

Aus dem Institut für Sportmedizin  
der Medizinischen Hochschule Hannover

**Sinusoidale mechanische versus stochastische Reize:  
akute Effekte bei älteren Menschen mit erhöhtem Sturzrisiko**

**Dissertation**

zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin  
in der Medizinischen Hochschule Hannover

vorgelegt von

**Alexander Kiehl**

aus Bielefeld

Hannover 2016

Angenommen vom Senat: 10.10.2017

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Hochschule Hannover

Präsident: Prof. Dr. med. Christopher Baum

Wissenschaftliche Betreuung: Prof. Dr. med. Uwe Tegtbur

1.Referent: Prof. Dr. med. Klaus Hager

2.Referent: Prof. Dr. med. Ralph Gaulke

Tag der mündlichen Prüfung 10.10.2017

Prüfungsausschuss Vorsitz: Prof. Dr. med. Christoph Gutenbrunner

1.Prüfer: PD Dr. med. Gerald Küther

2.Prüfer: Prof. Dr. med. Matthias Zumkeller

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>i</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>iii</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>iv</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>v</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Wissenschaftlicher Hintergrund .....	1
1.2 Historische Entwicklung.....	4
1.3 Physikalischer Hintergrund .....	6
1.4 Physiologischer Hintergrund .....	9
1.5 Studienziel .....	14
<b>2 Material und Methoden</b> .....	<b>15</b>
2.1 Studiendesign.....	15
2.2 Probandenrekrutierung .....	16
2.3 Einschluss- und Ausschlusskriterien .....	17
2.4 Interventionen .....	17
2.5 Datenerhebung.....	22
2.6 Räumlichkeiten.....	34
2.7 Risiko- und Nutzenabwägung .....	35
2.8 Biometrie und biometrische Methoden .....	35
2.9 Studienregistrierung und Genehmigung des Ethikantrags .....	36
<b>3 Statistische Auswertung und Ergebnisdarstellung</b> .....	<b>37</b>
3.1 Beschreibung der Probandengruppe .....	37
3.2 Flussdiagramm des Studienablaufs .....	39
3.3 Statische Posturographie zur Untersuchung der posturalen Kontrolle .....	41
3.4 Timed-up- and go-Test .....	48
3.5 Ganganalyse.....	49
3.6 Evaluation der Intervention .....	54
3.7 Auswertung der Herz- und Atemfrequenz.....	56
3.8 Borgskala .....	57

---

3.9	Subjektive Einschätzung des aktuellen Stands .....	58
<b>4</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>59</b>
4.1	Diskussion der Hypothesen .....	59
4.2	Limitierung .....	67
4.3	Ausblick.....	68
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>70</b>
<b>6</b>	<b>Abstract.....</b>	<b>73</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>74</b>
<b>A</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>82</b>
	<b>Lebenslauf.....</b>	<b>102</b>
	<b>Danksagung.....</b>	<b>103</b>
	<b>Originalitätsverpflichtung .....</b>	<b>104</b>

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Deskriptive Daten der Probandengruppe .....	38
Tabelle 2: Untersuchung der posturalen Kontrolle auf akute Zeiteffekte .....	43
Tabelle 3: Timed-up-and-go-Test .....	48
Tabelle 4: Ganganalyse sinusförmige-Schwingungen: Intergruppenvergleich .....	49
Tabelle 5: Ganganalyse bei der Intervention mit dem sinusförmige-Schwingungen- applizierenden Vibrationstrainingsgerät zwischen Gehen in einer selbstgewählten Geschwindigkeit und Gehen mit einer zusätzlichen kognitiven Aufgabe .....	50
Tabelle 6: Ganganalyse stochastische Schwingungen: Intergruppenvergleich.....	51
Tabelle 7: Ganganalyse bei der Intervention mit dem stochastische-Schwingungen- applizierenden Vibrationstrainingsgerät zwischen Gehen in einer selbstgewählten Geschwindigkeit und Gehen mit einer zusätzlichen kognitiven Aufgabe .....	52
Tabelle 8: Einfluss der sinusförmigen und stochastischen Schwingungen auf das normale Gehen und das Gehen mit einer zusätzlichen kognitiven Aufgabe (Rechnen) .....	53
Tabelle 9: Ganganalyse bei paralleler Betrachtung von Schwingung und kognitiver Aufgabe ...	54
Tabelle 10: Evaluation der Interventionen mit dem sinusförmige- und stochastische- Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgeräten.....	55
Tabelle 11: Auswertung der Herz- und Atemfrequenz .....	57
Tabelle 12: Borgskala.....	57
Tabelle 13: Subjektive Einschätzung des aktuellen Stands .....	58

