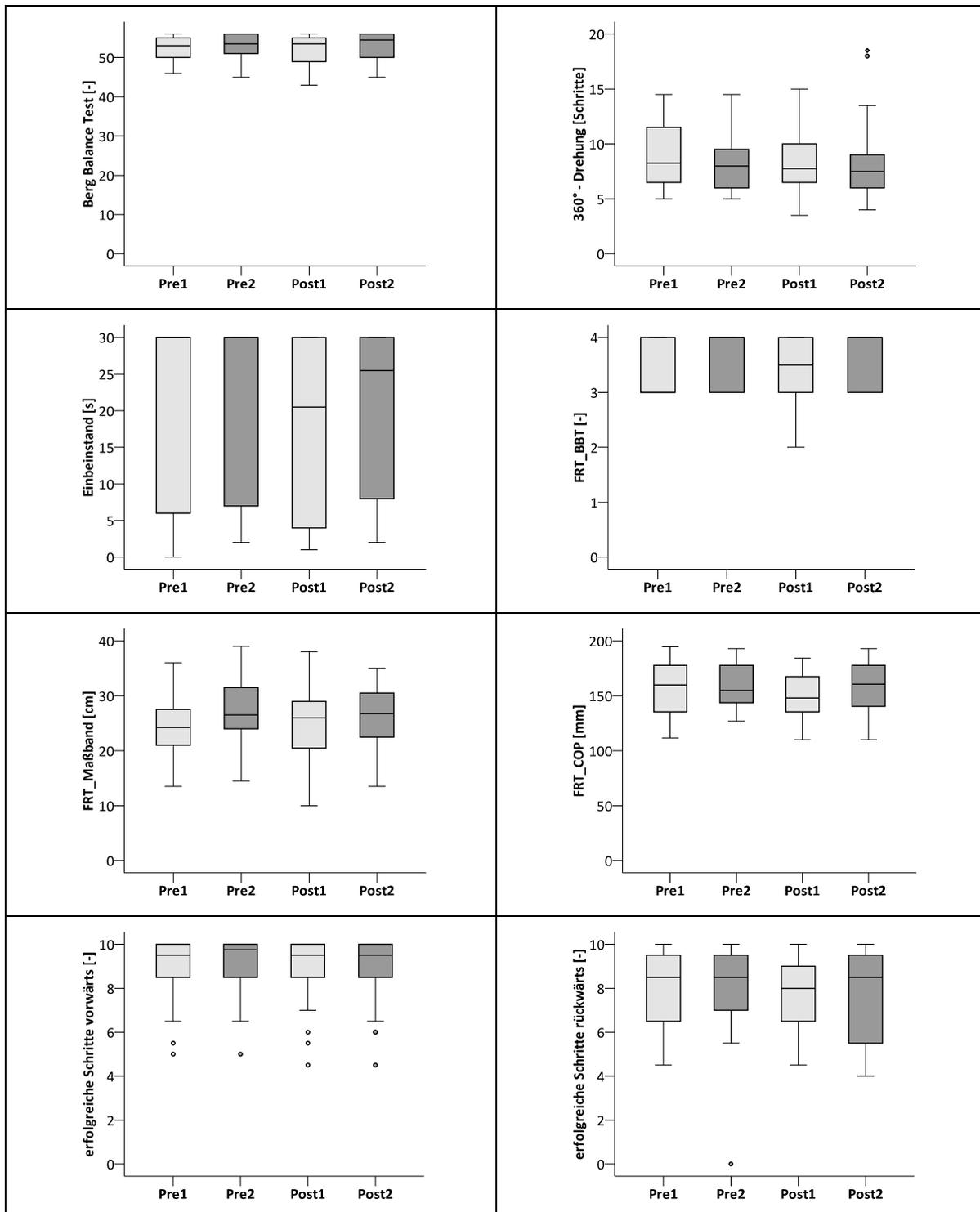
- 10 Wechsel
- 30s Pause
- 5 x wiederholen

*Wiederholen Sie die Übung auf einem Kissen!*

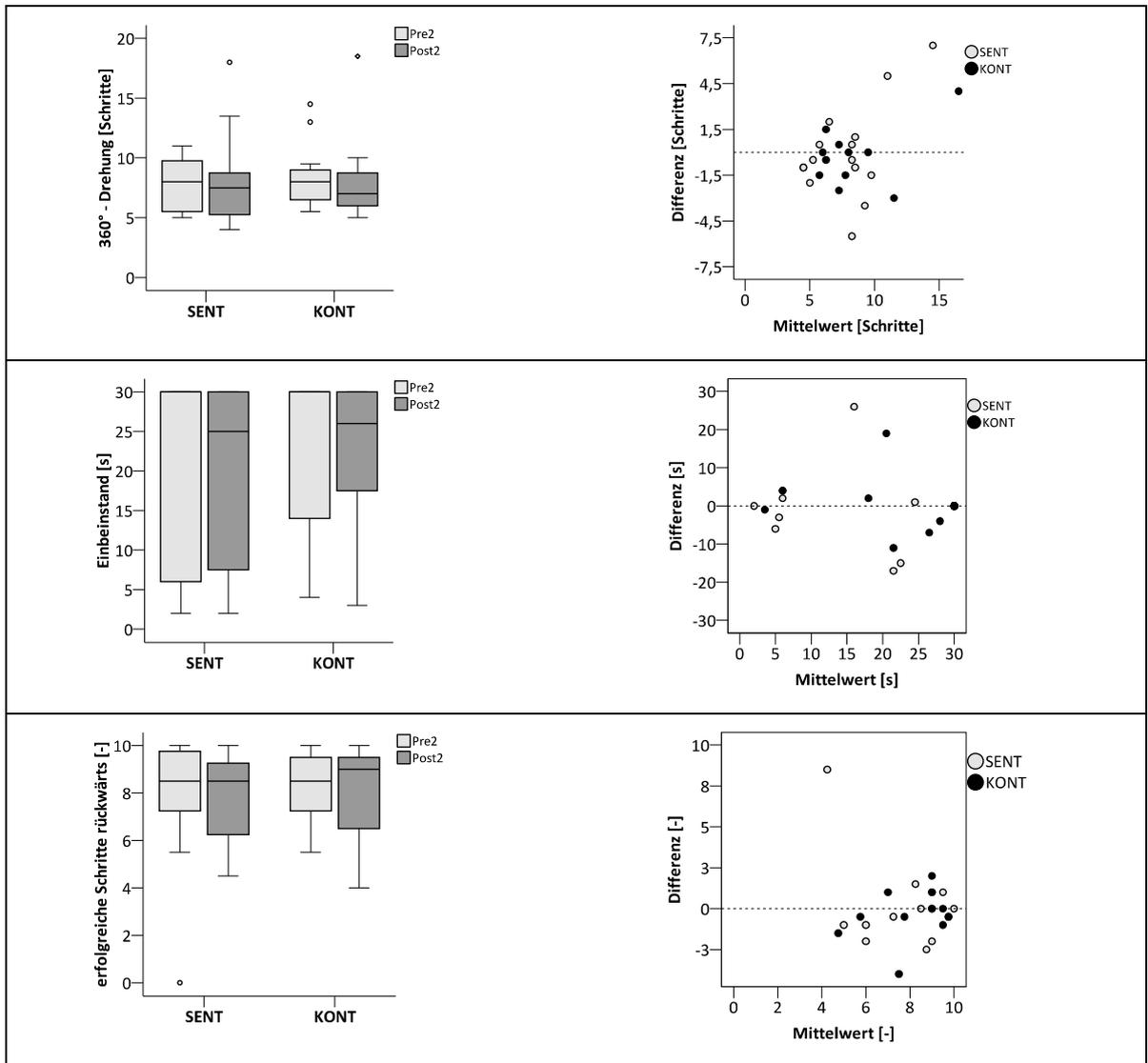


<p><b>3. Übung: Storchengang</b>  <i>Gehen Sie im Storchengang durch den Raum!</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 Schritte</li> <li>• 30s. Pause</li> <li>• 5 x wiederholen</li> </ul>	
<p><b>4. Übung: Figuren zeichnen</b>  <i>Zeichnen Sie im Stand mit einem Igelball/Socken zunächst einen Schmetterling, dann eine Schnecke auf den Boden!</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• linkes/rechtes Bein</li> <li>• 30s Pause</li> <li>• 3 x wiederholen</li> </ul>	
<p><b>5. Übung: Einbeinstand</b>  <i>Stellen Sie sich auf das linke/rechte Bein!</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 15s halten</li> <li>• 30s. Pause</li> <li>• 3 x wiederholen</li> </ul> <p><i>Wiederholen Sie die Übung auf einem Kissen!</i></p>	
<p><b>6. Übung Tandemstand</b>  <i>Begeben Sie sich in den Tandemstand!</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• linkes/rechtes Bein vor</li> <li>• 15s halten</li> <li>• 30s. Pause</li> <li>• 3 x wiederholen</li> </ul> <p><i>Wiederholen Sie die Übung auf einem Kissen!</i></p>	
<p><b>7. Übung: Pfadgehen</b>  <i>Legen Sie einen Pfad aus Socken, Kissen oder Seilen! Balancieren Sie im Tandem-Walk auf dem ausgelegten Pfad!</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pfadlänge: ca. 3m</li> <li>• 30s. Pause</li> <li>• 5 x wiederholen</li> </ul>	

### 10.7. Alltagsmotorische Testverfahren



**Abb. 28: Boxplots von Test I und Test II der Pre- und Post-Messungen der alltagsmotorischen Testverfahren**



**Abb. 29: Von oben nach unten: Boxplot und Differenzenplot der benötigten Schritte während einer 360° - Drehung, der erreichten Zeitdauer im Einbeinstand sowie der erfolgreichen Schritte beim Tandemwalk-Test in Rückwärts-Richtung**

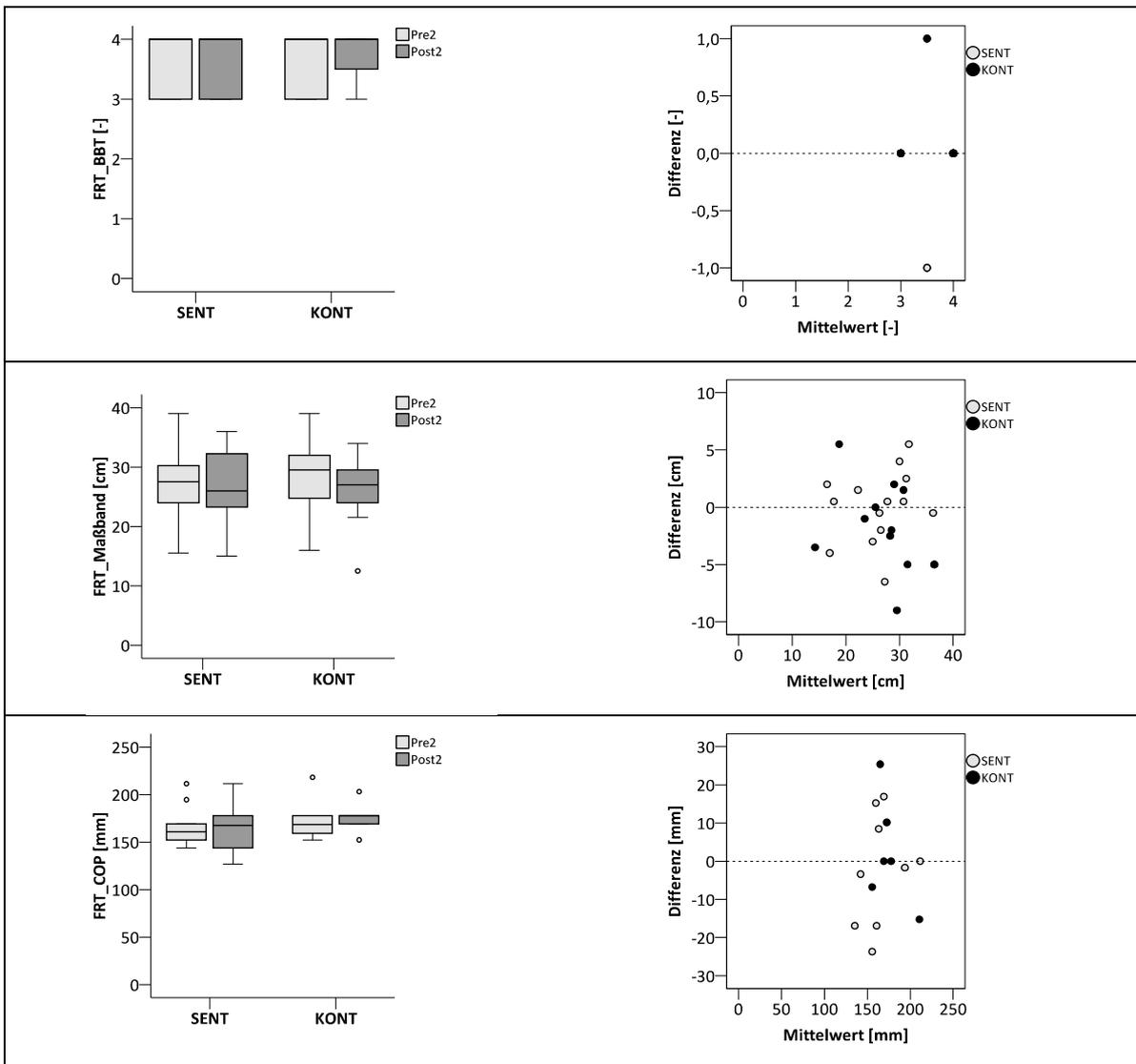
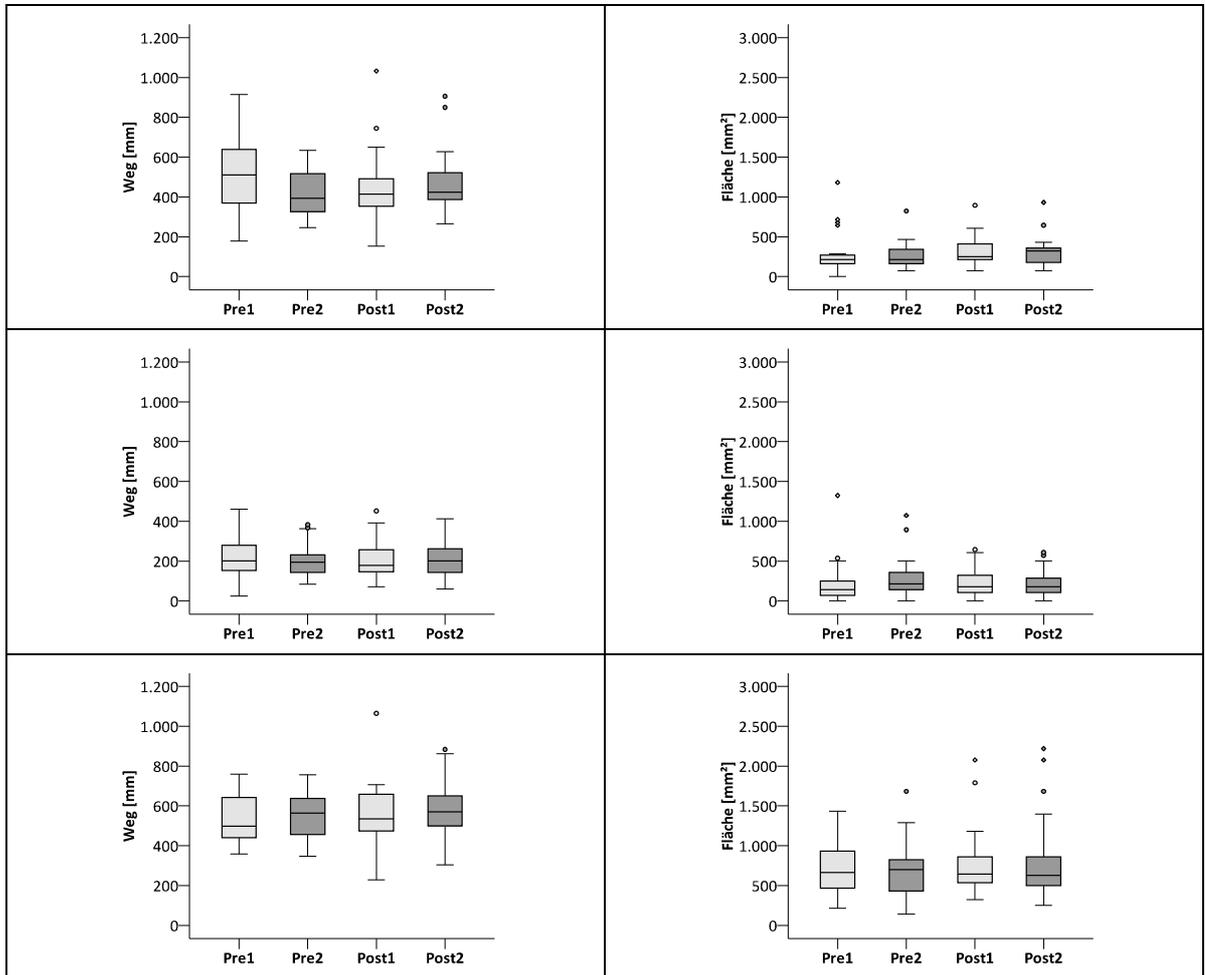
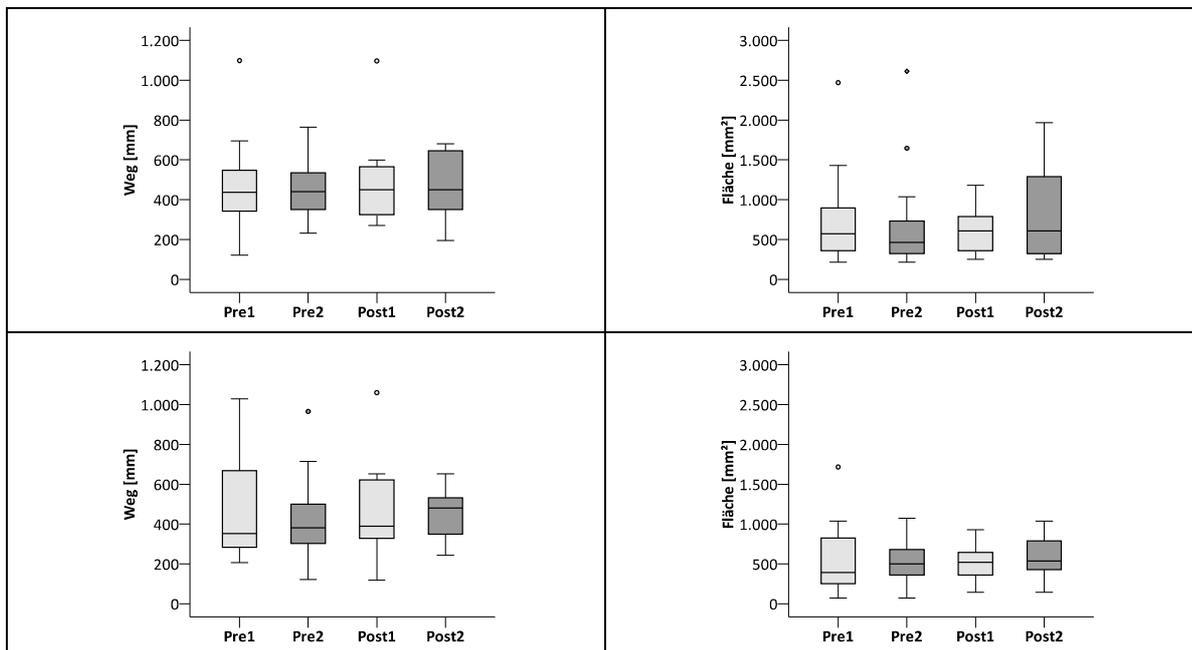


Abb. 30: Boxplot und Differenzenplot der Beurteilung des Functional Reach Tests durch den Berg Balance Test, durch das Ablesen vom Maßband sowie durch die Reichweite des COPs

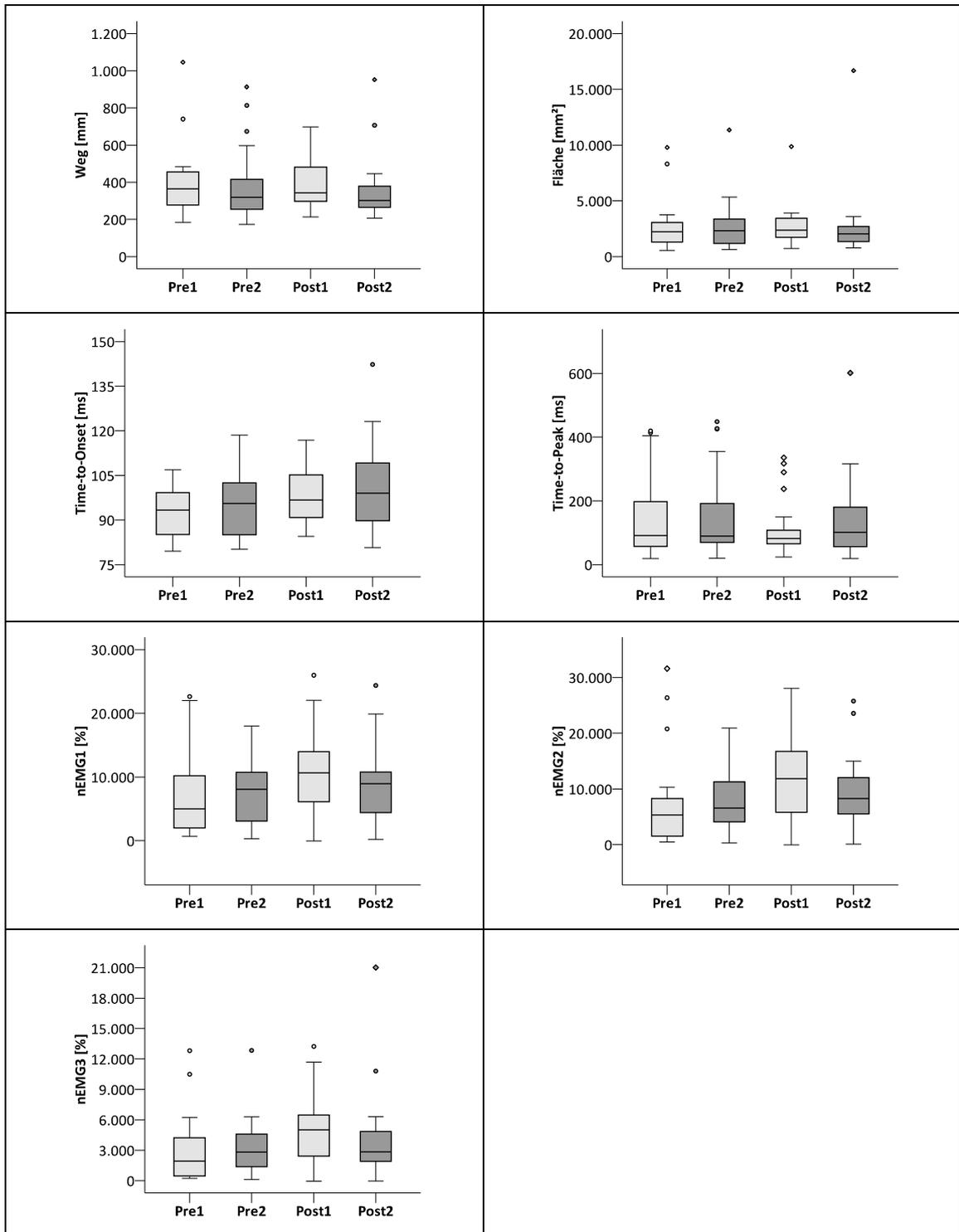
### 10.8. Biomechanische Testverfahren



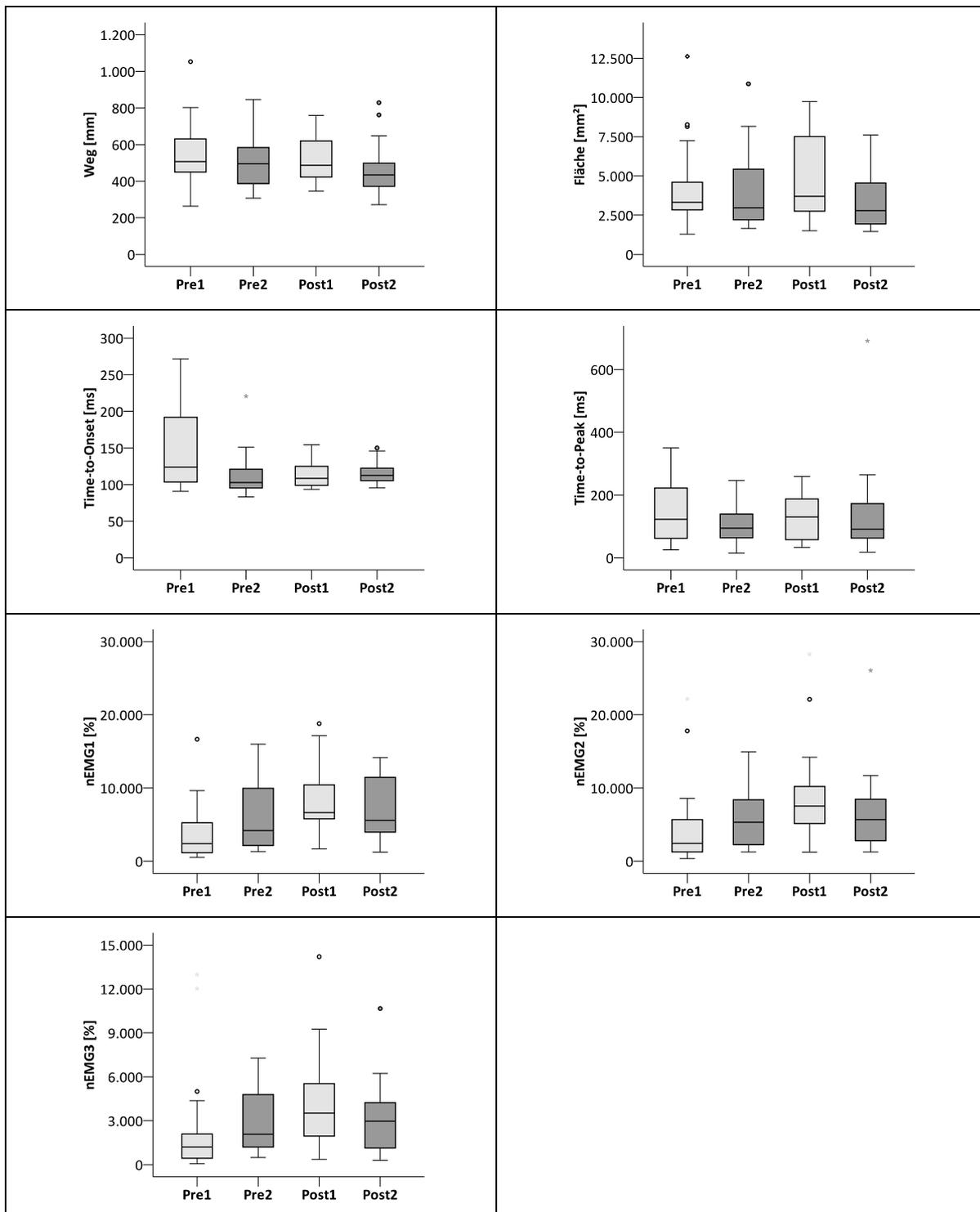
**Abb. 31: Boxplots von Test I und Test II der Pre- und Post-Messungen der Testvariablen der statischen Posturographie, von oben nach unten: im normalen Stand, im Stand mit geschlossenen Augen, im Stand mit enger Fußstellung**