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Harmonische Schwingung .....	7
Abbildung 2: Übersicht über das Studiendesign .....	15
Abbildung 3: Probandin auf dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät .....	18
Abbildung 4: Probandin auf dem stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät .....	20
Abbildung 5: Graphische Darstellung von sinusförmigen Schwingungen und stochastischen Schwingungen .....	20
Abbildung 6: Borgskala .....	23
Abbildung 7: Ablauf einer Trainingseinheit .....	24
Abbildung 8: Probandin auf der Kraftmessplatte.....	25
Abbildung 9: Schemazeichnung der Posturographie-Messung .....	26
Abbildung 10: Probandin beim Überqueren des- Ganganalyseteppichs.....	30
Abbildung 11: Flussdiagramm des Studienablaufs .....	39
Abbildung 12: Statische Posturographie: Standard-Ellipse .....	41
Abbildung 13: Statische Posturographie: SD unabhängig von der Richtung .....	42
Abbildung 14: Statische Posturographie: SD medio/lateral von der mittleren Position .....	42
Abbildung 15: Statische Posturographie: SD anterior/ posterior von der mittleren Position .....	42
Abbildung 16: Gruppenvergleich zwischen Eingangsuntersuchung und nach einem Trainingsintervall bei geöffneten Augen (EO).....	44
Abbildung 17: Gruppenvergleich zwischen Eingangsuntersuchung und nach einem Trainingsintervall mit geschlossenen Augen (EC).....	45
Abbildung 18: Gruppenvergleich zwischen Eingangs- und Abschlussuntersuchung bei EO .....	46
Abbildung 19: Gruppenvergleich zwischen Eingangs- und Abschlussuntersuchung bei EC.....	47

**Abkürzungsverzeichnis**

AU .....	Abschlussuntersuchung
BMI .....	Body-Mass-Index
CoF .....	Center of Force
DT .....	dual task (eng.); Gehen mit einer zusätzlichen kognitiven Aufgabe
EC .....	Eyes close (eng.); Messreihe mit geschlossenen Augen
EO .....	Eyes open (eng.); Messreihe mit geöffneten Augen
FES-I .....	Falls Efficacy Scale-International
I1 ..	Intervention mit einem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät
I2 ..	Intervention mit einem stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät
MMSE .....	Mini Mental State Examination
NASA .....	National Aeronautics and Space Administration
ProFaNE .....	Prevention of Falls European Network
RNS .....	Rhythmische neuromuskuläre Stimulation
SBBP .....	Short physical performance battery
SD .....	standard deviation (eng.); Standardabweichung
ST .....	single task (eng.); Gehen in einer selbstgewählten Geschwindigkeit
T1 .....	erstes Trainingsintervall (60 Sekunden)

# 1 Einleitung

## 1.1 Wissenschaftlicher Hintergrund

Ein Sturzereignis und deren Folgen können zu wesentlichen Veränderungen bei älteren Menschen führen, sodass die Entwicklung von neuen Präventionsmaßnahmen gegen das Auftreten von Stürzen eine steigende Bedeutung einnimmt (1). Im Zentrum dieser klinischen Pilotstudie stehen die Methoden des Vibrationstrainings (Synonyme: „Whole body vibration training“, „Biomechanische Stimulation“, „Rhythmische neuromuskuläre Stimulation“, oder „Hypergravity training“) sowie die Erforschung von akuten Effekten sinusförmiger und stochastischer Schwingungsformen auf die Risikofaktoren für ein Sturzereignis bei älteren Menschen mit einer erhöhten Sturzneigung. Dabei konnten die bisherigen Untersuchungen zu Vibrationseffekten bereits chronische Veränderungen bei den Einflussfaktoren für das Auftreten eines Sturzes nachweisen (1).