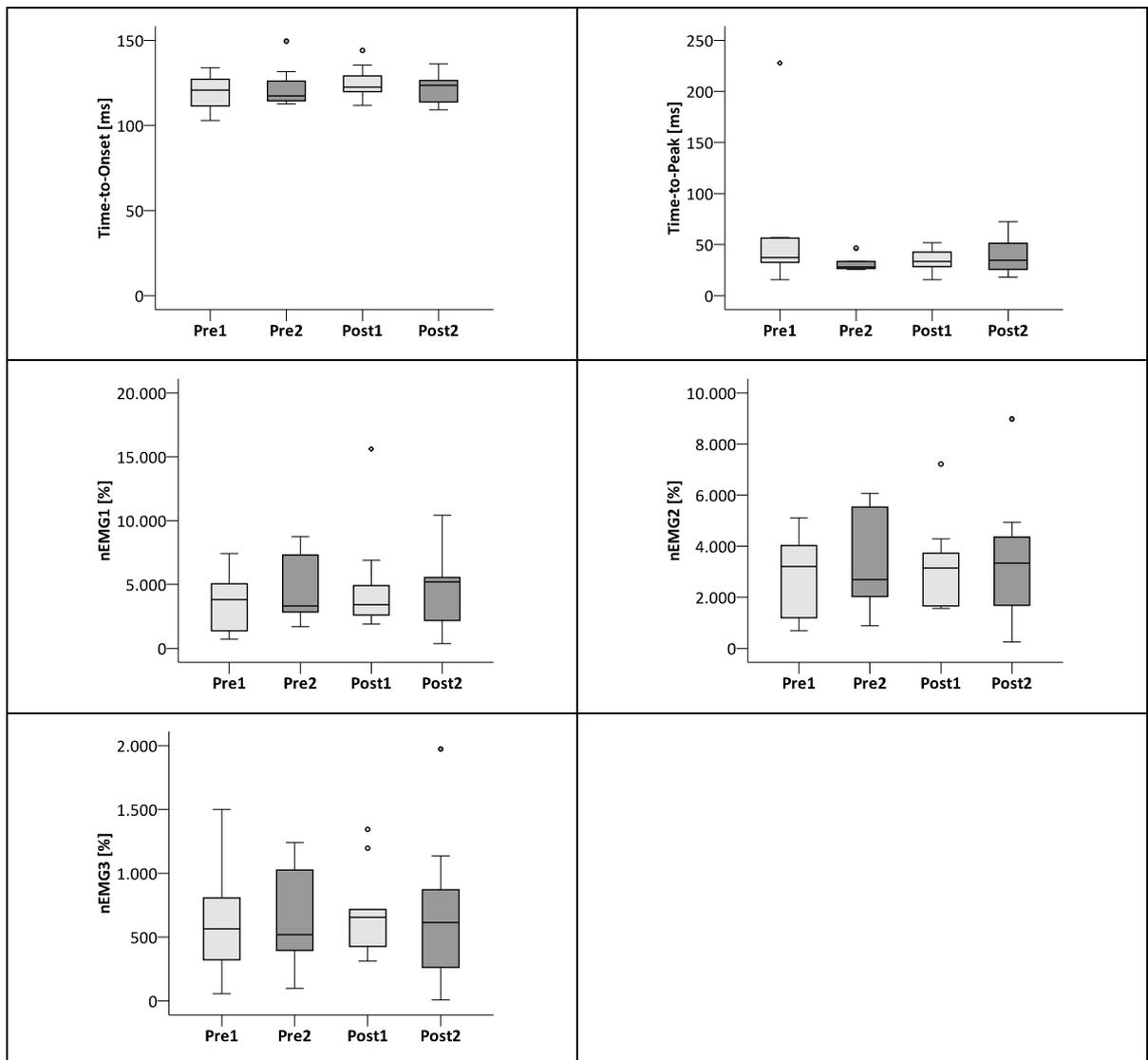
**Abb. 32: Boxplots von Test I und Test II der Pre- und Post-Messungen der Testvariablen der statischen Posturographie, von oben nach unten: im Tandemstand und im Einbeinstand**



**Abb. 33: Boxplots von Test I und Test II der Pre- und Post-Messungen der COP-Parameter und der EMG-Parameter (M. tibialis anterior) der dynamischen Posturographie während einer Perturbation nach anterior**



**Abb. 34: Boxplots von Test I und Test II der Pre- und Post-Messungen der COP-Parameter und der EMG-Parameter (M. tibialis anterior) der dynamischen Posturographie während einer Perturbation nach lateral**



**Abb. 35: Boxplots von Test I und Test II der Pre- und Post-Messungen der COP-Parameter und der EMG-Parameter (M. gastrocnemius medialis) der dynamischen Posturographie während einer Perturbation nach lateral**

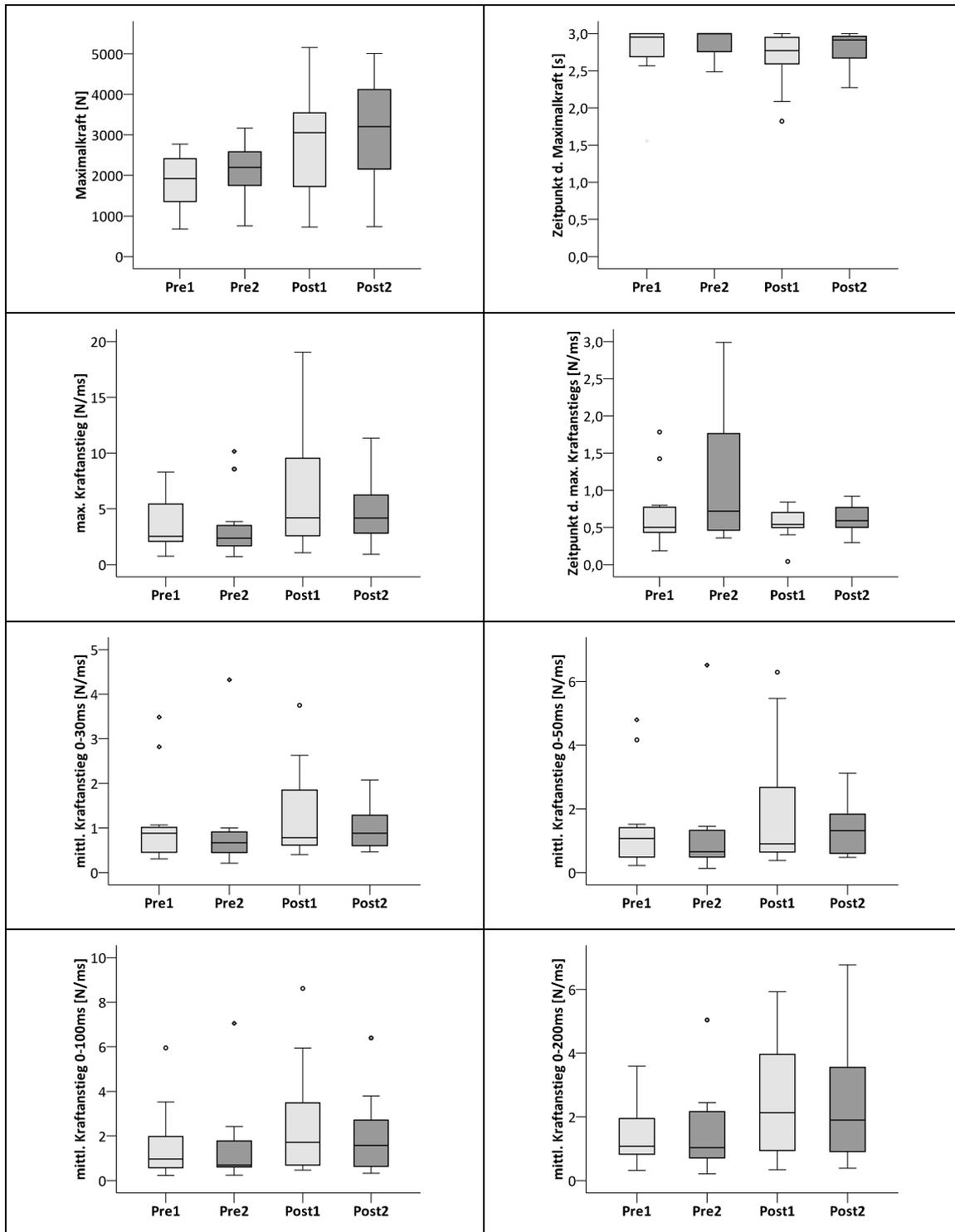
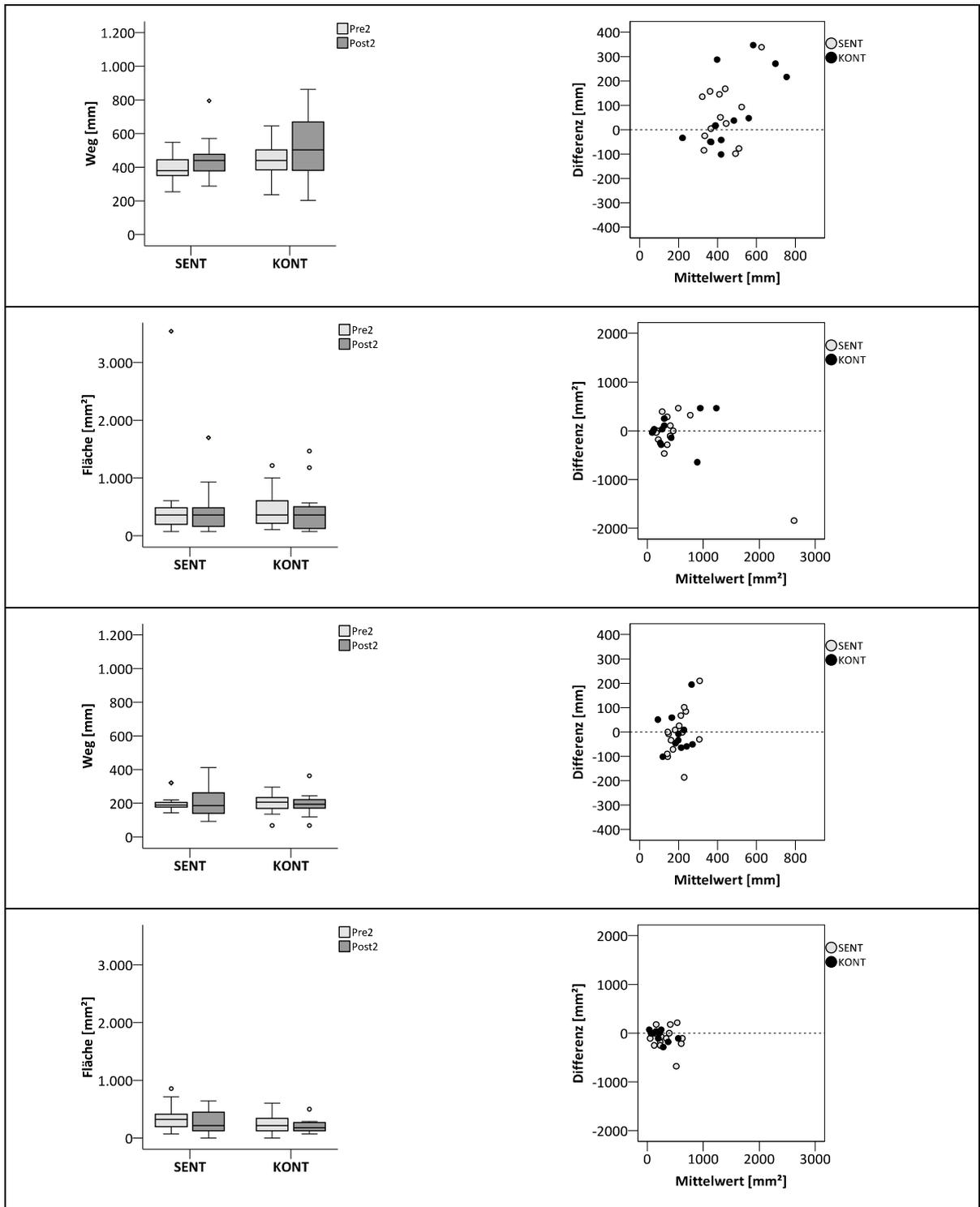
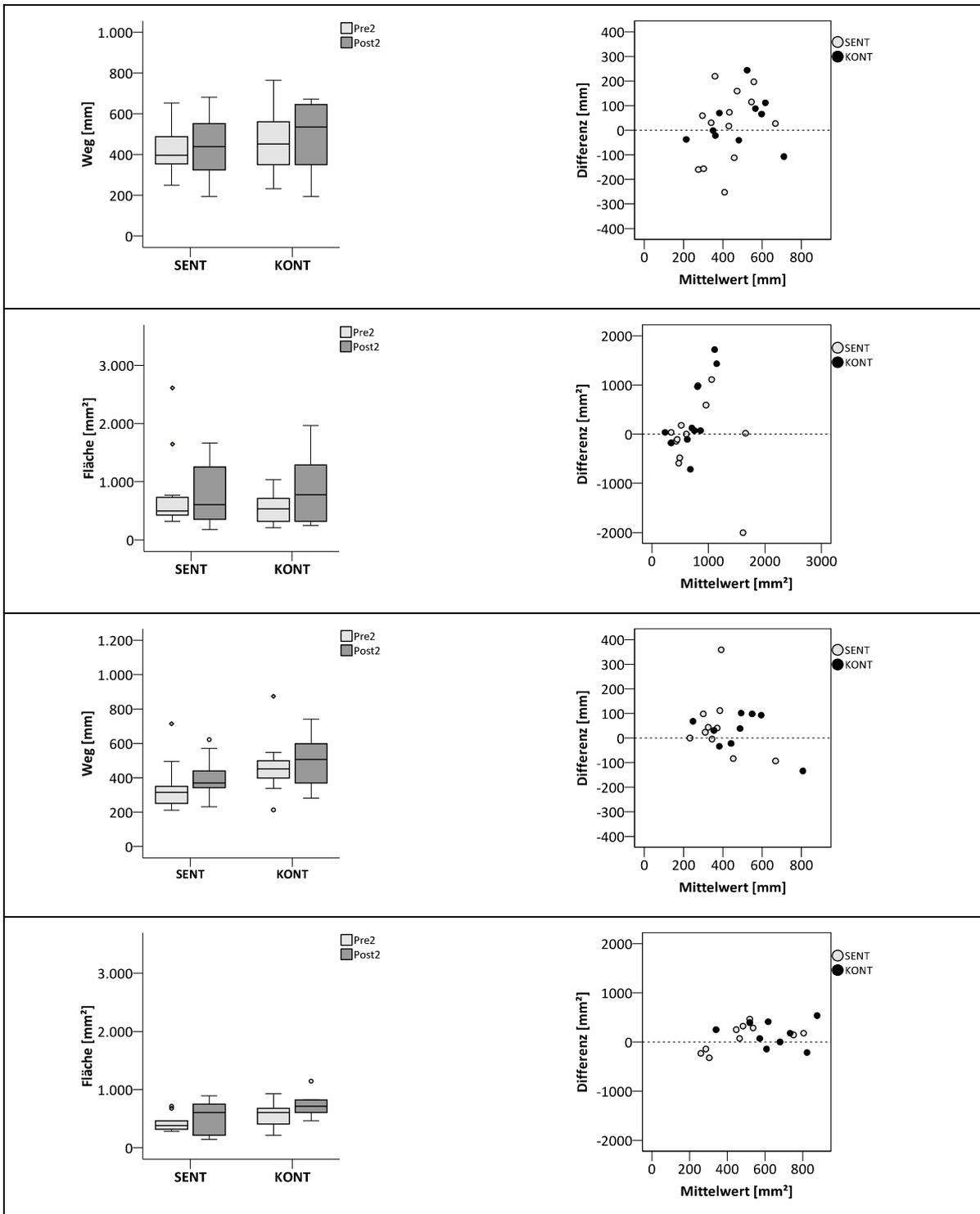


Abb. 36: Boxplots von Test I und Test II der Pre- und Post-Messungen der Testvariablen der isometrischen Kraftmessung



**Abb. 37: Von oben nach unten: Boxplot und Differenzenplot des COP-Weges und der COP-Fläche im normalen Stand und im Stand mit geschlossenen Augen.**



**Abb. 38: Von oben nach unten: Boxplot und Differenzenplot des COP-Weges und der COP-Fläche im Tandemstand und im Einbeinstand.**

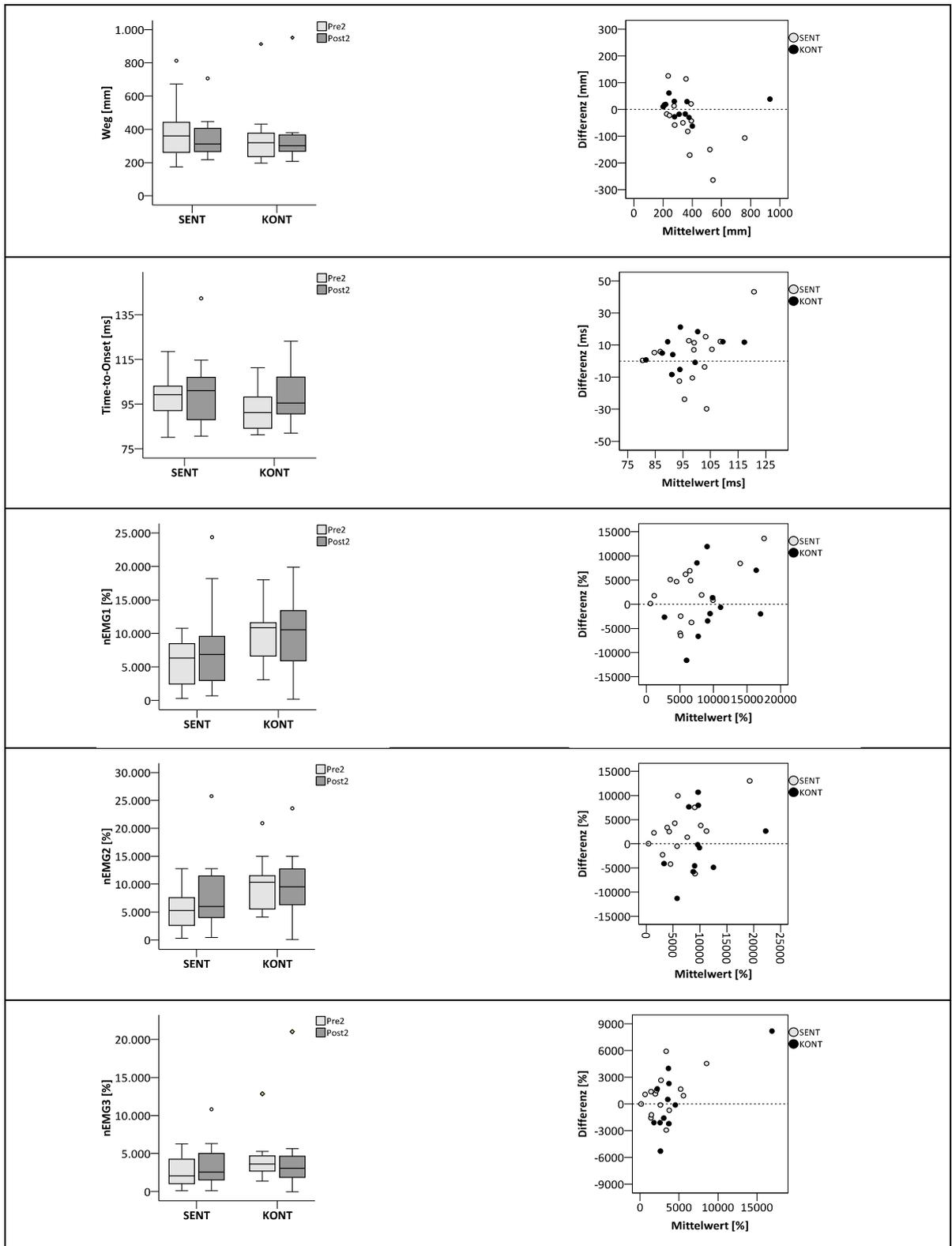
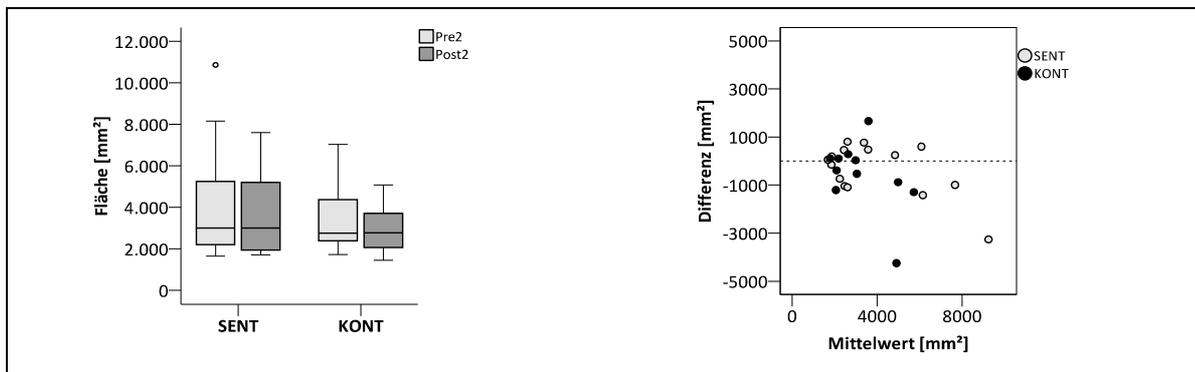
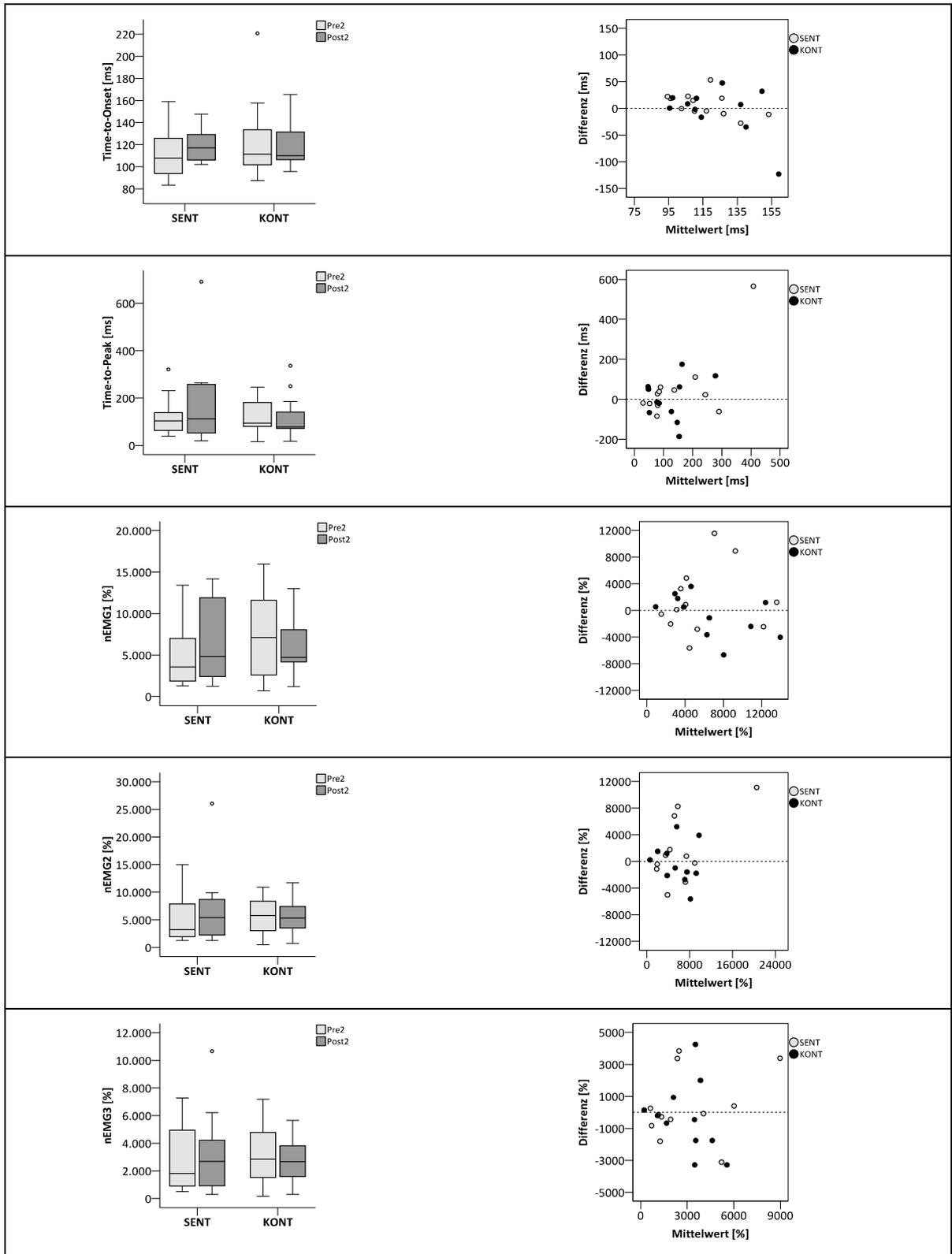


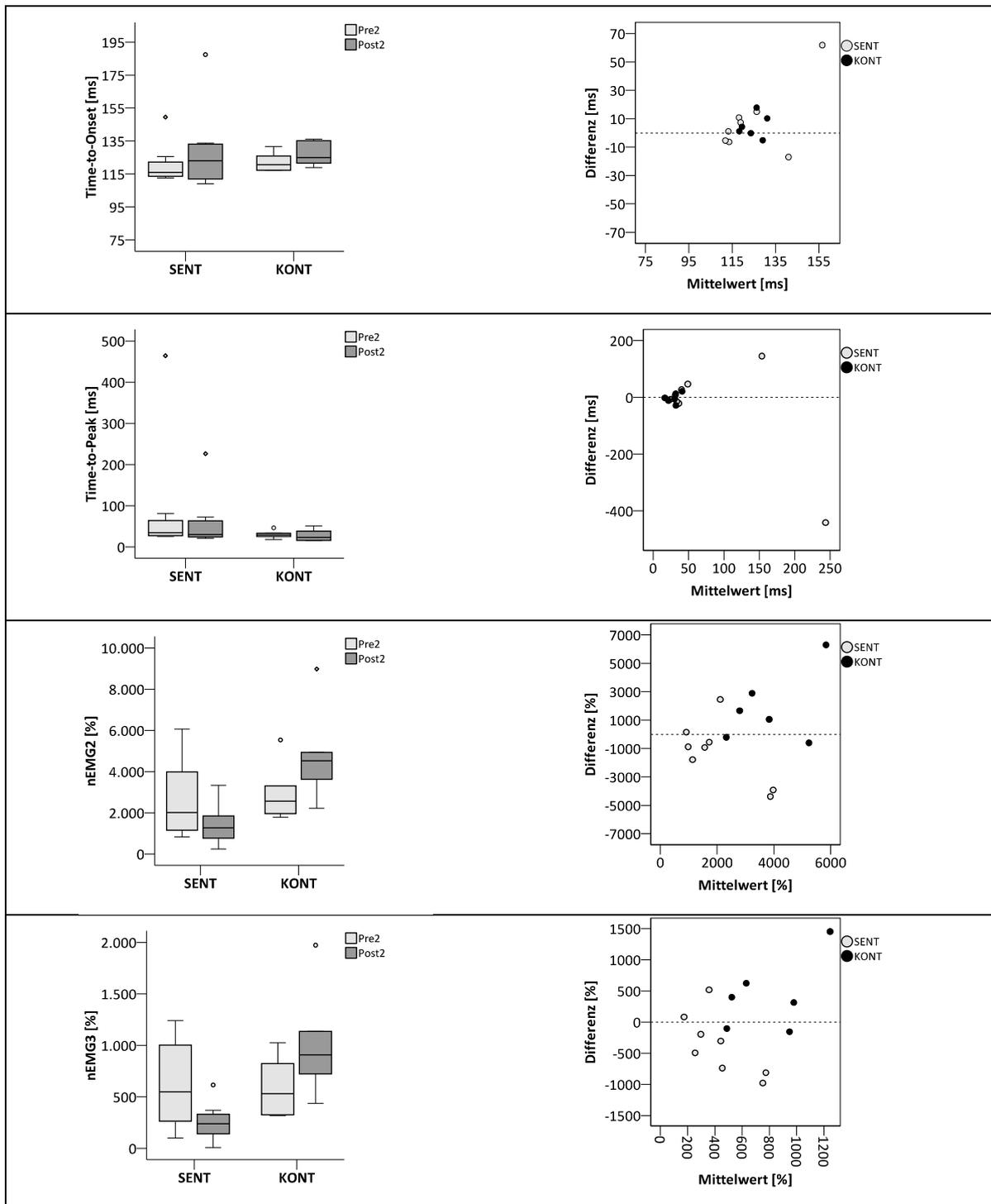
Abb. 39: Boxplot und Differenzenplot des COP-Weges, der Time-to-Onset und der nEMG1-3 während einer Perturbation nach anterior