Ein Sturz ist allgemein definiert als ein unabsichtliches, ungewolltes oder unfreiwilliges Herunterfallen bzw. –gleiten des Körpers auf eine tiefere Ebene (2,3). Die „Prevention of Falls European Network“ (ProFaNE) -Gruppe untersucht das Auftreten von Stürzen und deren Folgen bei älteren Menschen mit einer erhöhten Sturzneigung mit dem Ziel Präventionsmaßnahmen zu entwickeln (4). Das Sturzrisiko beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass in einem bestimmten Zeitraum ein oder mehrere Stürze auftreten. Allgemein besteht für jeden Menschen ein Risiko zu stürzen. Statistische Daten zu Sturzverteilung in verschiedenen Altersgruppen aus Erhebungen mit repräsentativen bevölkerungsweiten Stichproben liegen aktuell nicht vor (5). Eine US-amerikanische Querschnittstudie mit 20- bis über 90-jährigen Erwachsenen beschreibt einen Anstieg des Sturzrisikos, mindestens einmal im Jahr zu stürzen, von 20 % im jungen Erwachsenenalter auf 35 % in der Altersgruppe über 65 Jahren (5). Anhand von Verletzungsfolgen eines Sturzes und der Notwendigkeit einer medizinischen Behandlung kann mittels der Fallzahlen eine Abschätzung der Größenordnung getroffen werden (5). Die höchste Fallzahl liegt auch hier in der Altersgruppe über 65 Jahren (5).

Die Gesundheitspolitik muss hinsichtlich des demographischen Wandels und dem damit verbundenen Anstieg chronischer Erkrankung die zunehmend knapper werdenden Ressourcen angemessen einsetzen und gleichzeitig eine qualitativ hochwertige sowie bezahlbare Gesundheitsversorgung gewährleisten (5). In diesem Zusammenhang nehmen präventive



Maßnahmen, wie die Sturzprophylaxe, eine wichtige Rolle ein. Die Notwendigkeit zur Entwicklung von neuen Behandlungsstrategien zur Sturzprophylaxe wird anhand von möglichen Sturzfolgen verdeutlicht. Die Inzidenz von Frakturen nimmt mit zunehmendem Alter bedingt durch eine erhöhte Sturzneigung sowie einer verringerten Bruchfestigkeit der Knochen zu (1,6,7). Dabei stellt die Hüftfraktur individuell und gesellschaftlich betrachtet die bedeutendste Fraktur des Alters dar (1,7). In Deutschland erleiden mehr als 100 000 Menschen pro Jahr eine hüftnahe Oberschenkelfraktur, von denen etwa die Hälfte die frühere Selbstständigkeit und Gehfähigkeit wieder erreicht (1,7). Dabei treten 90 % der Oberschenkelfrakturen infolge eines Sturzereignisses auf (1). Weiterhin treten 80 % der Stürze bei älteren Menschen in alltäglichen Situationen ohne hohe Beanspruchungen des Gleichgewichtssinnes auf (1,8,9). Darüber hinaus können Stürze zu Immobilität, Einschränkungen der Selbstständigkeit, Pflegebedürftigkeit, Inanspruchnahme von institutionalisierter Pflege und damit verbunden zu einer reduzierten Lebensqualität führen. Im schlimmsten Fall kann ein Sturz zum Tod führen (10-13).

Sturzereignisse können durch verschiedene Defizite begünstigt werden. Dabei stellt eine Verschlechterung der motorischen Einheit, vor allem die der unteren Extremitäten, einen bedeutenden Risikofaktor dar (14,15). Des Weiteren führt eine abnehmende Geschwindigkeit, mit der sich die Muskelspannung aufbaut, zu Einschränkungen bei lokomotorischen Ausgleichsbewegungen (1). Infolgedessen kann die Geschwindigkeit der Kraftentwicklung nicht mehr ausreichen, um aus einem Stolpern einen Sturz zu verhindern (16). Ein weiterer Risikofaktor ist die muskuläre Schwäche (1). Es konnte in allen Studien, in denen die muskuläre Schwäche berücksichtigt wurde, ein signifikanter Zusammenhang mit dem Auftreten von Stürzen nachgewiesen werden (7,10,13,17). Des Weiteren hat der Kraftverlust Auswirkung auf die Balancefähigkeit und damit auf das Auftreten von Stürzen (15,18).

Im Rahmen dieser klinischen Pilotstudie wurden zwei Vibrationstrainingsgeräte eingesetzt, das srt-medical (Zeptor) und das Board 3000-Trainingsgerät, die sich durch die Voreinstellungen und Standardisierungsmaßnahmen nur in der applizierten Art der Schwingung unterschieden.