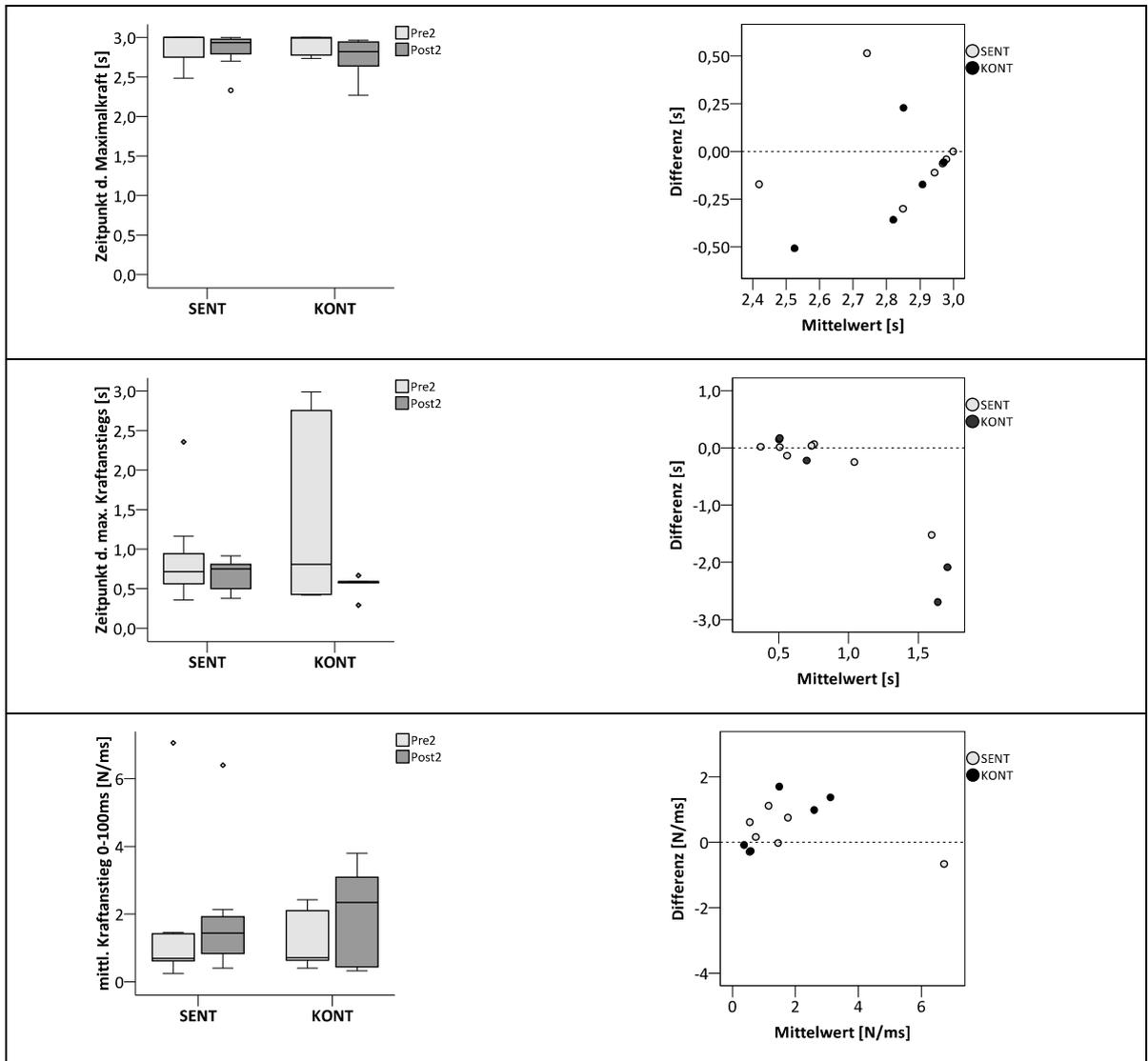
**Abb. 40: Boxplot und Differenzenplot der COP-Fläche während einer Perturbation nach lateral**



**Abb. 41: Boxplot und Differenzenplot der Time-to-Onset, der Time-to-Peak und des nEMG1-3 des M. tibialis anterior während einer Perturbation nach lateral**



**Abb. 42: Boxplot und Differenzenplot der Time-to-Onset und der Time-to-Peak und des nEMG2-3 des M. gastrocnemius medialis während einer Perturbation nach lateral**



**Abb. 43: Pre-/Postvergleich sowie Vergleich der Differenzen vom Zeitpunkt der Maximalkraft, dem Zeitpunkt des maximalen Kraftanstiegs und dem mittleren Kraftanstieg im Intervall 0-100ms**

## 10.9. Ode an die „Standfestigkeit 2010“ (13.09. - 03.12.)

Nun ist die schwere Zeit vorbei, in der wir „Standfest“  
 lernten;  
 es war uns gar nicht einerlei – doch jetzt wir Gutes ernten.  
 Wir alle hatten nur ein Ziel: Das Zittern überwinden!  
 Und hofften, dass bei Sport und Spiel wir von Erfolgen  
 künden.  
 Denn Julia mit der Trainerscharr hat uns ganz schön geschunden,  
 war trotzdem stets für alle da in 36 Stunden.  
 Ja, sie hat noch ein weit´res Ziel, was sie erreichen will –  
 Mit uns´rem guten Trainingsstil vielleicht ein Dr.phil.  
 An uns´rem guten Willen konnt´es wahrlich gar nicht liegen,  
 wenn wir trotz ständ´gen Trainerrates beim Üben unterliegen.  
 Die Zahl aller Geräte hier, mit der man uns gequält,  
 war ganz bestimmt mehr als nur 4; wer hat sie schon gezählt.  
 Heut ist die Schinderei vorbei – wir schau´n gelöst zurück  
 und denken: ´s ging doch 1, 2, 3; der Kurs war unser Glück.  
 Wir haben davon profitiert, bekamen Anleitung zum Sport,  
 nun liegt´s an uns, dass man trainiert und übt in einem Fort.  
 Wir sollten immer „standfest“ bleiben, mit Wackelbasis ringen;  
 Und – um´s noch gar zu übertreiben – wir ein paar  
 Schubse fingen.  
 Was gab´s denn so für Marterpfähle, an die man uns gebunden,  
 mit denen man die wunde Seele gequält in all den Stunden:  
 Los ging es mit der Airex-Matte – einfach und doppelt gar;  
 Die Füße parallel man hatte – das ging noch wunderbar.  
 Doch dann war schnell der Spaß vorbei – es wurde Ernst  
 gemacht;  
 Tandemstand und auf einem Bein – niemand hat mehr gelacht.  
 Als nächster Clou kam´s Wackelbrett – es wackelt hin und her.  
 Dann kamen noch paar Spielchen dran mit Kirschkernsack und  
 Ball  
 und elegant im Storchengang ging´s heimwärts jedes Mal.  
 So haben wir die Zeit verbracht mit intensivem Üben,  
 wir haben auch dabei gelacht und Schabernack getrieben.  
 Vorbei ist „Standfest-Theorie“ – es bleibt als Resümee:  
 Es war, ne gute Therapie und tat auch gar nicht weh.  
 So gehen alle wir nach Haus, gestärkt an Leib und Geist,  
 geben der Julia Applaus, dass sie bald „Doktor“ heißt.  
 Das Trainerteam zur Seite stand, die Ziele zu erreichen,  
 es führte uns mit harter Hand, es ließ sich nicht erweichen.  
 D´rum sagen wir an Euch gerichtet: Habt Dank für Euer Tun!  
 Wird je ein Wackelbrett gesichtet; wir sind ab heut immun.  
 Die kalte Schulter zeigen wir, wenn´s gilt, standfest zu sein.  
 Wir trinken noch ein kühles Bier und hau´n beim Grillen  
 d´rein.  
 So herrscht bei all´n Zufriedenheit;  
 Wir haben´s gut gemacht!  
 Wir packen die Standfestigkeit –  
 Das wäre doch gelacht!!!!

Dr. Wolfgang Bernard  
 (Proband der Studie)

## 11. Literaturverzeichnis

- ABBRUZZESE, G. & BERARDELLI, A. (2003) Sensorimotor integration in movement disorders. *Mov Disord*, 18, 231-40.
- ADKIN, A. L., BLOEM, B. R. & ALLUM, J. H. (2005) Trunk sway measurements during stance and gait tasks in Parkinson's disease. *Gait Posture*, 22, 240-9.
- ADKIN, A. L., FRANK, J. S. & JOG, M. S. (2003) Fear of falling and postural control in Parkinson's disease. *Mov Disord*, 18, 496-502.
- ALBERTS, J. L., OKUN, M. S. & VITEK, J. L. (2008) The persistent effects of unilateral pallidal and subthalamic deep brain stimulation on force control in advanced Parkinson's patients. *Parkinsonism Relat Disord*, 14, 481-8.
- ALLEN, N. E., CANNING, C. G., SHERRINGTON, C. & FUNG, V. S. (2009) Bradykinesia, muscle weakness and reduced muscle power in Parkinson's disease. *Mov Disord*, 24, 1344-51.
- ALLEN, N. E., SHERRINGTON, C., CANNING, C. G. & FUNG, V. S. (2010) Reduced muscle power is associated with slower walking velocity and falls in people with Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord*.
- ALLUM, J. H., CARPENTER, M. G., HONEGGER, F., ADKIN, A. L. & BLOEM, B. R. (2002) Age-dependent variations in the directional sensitivity of balance corrections and compensatory arm movements in man. *J Physiol*, 542, 643-63.
- ALLUM, J. H. & SHEPARD, N. T. (1999) An overview of the clinical use of dynamic posturography in the differential diagnosis of balance disorders. *J Vestib Res*, 9, 223-52.
- ASHBURN, A., FAZAKARLEY, L., BALLINGER, C., PICKERING, R., MCLELLAN, L. D. & FITTON, C. (2007) A randomised controlled trial of a home based exercise programme to reduce the risk of falling among people with Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 78, 678-84.
- AZULAY, J. P., MESURE, S., AMBLARD, B. & POUGET, J. (2002) Increased visual dependence in Parkinson's disease. *Percept Mot Skills*, 95, 1106-14.
- BAUER, C. M., GRÖGER, I., RUPPRECHT, R., TIBESKU, C.O., GABMANN, K.G. (2010) Reliabilität der statischen Posturographie bei älteren Personen. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 245-248.
- BECKLEY, D. J., BLOEM, B. R. & REMLER, M. P. (1993) Impaired scaling of long latency postural reflexes in patients with Parkinson's disease. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 89, 22-8.
- BECKLEY, D. J., BLOEM, B. R., VAN DIJK, J. G., ROOS, R. A. & REMLER, M. P. (1991) Electrophysiological correlates of postural instability in Parkinson's disease. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 81, 263-8.
- BEHRMAN, A. L., LIGHT, K. E., FLYNN, S. M. & THIGPEN, M. T. (2002) Is the functional reach test useful for identifying falls risk among individuals with Parkinson's disease? *Arch Phys Med Rehabil*, 83, 538-42.

- BERG, K. O., WOOD-DAUPHINEE, S. L., WILLIAMS, J. I. & GAYTON, D. (1989) Measuring balance in the elderly: preliminary development of an instrument. *Physiotherapy Canada*, 41, 304-311.
- BEUTER, A., HERNANDEZ, R., RIGAL, R., MODOLO, J. & BLANCHET, P. J. (2008) Postural sway and effect of levodopa in early Parkinson's disease. *Can J Neurol Sci*, 35, 65-8.
- BLASZCZYK, J. W. & ORAWIEC, R. (2010) Assessment of postural control in patients with Parkinson's disease: sway ratio analysis. *Hum Mov Sci*, 30, 396-404.
- BLASZCZYK, J. W., ORAWIEC, R., DUDA-KLADOWSKA, D. & OPALA, G. (2007) Assessment of postural instability in patients with Parkinson's disease. *Exp Brain Res*, 183, 107-14.
- BLOEM, B. R., BECKLEY, D. J., REMLER, M. P., ROOS, R. A. & VAN DIJK, J. G. (1995) Postural reflexes in Parkinson's disease during 'resist' and 'yield' tasks. *J Neurol Sci*, 129, 109-19.
- BLOEM, B. R., BECKLEY, D. J., VAN DIJK, J. G., ZWINDERMAN, A. H., REMLER, M. P. & ROOS, R. A. (1996) Influence of dopaminergic medication on automatic postural responses and balance impairment in Parkinson's disease. *Mov Disord*, 11, 509-21.
- BLOEM, B. R., GRIMBERGEN, Y. A., CRAMER, M., WILLEMSSEN, M. & ZWINDERMAN, A. H. (2001a) Prospective assessment of falls in Parkinson's disease. *J Neurol*, 248, 950-8.
- BLOEM, B. R., GRIMBERGEN, Y. A., VAN DIJK, J. G. & MUNNEKE, M. (2006) The "posture second" strategy: a review of wrong priorities in Parkinson's disease. *J Neurol Sci*, 248, 196-204.
- BLOEM, B. R., HAUSDORFF, J. M., VISSER, J. E. & GILADI, N. (2004) Falls and freezing of gait in Parkinson's disease: a review of two interconnected, episodic phenomena. *Mov Disord*, 19, 871-84.
- BLOEM, B. R., VALKENBURG, V. V., SLABBEKOORN, M. & VAN DIJK, J. G. (2001b) The multiple tasks test. Strategies in Parkinson's disease. *Exp Brain Res*, 137, 478-86.
- BLOEM, B. R., VAN DIJK, J. G., BECKLEY, D. J., ROOS, R. A., REMLER, M. P. & BRUYN, G. W. (1992) Altered postural reflexes in Parkinson's disease: a reverse hypothesis. *Med Hypotheses*, 39, 243-7.
- BOELEN, M. (2007) The role of rehabilitative modalities and exercise in Parkinson's disease. *Dis Mon*, 53, 259-64.
- BRAND, S., ALT, W. (2006) Optimierte Belastungsgestaltung bei sensomotorischem Training. IN SPORTWISSENSCHAFT, B. F. (Ed.) *BISp-Jahrbuch - Forschungsförderung 2006/07*. Bonn.
- BRIDGEWATER, K. J. & SHARPE, M. H. (1998) Trunk muscle performance in early Parkinson's disease. *Phys Ther*, 78, 566-76.
- 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, 2100-14.
- BROWN, L. A., COOPER, S. A., DOAN, J. B., DICKIN, D. C., WHISHAW, I. Q., PELLIS, S. M. & SUCHOWERSKY, O. (2006) Parkinsonian deficits in sensory

- integration for postural control: temporal response to changes in visual input. *Parkinsonism Relat Disord*, 12, 376-81.
- BRUSSE, K. J., ZIMDARS, S., ZALEWSKI, K. R. & STEFFEN, T. M. (2005) Testing functional performance in people with Parkinson disease. *Phys Ther*, 85, 134-41.
- BUCKLEY, T. A., PITSIKOULIS, C. & HASS, C. J. (2008) Dynamic postural stability during sit-to-walk transitions in Parkinson disease patients. *Mov Disord*, 23, 1274-80.
- BÜHLMEIER, J. (2008) Bewegungstherapie beim Idiopathischen Parkinson Syndrom - Biomechanische Analyse unterschiedlicher Therapiestrategien. *Fakultät für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Institut für Sport- und Bewegungswissenschaft*. Stuttgart, Universität Stuttgart.
- CAKIT, B. D., SARACOGLU, M., GENÇ, H., ERDEM, H. R. & INAN, L. (2007) The effects of incremental speed-dependent treadmill training on postural instability and fear of falling in Parkinson's disease. *Clin Rehabil*, 21, 698-705.
- CAMICIOLI, R. & MAJUMDAR, S. R. (2010) Relationship between mild cognitive impairment and falls in older people with and without Parkinson's disease: 1-Year Prospective Cohort Study. *Gait Posture*.
- CARPENTER, M. G., ALLUM, J. H., HONEGGER, F., ADKIN, A. L. & BLOEM, B. R. (2004) Postural abnormalities to multidirectional stance perturbations in Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 75, 1245-54.
- CHASTAN, N., WESTBY, G. W., YELNIK, J., BARDINET, E., DO, M. C., AGID, Y. & WELTER, M. L. (2009) Effects of nigral stimulation on locomotion and postural stability in patients with Parkinson's disease. *Brain*, 132, 172-84.
- COLNAT-COULBOIS, S., GAUCHARD, G. C., MAILLARD, L., BARROCHE, G., VESPIGNANI, H., AUQUE, J. & PERRIN, P. P. (2005) Bilateral subthalamic nucleus stimulation improves balance control in Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 76, 780-7.
- COLNAT-COULBOIS, S., GAUCHARD, G. C., MAILLARD, L., BARROCHE, G., VESPIGNANI, H., AUQUE, J. & PERRIN, P. P. (2011) Management of postural sensory conflict and dynamic balance control in late-stage Parkinson's disease. *Neuroscience*, 193, 363-9.
- COMMISSARIS, D. A., NIEUWENHUIJZEN, P. H., OVEREEM, S., DE VOS, A., DUYSSENS, J. E. & BLOEM, B. R. (2002) Dynamic posturography using a new movable multidirectional platform driven by gravity. *J Neurosci Methods*, 113, 73-84.
- CORCOS, D. M., CHEN, C. M., QUINN, N. P., MCAULEY, J. & ROTHWELL, J. C. (1996) Strength in Parkinson's disease: relationship to rate of force generation and clinical status. *Ann Neurol*, 39, 79-88.
- DE FREITAS, P. B., KNIGHT, C. A. & BARELA, J. A. (2010) Postural reactions following forward platform perturbation in young, middle-age, and old adults. *J Electromyogr Kinesiol*.
- DE GOEDE, C. J., KEUS, S. H., KWAKKEL, G. & WAGENAAR, R. C. (2001) The effects of physical therapy in Parkinson's disease: a research synthesis. *Arch Phys Med Rehabil*, 82, 509-15.

- DEANE, K., JONES, D. E., ELLIS-HILL, C., CLARKE, C. E., PLAYFORD, E. D. & BEN-SHLOMO, Y. (2001a) Physiotherapy for Parkinson's disease: a comparison of techniques (Review). *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 27.
- DEANE, K., JONES, D. E., PLAYFORD, E. D., BEN-SHLOMO, Y. & CLARKE, C. E. (2001b) Physiotherapy versus placebo or no intervention in Parkinson's disease (Review). *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 37.
- DELWAIDE, P. J., PEPIN, J. L. & MAERTENS DE NOORDHOUT, A. (1991) Short-latency autogenic inhibition in patients with Parkinsonian rigidity. *Ann Neurol*, 30, 83-9.
- DEMIRCI, M., GRILL, S., MCSHANE, L. & HALLETT, M. (1997) A mismatch between kinesthetic and visual perception in Parkinson's disease. *Ann Neurol*, 41, 781-8.
- DIBBLE, L. E., HALE, T., MARCUS, R. L., GERBER, J. P. & LASTAYO, P. C. (2006a) The safety and feasibility of high-force eccentric resistance exercise in persons with Parkinson's disease. *Arch Phys Med Rehabil*, 87, 1280-2.
- DIBBLE, L. E., HALE, T. F., MARCUS, R. L., DROGE, J., GERBER, J. P. & LASTAYO, P. C. (2006b) High-intensity resistance training amplifies muscle hypertrophy and functional gains in persons with Parkinson's disease. *Mov Disord*, 21, 1444-52.
- DIBBLE, L. E., HALE, T. F., MARCUS, R. L., GERBER, J. P. & LASTAYO, P. C. (2009) High intensity eccentric resistance training decreases bradykinesia and improves Quality Of Life in persons with Parkinson's disease: a preliminary study. *Parkinsonism Relat Disord*, 15, 752-7.
- DIBBLE, L. E. & LANGE, M. (2006) Predicting falls in individuals with Parkinson disease: a reconsideration of clinical balance measures. *J Neurol Phys Ther*, 30, 60-7.
- DIENER, H. C., HORAK, F. B. & NASHNER, L. M. (1988) Influence of stimulus parameters on human postural responses. *J Neurophysiol*, 59, 1888-905.
- DIETZ, V., BERGER, W. & HORSTMANN, G. A. (1988) Posture in Parkinson's disease: impairment of reflexes and programming. *Ann Neurol*, 24, 660-9.
- DIETZ, V., ZIJLSTRA, W., ASSAIANTE, C., TRIPPET, M. & BERGER, W. (1993) Balance control in Parkinson's disease. *Gait & Posture*, 1, 77-84.
- DIMITROVA, D., HORAK, F. B. & NUTT, J. G. (2004) Postural muscle responses to multidirectional translations in patients with Parkinson's disease. *J Neurophysiol*, 91, 489-501.
- DOHM-ACKER, M., SPITZENPFEIL, P. & HARTMANN, U. (2008) Auswirkung propriozeptiver Trainingsgerate auf beteiligte Muskulatur im Einbeinstand. *Sportverletz Sportschaden*, 22, 52-7.
- DUDEN (2007) *Duden. Deutsches Universalwörterbuch.*, Mannheim, Dudenverlag.
- DUNCAN, P. W., STUDENSKI, S., CHANDLER, J. & PRESCOTT, B. (1992) Functional reach: predictive validity in a sample of elderly male veterans. *J Gerontol*, 47, M93-8.
- DUNCAN, P. W., WEINER, D. K., CHANDLER, J. & STUDENSKI, S. (1990) Functional reach: a new clinical measure of balance. *J Gerontol*, 45, M192-7.

- EBERSBACH, G., EDLER, D., KAUFHOLD, O. & WISSEL, J. (2008) Whole body vibration versus conventional physiotherapy to improve balance and gait in Parkinson's disease. *Arch Phys Med Rehabil*, 89, 399-403.
- EBERSBACH, G., SOJER, M., MULLER, J., RANSMAYR, G., WENNING, G. & POEWE, W. (2002) Gleichgewichtsstorungen bei idiopathischer Parkinson-Erkrankung. Der Einfluss zerebrovaskularer Komorbiditat. *Nervenarzt*, 73, 162-5.
- FOX, C. M., RAMIG, L. O., CIUCCI, M. R., SAPIR, S., MCFARLAND, D. H. & FARLEY, B. G. (2006) The science and practice of LSVT/LOUD: neural plasticity-principled approach to treating individuals with Parkinson disease and other neurological disorders. *Semin Speech Lang*, 27, 283-99.
- FRANCHIGNONI, F. & VELOZO, C. A. (2005) Use of the Berg Balance Scale in rehabilitation evaluation of patients with Parkinson's disease. *Arch Phys Med Rehabil*, 86, 2225-6; author reply 2226.
- FRENKLACH, A., LOUIE, S., KOOP, M. M. & BRONTE-STEWART, H. (2009) Excessive postural sway and the risk of falls at different stages of Parkinson's disease. *Mov Disord*, 24, 377-85.
- FRIEDMAN, S. M., MUNOZ, B., WEST, S. K., RUBIN, G. S. & FRIED, L. P. (2002) Falls and fear of falling: which comes first? A longitudinal prediction model suggests strategies for primary and secondary prevention. *J Am Geriatr Soc*, 50, 1329-35.
- GAGE, H. & STOREY, L. (2004) Rehabilitation for Parkinson's disease: a systematic review of available evidence. *Clin Rehabil*, 18, 463-82.
- GERLACH, M., REICHMANN, H., RIEDERER, P. (2007) *Die Parkinson-Krankheit*, Wien, SpringerWien NewYork.
- GIROUX, M. L. (2007) Parkinson disease: Managing a complex, progressive disease at all stages. *Cleve Clin J Med*, 74, 313-4, 317-8, 320-2 passim.
- GOBBI, L. T., OLIVEIRA-FERREIRA, M. D., CAETANO, M. J., LIRANI-SILVA, E., BARBIERI, F. A., STELLA, F. & GOBBI, S. (2009) Exercise programs improve mobility and balance in people with Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord*, 15 Suppl 3, S49-52.
- GOLDSTEIN, D. S., HOLMES, C. S., DENDI, R., BRUCE, S. R. & LI, S. T. (2002) Orthostatic hypotension from sympathetic denervation in Parkinson's disease. *Neurology*, 58, 1247-55.
- GOODWIN, V. A., RICHARDS, S. H., TAYLOR, R. S., TAYLOR, A. H. & CAMPBELL, J. L. (2008) The effectiveness of exercise interventions for people with Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *Mov Disord*, 23, 631-40.
- GRANACHER, U. (2003) NEUROMUSKULÄRE LEISTUNGSFÄHIGKEIT IM ALTER (> 60 JAHRE): AUSWIRKUNGEN VON KRAFT- UND SENSOMOTORISCHEM TRAINING. *Wirtschafts- und Verhaltenswissenschaftlichen Fakultät*. Freiburg i. Br., Albert-Ludwigs-Universität.
- GRAY, P. & HILDEBRAND, K. (2000) Fall risk factors in Parkinson's disease. *J Neurosci Nurs*, 32, 222-8.
- GRIMBERGEN, Y. A., MUNNEKE, M. & BLOEM, B. R. (2004) Falls in Parkinson's disease. *Curr Opin Neurol*, 17, 405-15.

- GRUBER, M. (2001) Die neuromuskuläre Kontrolle des Kniegelenks vor und nach einem spezifischen sensomotorischen Training beim unverletzten Sportler. *Institut für Sportwissenschaft*. Stuttgart, Universität Stuttgart.
- GRUBER, M. & GOLLHOFER, A. (2004) Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. *Eur J Appl Physiol*, 92, 98-105.
- GUNKEL, M. (2011) Posturale Stabilität bei M.Parkinson. Berlin, Universitätsmedizin Berlin.
- HASS, C. J., COLLINS, M. A. & JUNCOS, J. L. (2007) Resistance training with creatine monohydrate improves upper-body strength in patients with Parkinson disease: a randomized trial. *Neurorehabil Neural Repair*, 21, 107-15.
- HELY, M. A., REID, W. G., ADENA, M. A., HALLIDAY, G. M. & MORRIS, J. G. (2008) The Sydney multicenter study of Parkinson's disease: the inevitability of dementia at 20 years. *Mov Disord*, 23, 837-44.
- HENRY, S. M., FUNG, J. & HORAK, F. B. (1998) EMG responses to maintain stance during multidirectional surface translations. *J Neurophysiol*, 80, 1939-50.
- HERZOG, J., KOPPER, F., PÖTTER, M., LORENZ, D., STEINBACH, M., KLEBE, S., SCHRADER, B., WEINERT, D., KRACK, P., VOLKMANN, J., MEHDORN, H. M. & DEUSCHL, G. (2003) Two year follow up of subthalamic deep brain stimulation in Parkinson's disease. *Third Congress Deutsche Parkinson-Gesellschaft e. V. Dresden*.
- HIRSCH, M. A., TOOLE, T., MAITLAND, C. G. & RIDER, R. A. (2003) The effects of balance training and high-intensity resistance training on persons with idiopathic Parkinson's disease. *Arch Phys Med Rehabil*, 84, 1109-17.
- HOLBEIN-JENNY, M. A., BILLEK-SAWHNEY, B., BECKMAN, E. & SMITH, T. (2005) Balance in personal care home residents: a comparison of the Berg Balance Scale, the Multi-Directional Reach Test, and the Activities-Specific Balance Confidence Scale. *J Geriatr Phys Ther*, 28, 48-53.
- HORAK, F. B., DIMITROVA, D. & NUTT, J. G. (2005) Direction-specific postural instability in subjects with Parkinson's disease. *Exp Neurol*, 193, 504-21.
- HORAK, F. B., FRANK, J. & NUTT, J. (1996) Effects of dopamine on postural control in parkinsonian subjects: scaling, set, and tone. *J Neurophysiol*, 75, 2380-96.
- HORAK, F. B., NUTT, J. G. & NASHNER, L. M. (1992) Postural inflexibility in parkinsonian subjects. *J Neurol Sci*, 111, 46-58.
- HSU, Y. S., KUAN, C. C. & YOUNG, Y. H. (2009) Assessing the development of balance function in children using stabilometry. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 73, 737-40.
- HUY, C. & SCHNEIDER, S. (2008) Instrument für die Erfassung der physischen Aktivität bei Personen im mittleren und höheren Erwachsenenalter - Entwicklung, Prüfung und Anwendung des „German-PAQ-50+“. *Z Gerontol Geriatr*, 41, 208-16.
- JACOBS, J. V. & HORAK, F. B. (2006) Abnormal proprioceptive-motor integration contributes to hypometric postural responses of subjects with Parkinson's disease. *Neuroscience*, 141, 999-1009.
- JACOBS, J. V., HORAK, F. B., TRAN, V. K. & NUTT, J. G. (2006a) Multiple balance tests improve the assessment of postural stability in subjects with Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 77, 322-6.

- JACOBS, J. V., HORAK, F. B., VAN TRAN, K. & NUTT, J. G. (2006b) An alternative clinical postural stability test for patients with Parkinson's disease. *J Neurol*, 253, 1404-13.
- JÖBGES, E. M., SPITTLER-SCHNEIDERS, H., RENNER, C. I. & HUMMELSHEIM, H. (2007) Clinical relevance of rehabilitation programs for patients with idiopathic Parkinson syndrome. II: Symptom-specific therapeutic approaches. *Parkinsonism Relat Disord*, 13, 203-13.
- JÖBGES, M., HEUSCHKEL, G., PRETZEL, C., ILLHARDT, C., RENNER, C. & HUMMELSHEIM, H. (2004) Repetitive training of compensatory steps: a therapeutic approach for postural instability in Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 75, 1682-7.
- KAGE, H., OKUDA, M., NAKAMURA, I., KUNITSUGU, I., SUGIYAMA, S. & HOBARA, T. (2009) Measuring methods for functional reach test: comparison of 1-arm reach and 2-arm reach. *Arch Phys Med Rehabil*, 90, 2103-7.
- KAKINUMA, S., NOGAKI, H., PRAMANIK, B. & MORIMATSU, M. (1998) Muscle weakness in Parkinson's disease: isokinetic study of the lower limbs. *Eur Neurol*, 39, 218-22.
- KARACHI, C., GRABLI, D., BERNARD, F. A., TANDE, D., WATTIEZ, N., BELAID, H., BARDINET, E., PRIGENT, A., NOTHACKER, H. P., HUNOT, S., HARTMANN, A., LEHERICY, S., HIRSCH, E. C. & FRANCOIS, C. (2010) Cholinergic mesencephalic neurons are involved in gait and postural disorders in Parkinson disease. *J Clin Invest*, 120, 2745-54.
- KEGELMEYER, D. A., KLOOS, A. D., THOMAS, K. M. & KOSTYK, S. K. (2007) Reliability and validity of the Tinetti Mobility Test for individuals with Parkinson disease. *Phys Ther*, 87, 1369-78.
- KEUS, S. H., BLOEM, B. R., HENDRIKS, E. J., BREDERO-COHEN, A. B. & MUNNEKE, M. (2007) Evidence-based analysis of physical therapy in Parkinson's disease with recommendations for practice and research. *Mov Disord*, 22, 451-60; quiz 600.
- KEUS, S. H., MUNNEKE, M., NIJKRAKE, M. J., KWAKKEL, G. & BLOEM, B. R. (2009) Physical therapy in Parkinson's disease: evolution and future challenges. *Mov Disord*, 24, 1-14.
- KIMMESKAMP, S. (2003) Einfluss von physiotherapeutischen Maßnahmen und afferenzstimulierenden Einlegesohlen auf die Gang- und Gleichgewichtsmotorik bei Parkinsonpatienten. Essen, Universität Duisburg – Essen.
- KING, L. A. & HORAK, F. B. (2008) Lateral stepping for postural correction in Parkinson's disease. *Arch Phys Med Rehabil*, 89, 492-9.
- KING, L. A. & HORAK, F. B. (2009) Delaying mobility disability in people with Parkinson disease using a sensorimotor agility exercise program. *Phys Ther*, 89, 384-93.
- KLOCKGETHER, T., BORUTTA, M., RAPP, H., SPIEKER, S. & DICHGANS, J. (1995) A defect of kinesthesia in Parkinson's disease. *Mov Disord*, 10, 460-5.
- KUNI, B., BANGERT, Y., CARDENAS-MONTEMAYOR, E., SCHMITT, H. (2007) Gleichgewichtskontrolle im Einbeinstand - Ausgezeichnete Reliabilität eines Protokolls mit kurzer Aufzeichnungsdauer. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 58.

- LANDERS, M. R., BACKLUND, A., DAVENPORT, J., FORTUNE, J., SCHUERMAN, S. & ALTENBURGER, P. (2008) Postural instability in idiopathic Parkinson's disease: discriminating fallers from nonfallers based on standardized clinical measures. *J Neurol Phys Ther*, 32, 56-61.
- LI, F., HARMER, P., FITZGERALD, K., ECKSTROM, E., STOCK, R., GALVER, J., MADDALOZZO, G. & BATYA, S. S. (2012) Tai chi and postural stability in patients with Parkinson's disease. *N Engl J Med*, 366, 511-9.
- LIN, S. I. & WOOLLACOTT, M. H. (2002) Postural muscle responses following changing balance threats in young, stable older, and unstable older adults. *J Mot Behav*, 34, 37-44.
- MARKS, D. (2006) Assessment: Tinetti-Test - Sturzrisiko erkennen. *Physiopraxis*, 2, IV-V.
- MARSDEN, C. D. (1994) Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 57, 672-81.
- MARTIN, W. R. & WIELER, M. (2003) Treatment of Parkinson's disease. *Can J Neurol Sci*, 30 Suppl 1, S27-33.
- MASCHKE, M., GOMEZ, C. M., TUIITE, P. J. & KONCZAK, J. (2003) Dysfunction of the basal ganglia, but not the cerebellum, impairs kinaesthesia. *Brain*, 126, 2312-22.
- MAURER, C., MERGNER, T., XIE, J., FAIST, M., POLLAK, P. & LUCKING, C. H. (2003) Effect of chronic bilateral subthalamic nucleus (STN) stimulation on postural control in Parkinson's disease. *Brain*, 126, 1146-63.
- MEINEL, K., SCHNABEL, G. (2004) *Bewegungslehre.Sportmotorik.*, München, Südwest Verlag.
- MITCHELL, S. L., COLLINS, J. J., DE LUCA, C. J., BURROWS, A. & LIPSITZ, L. A. (1995) Open-loop and closed-loop postural control mechanisms in Parkinson's disease: increased mediolateral activity during quiet standing. *Neurosci Lett*, 197, 133-6.
- MONGEON, D., BLANCHET, P. & MESSIER, J. (2009) Impact of Parkinson's disease and dopaminergic medication on proprioceptive processing. *Neuroscience*, 158, 426-40.
- MORITA, H., SHINDO, M., IKEDA, S. & YANAGISAWA, N. (2000) Decrease in pre-synaptic inhibition on heteronymous monosynaptic Ia terminals in patients with Parkinson's disease. *Mov Disord*, 15, 830-4.
- MORO, E., HAMANI, C., POON, Y. Y., AL-KHAIRALLAH, T., DOSTROVSKY, J. O., HUTCHISON, W. D. & LOZANO, A. M. (2010) Unilateral pedunculopontine stimulation improves falls in Parkinson's disease. *Brain*, 133, 215-24.
- MORRIS, M. & IANSEK, R. (1996) Characteristics of motor disturbance in Parkinson's disease and strategies for movement rehabilitation. *Human Movement Science*, 15, 649-669.
- MORRIS, M. E. (2000) Movement disorders in people with Parkinson disease: a model for physical therapy. *Phys Ther*, 80, 578-97.
- MORRIS, M. E., IANSEK, R. & KIRKWOOD, B. (2009) A randomized controlled trial of movement strategies compared with exercise for people with Parkinson's disease. *Mov Disord*, 24, 64-71.

- MORRIS, S., MORRIS, M. E. & IANSEK, R. (2001) Reliability of measurements obtained with the Timed "Up & Go" test in people with Parkinson disease. *Phys Ther*, 81, 810-8.
- MUHLACK, S., WELNIC, J., WOITALLA, D. & MULLER, T. (2007) Exercise improves efficacy of levodopa in patients with Parkinson's disease. *Mov Disord*, 22, 427-30.
- MUNHOZ, R. P., LI, J. Y., KURTINECZ, M., PIBOOLNURAK, P., CONSTANTINO, A., FAHN, S. & LANG, A. E. (2004) Evaluation of the pull test technique in assessing postural instability in Parkinson's disease. *Neurology*, 62, 125-7.
- NAGY, A., EORDEGH, G., PAROCZY, Z., MARKUS, Z. & BENEDEK, G. (2006) Multisensory integration in the basal ganglia. *Eur J Neurosci*, 24, 917-24.
- NALLEGOWDA, M., SINGH, U., HANDA, G., KHANNA, M., WADHWA, S., YADAV, S. L., KUMAR, G. & BEHARI, M. (2004) Role of sensory input and muscle strength in maintenance of balance, gait, and posture in Parkinson's disease: a pilot study. *Am J Phys Med Rehabil*, 83, 898-908.
- NOGAKI, H., FUKUSAKO, T., SASABE, F., NEGORO, K. & MORIMATSU, M. (1995) Muscle strength in early Parkinson's disease. *Mov Disord*, 10, 225-6.
- NOGAKI, H., KAKINUMA, S. & MORIMATSU, M. (2001) Muscle weakness in Parkinson's disease: a follow-up study. *Parkinsonism Relat Disord*, 8, 57-62.
- NOLANO, M., PROVITERA, V., ESTRANEO, A., SELIM, M. M., CAPORASO, G., STANCANELLI, A., SALTALAMACCHIA, A. M., LANZILLO, B. & SANTORO, L. (2008) Sensory deficit in Parkinson's disease: evidence of a cutaneous denervation. *Brain*, 131, 1903-11.
- OPARA, J., BŁASZCZYK, J. & DYSZKIEWICZ, A. (2005) Prevention of falls in Parkinson Disease. *Medical Rehabilitation* 9, 25-28.
- OUDE NIJHUIS, L. B., ARENDS, S., BORM, G. F., VISSER, J. E. & BLOEM, B. R. (2007) Balance confidence in Parkinson's disease. *Mov Disord*, 22, 2450-1.
- PAHAPILL, P. A. & LOZANO, A. M. (2000) The pedunclopontine nucleus and Parkinson's disease. *Brain*, 123 ( Pt 9), 1767-83.
- PARKINSON, J. (1817) *An Essay on the Shaking Palsy*, London, Sherwood, Neely, and Jones.
- PASTOR, M. A., DAY, B. L. & MARSDEN, C. D. (1993) Vestibular induced postural responses in Parkinson's disease. *Brain*, 116 ( Pt 5), 1177-90.
- PERETZ, C., HERMAN, T., HAUSDORFF, J. M. & GILADI, N. (2006) Assessing fear of falling: Can a short version of the Activities-specific Balance Confidence scale be useful? *Mov Disord*, 21, 2101-5.
- PERRY, S. D., MCILROY, W. E. & MAKI, B. E. (2000) The role of plantar cutaneous mechanoreceptors in the control of compensatory stepping reactions evoked by unpredictable, multi-directional perturbation. *Brain Res*, 877, 401-6.
- PINSAULT, N. & VUILLERME, N. (2009) Test-retest reliability of centre of foot pressure measures to assess postural control during unperturbed stance. *Med Eng Phys*, 31, 276-86.
- POEWE, W. & WENNING, G. (2002) The differential diagnosis of Parkinson's disease. *Eur J Neurol*, 9 Suppl 3, 23-30.

- POWELL, L. E. & MYERS, A. M. (1995) The Activities-specific Balance Confidence (ABC) Scale. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 50A, M28-34.
- PRÄTORIUS, B., KIMMESKAMP, S. & MILANI, T. L. (2003) The sensitivity of the sole of the foot in patients with Morbus Parkinson. *Neurosci Lett*, 346, 173-6.
- QUTUBUDDIN, A. A., CIFU, D. X., ARMISTEAD-JEHLE, P., CARNE, W., MCGUIRK, T. E. & BARON, M. S. (2007) A comparison of computerized dynamic posturography therapy to standard balance physical therapy in individuals with Parkinson's disease: a pilot study. *NeuroRehabilitation*, 22, 261-5.
- QUTUBUDDIN, A. A., PEGG, P. O., CIFU, D. X., BROWN, R., MCNAMEE, S. & CARNE, W. (2005) Validating the Berg Balance Scale for patients with Parkinson's disease: a key to rehabilitation evaluation. *Arch Phys Med Rehabil*, 86, 789-92.
- RAJPUT, A., OFFORD, K., BEARD, C., KURLAND, L. (1984) Epidemiology of parkinsonism: incidence, classification, and mortality. *Ann Neurol*, 16, 278-282.
- RAYMAKERS, J. A., SAMSON, M. M. & VERHAAR, H. J. (2005) The assessment of body sway and the choice of the stability parameter(s). *Gait Posture*, 21, 48-58.
- RICKARDS, C. & CODY, F. W. (1997) Proprioceptive control of wrist movements in Parkinson's disease. Reduced muscle vibration-induced errors. *Brain*, 120 ( Pt 6), 977-90.
- ROCCHI, L., CHIARI, L., CAPPELLO, A. & HORAK, F. B. (2006) Identification of distinct characteristics of postural sway in Parkinson's disease: a feature selection procedure based on principal component analysis. *Neurosci Lett*, 394, 140-5.
- ROCCHI, L., CHIARI, L. & HORAK, F. B. (2002) Effects of deep brain stimulation and levodopa on postural sway in Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 73, 267-74.
- ROMERO, D. H. & STELMACH, G. E. (2003) Changes in postural control with aging and Parkinson's disease. *IEEE Eng Med Biol Mag*, 22, 27-31.
- ROSSI, M., SOTO, A., SANTOS, S., SESAR, A. & LABELLA, T. (2009) A Prospective Study of Alterations in Balance among Patients with Parkinson's Disease. *Eur Neurol*, 61, 171-176.
- RÖTHIG, P., BECKER, H., CARL, K., KAYSER, D. & PROHL, R. (1992) *Sportwissenschaftliches Lexikon*, Schorndorf, Verlag Hofmann.
- ROUGIER, P. R. (2008) What insights can be gained when analysing the resultant centre of pressure trajectory? *Neurophysiol Clin*, 38, 363-73.
- RUHE, A., FEJER, R. & WALKER, B. (2010) The test-retest reliability of centre of pressure measures in bipedal static task conditions--a systematic review of the literature. *Gait Posture*, 32, 436-45.
- SATO, Y., KAJI, M., TSURU, T. & OIZUMI, K. (2001) Risk factors for hip fracture among elderly patients with Parkinson's disease. *J Neurol Sci*, 182, 89-93.
- SCANDALIS, T. A., BOSAK, A., BERLINER, J. C., HELMAN, L. L. & WELLS, M. R. (2001) Resistance training and gait function in patients with Parkinson's disease. *Am J Phys Med Rehabil*, 80, 38-43; quiz 44-6.
- SCHARF, M. & WEINECK, J. (2004) *Parkinson und Sport - Prävention und Rehabilitation auf der Grundlage der Sportmedizin und Sportwissenschaft*, Balingen, Spitta.

- SCHENKMAN, M., CUTSON, T. M., KUCHIBHATLA, M., CHANDLER, J., PIEPER, C. F., RAY, L. & LAUB, K. C. (1998) Exercise to improve spinal flexibility and function for people with Parkinson's disease: a randomized, controlled trial. *J Am Geriatr Soc*, 46, 1207-16.
- SCHERFER, E., BOHLS, C., FREIBERGER, E., HEISE, K. F. & HOGAN, D. Berg-Balance-Skala - Deutsche Version.
- SCHIEPPATI, M. & NARDONE, A. (1991) Free and supported stance in Parkinson's disease. The effect of posture and 'postural set' on leg muscle responses to perturbation, and its relation to the severity of the disease. *Brain*, 114 ( Pt 3), 1227-44.
- SCHILLING, B. K., KARLAGE, R. E., LEDOUX, M. S., PFEIFFER, R. F., WEISS, L. W. & FALVO, M. J. (2009) Impaired leg extensor strength in individuals with Parkinson disease and relatedness to functional mobility. *Parkinsonism Relat Disord*, 15, 776-80.
- SCHMID, M., CONFORTO, S., CAMOMILLA, V., CAPPOZZO, A. & D'ALESSIO, T. (2002) The sensitivity of posturographic parameters to acquisition settings. *Med Eng Phys*, 24, 623-31.
- SCHOLZ, E., DIENER, H. C., NOTH, J., FRIEDEMANN, H., DICHGANS, J. & BACHER, M. (1987) Medium and long latency EMG responses in leg muscles: Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 50, 66-70.
- SCHOTT, N. (2008) Deutsche Adaptation der „Activities-Specific Balance Confidence (ABC) Scale“ zur Erfassung der sturzassozierten Selbstwirksamkeit. *Z Gerontol Geriatr*, 41, 475-85.
- SCHUBERT, M., PROKOP, T., BROCKE, F. & BERGER, W. (2005) Visual kinesthesia and locomotion in Parkinson's disease. *Mov Disord*, 20, 141-50.
- SEISS, E., PRAAMSTRA, P., HESSE, C. W. & RICKARDS, H. (2003) Proprioceptive sensory function in Parkinson's disease and Huntington's disease: evidence from proprioception-related EEG potentials. *Exp Brain Res*, 148, 308-19.
- SHAGAM, J. Y. (2008) Unlocking the secrets of Parkinson disease. *Radiol Technol*, 79, 227-39; quiz 40-2.
- SMANIA, N., CORATO, E., TINAZZI, M., STANZANI, C., FIASCHI, A., GIRARDI, P. & GANDOLFI, M. (2010) Effect of balance training on postural instability in patients with idiopathic Parkinson's disease. *Neurorehabil Neural Repair*, 24, 826-34.
- SMITHSON, F., MORRIS, M. E. & IANSEK, R. (1998) Performance on clinical tests of balance in Parkinson's disease. *Phys Ther*, 78, 577-92.
- SPEKTRUM (2000) *Lexikon der Physik.*, Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag GmbH.
- STACK, E., ASHBURN, A. & JUPP, K. (2005) Postural instability during reaching tasks in Parkinson's disease. *Physiother Res Int*, 10, 146-53.
- STANKOVIC, I. (2004) The effect of physical therapy on balance of patients with Parkinson's disease. *Int J Rehabil Res*, 27, 53-7.
- STATISTISCHESBUNDESAMT (Ed.) (2009) *Bevölkerung Deutschlands bis 2060*, Wiesbaden, Statistisches Bundesamt.
- STEFFEN, T. & SENEY, M. (2008) Test-retest reliability and minimal detectable change on balance and ambulation tests, the 36-item short-form health survey, and the uni-

- fied Parkinson disease rating scale in people with parkinsonism. *Phys Ther*, 88, 733-46.
- STEHLE, P. (2009) *BISp-Expertise "Sensomotorisches Training - Propriozeptives Training" (Band I)*, Bonn, Sportverlag Strauß.
- STYLIANOU, A. P., MCVEY, M. A., LYONS, K. E., PAHWA, R. & LUCHIES, C. W. (2011) Postural sway in patients with mild to moderate Parkinson's disease. *Int J Neurosci*, 121, 614-21.
- TAGLIABUE, M., FERRIGNO, G. & HORAK, F. (2009) Effects of Parkinson's disease on proprioceptive control of posture and reaching while standing. *Neuroscience*, 158, 1206-14.
- TERMOZ, N., HALLIDAY, S. E., WINTER, D. A., FRANK, J. S., PATLA, A. E. & PRINCE, F. (2008) The control of upright stance in young, elderly and persons with Parkinson's disease. *Gait Posture*, 27, 463-70.
- TILLERSON, J. L., CAUDLE, W. M., REVERON, M. E. & MILLER, G. W. (2003) Exercise induces behavioral recovery and attenuates neurochemical deficits in rodent models of Parkinson's disease. *Neuroscience*, 119, 899-911.
- TILLERSON, J. L., COHEN, A. D., CAUDLE, W. M., ZIGMOND, M. J., SCHALLERT, T. & MILLER, G. W. (2002) Forced nonuse in unilateral parkinsonian rats exacerbates injury. *J Neurosci*, 22, 6790-9.
- TINETTI, M. E. (1986) Performance-oriented assessment of mobility problems in elderly patients. *J Am Geriatr Soc*, 34, 119-26.
- TINETTI, M. E. (2003) Preventing falls in elderly persons. *N Engl J Med*, 348, 42-9.
- TOOLE, T., HIRSCH, M. A., FORKINK, A., LEHMAN, D. A. & MAITLAND, C. G. (2000) The effects of a balance and strength training program on equilibrium in Parkinsonism: A preliminary study. *NeuroRehabilitation*, 14, 165-174.
- TOOLE, T., MAITLAND, C. G., WARREN, E., HUBMANN, M. F. & PANTON, L. (2005) The effects of loading and unloading treadmill walking on balance, gait, fall risk, and daily function in Parkinsonism. *NeuroRehabilitation*, 20, 307-22.
- TRENKWALDER, C., SCHWARZ, J., GEBHARD, J., RULAND, D., TRENKWALDER, P., HENSE, H. W. & OERTEL, W. H. (1995) Starnberg trial on epidemiology of Parkinsonism and hypertension in the elderly. Prevalence of Parkinson's disease and related disorders assessed by a door-to-door survey of inhabitants older than 65 years. *Arch Neurol*, 52, 1017-22.
- TURBANSKI, S. (2005) Zur posturalen Kontrolle bei Morbus Parkinson - Biomechanische Diagnose und Training *Fachbereich 5 Psychologie und Sportwissenschaften*. Frankfurt am Main, Johann Wolfgang Goethe-Universität.
- VAN DE VIJVER, D. A., ROOS, R. A., JANSEN, P. A., PORSIUS, A. J. & DE BOER, A. (2001) Estimation of incidence and prevalence of Parkinson's disease in the elderly using pharmacy records. *Pharmacoepidemiol Drug Saf*, 10, 549-54.
- VESTERGAARD, P., REJNMARK, L. & MOSEKILDE, L. (2007) Fracture risk associated with parkinsonism and anti-Parkinson drugs. *Calcif Tissue Int*, 81, 153-61.
- VISSER, J. E., CARPENTER, M. G., VAN DER KOOIJ, H. & BLOEM, B. R. (2008) The clinical utility of posturography. *Clin Neurophysiol*, 119, 2424-36.

- VISSER, J. E., OUDE NIJHUIS, L. B., JANSSEN, L., BASTIAANSE, C. M., BORM, G. F., DUYSSENS, J. & BLOEM, B. R. (2010) Dynamic posturography in Parkinson's disease: diagnostic utility of the "first trial effect". *Neuroscience*, 168, 387-94.
- VISSER, M., MARINUS, J., BLOEM, B. R., KISJES, H., VAN DEN BERG, B. M. & VAN HILTEN, J. J. (2003) Clinical tests for the evaluation of postural instability in patients with parkinson's disease. *Arch Phys Med Rehabil*, 84, 1669-74.
- VON CAMPENHAUSEN, S., BORNSCHEIN, B., WICK, R., BOTZEL, K., SAMPAIO, C., POEWE, W., OERTEL, W., SIEBERT, U., BERGER, K. & DODEL, R. (2005) Prevalence and incidence of Parkinson's disease in Europe. *Eur Neuropsychopharmacol*, 15, 473-90.
- WATERSTON, J. A., HAWKEN, M. B., TANYERI, S., JANTTI, P. & KENNARD, C. (1993) Influence of sensory manipulation on postural control in Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 56, 1276-81.
- WOLFSEGGER, T., ROTARU, I., SCHNEIDER, A. M., SCHWAMEDER, H. & AICHNER, F. T. (2011) [Static posturography in selected Parkinson syndromes : Quantitative analysis of postural control]. *Nervenarzt*, 82, 1584-9.
- WRIGHT, W. G., GURFINKEL, V. S., KING, L. A., NUTT, J. G., CORDO, P. J. & HORAK, F. B. (2010) Axial kinesthesia is impaired in Parkinson's disease: effects of levodopa. *Exp Neurol*, 225, 202-9.
- WULF, G., LANDERS, M., LEWTHWAITE, R. & TOLLNER, T. (2009) External focus instructions reduce postural instability in individuals with Parkinson disease. *Phys Ther*, 89, 162-8.
- XIROMERISIOU, G., DARDIOTIS, E., TSIMOURTOU, V., KOUNTRA, P. M., PATERAKIS, K. N., KAPSALAKI, E. Z., FOUNTAS, K. N. & HADJIGEORGIOU, G. M. (2010) Genetic basis of Parkinson disease. *Neurosurg Focus*, 28, E7.
- YAMAWAKI, M., KUSUMI, M., KOWA, H. & NAKASHIMA, K. (2009) Changes in prevalence and incidence of Parkinson's disease in Japan during a quarter of a century. *Neuroepidemiology*, 32, 263-9.
- YANAGAWA, S., SHINDO, M. & YANAGISAWA, N. (1990) Muscular weakness in Parkinson's disease. *Adv Neurol*, 53, 259-69.
- ZETTEL, J. L., MCILROY, W. E. & MAKI, B. E. (2002) Can stabilizing features of rapid triggered stepping reactions be modulated to meet environmental constraints? *Exp Brain Res*, 145, 297-308.
- ZOK, M., MAZZA, C. & CAPPOZZO, A. (2008) Should the instructions issued to the subject in traditional static posturography be standardised? *Med Eng Phys*, 30, 913-6.