Bei diesen Schwingungen handelt es sich auf der einen Seite um sinusförmige Schwingungen, die durch das Board 3000-Trainingsgerät appliziert werden, und auf der anderen Seite um stochastische Schwingungen, die durch das srt-medical abgegeben werden. Die sinusförmige Schwingungen entsprechen ungedämpften Schwingungen mit einer konstanten Amplitude, sodass der Körper durch eine gleichbleibende äußere Energie angeregt wird (19). Bei den stochastischen Schwingungen treten zufällige und in ihrer Intensität unterschiedliche

Schwingungen auf. Es kommt zu keiner Wiederholung des Schwingungsvorgangs, sodass der Körper ständig auf unterschiedliche äußere Reize reagieren muss (20).

Das Board-3000-Trainingsgerät appliziert sinusförmige Schwingungen. Die Wippfunktion und die seitenalternierende Bewegung beeinflussen die posturale Kontrolle, die Lokomotionsstörung sowie steigern die muskuläre Kraft (21-24). Die physiologische Grundlage bildet der sogenannte „tonische Vibrationsreflex“, der durch eine Überlagerung von Muskeldehnungsreflexen und einer dadurch bedingten anhaltenden Muskelkontraktion entsteht (25-27).

Bei dem srt-medical werden stochastische Schwingungen und damit multidimensionale, ständig variierende Reize abgegeben. Dadurch wird der Körper angeregt mit einzelnen Kontraktionen auf diese Reize zu reagieren. Demzufolge kommt es zu einer Tonussenkung zwischen den einzelnen Kontraktionen (25-27). Dies beeinflusst das neuromuskuläre Reflexsystem (23,28-30). Der Trainingseffekt kann zu einer Steigerung der Bewegungssicherheit, zu einer Verbesserung der Gleichgewichtsregulation und zu einer positiven Beeinflussung des Gangmusters führen (28-30).

Die Trainingssteuerung wird beeinflusst durch die Schwingungsform, die Frequenz (zwischen 4 und 50 Hz), die Amplitude der Bewegung (zwischen unter 1 mm und über 12 mm), die Applikationsdauer (zwischen 30 und 120 Sekunden pro Durchgang) sowie durch die Körperhaltung bzw. durch die auf dem Gerät ausgeführten Bewegungen (31).

Allgemeine Vorteile des Vibrationstrainings sind eine kurze Interventionszeit, eine einfache Bedienung des Geräts und eine selbstständige Durchführung des Trainings. Es ist davon auszugehen, dass hierdurch die Annahme durch die Trainierenden positiv beeinflusst wird (32-34). Außerdem erfordert ein Training nur minimale aktive Bewegungen sowie koordinative und spezifische Fähigkeiten (31). Des Weiteren ist die subjektiv empfundene Anstrengung im Vergleich zu klassischen Trainingsmethoden bei möglicher vergleichbarer Effektivität geringer (35).

Ein weiterer bedeutsamer Vorteil des Vibrationstrainings ist eine hohe Sicherheit und demzufolge ein geringes Verletzungsrisiko (33). Den Probanden wurde vor der Durchführung die korrekte Körperhaltung gezeigt. Durch eine richtige Anwendung bleiben die Schwingungen auf den Rumpf konzentriert, wodurch das Auftreten von Nebenwirkungen gesenkt wird (36,37).

Bei den bisherigen Untersuchungen wurden keine nennenswerten Nebenwirkungen beobachtet. Im Rahmen des Vibrationstrainings kann es bei der ersten Trainingseinheit zu einem kurzanhaltenden Gefühl von Schwindel, einer Rötung von Teilen der unteren Extremitäten sowie zu Parästhesien in den trainierten Körperregionen kommen (38,39).

Die Ergebnisse dieser klinischen Pilotstudie können zu einem tieferen Verständnis der Sturzproblematik bei älteren Menschen und bei der Entwicklung von effektiven Maßnahmen zur Prävention von Stürzen in gefährdeten Personengruppen beitragen.

## **1.2 Historische Entwicklung**

Im frühen 19. Jahrhundert begann der Einsatz von Schwingungen mechanisch arbeitender Geräte zu therapeutischen Zwecken. Sie wurden zur Reduzierung der Morbidität, zur Unterstützung des Blut-Kreislaufs und der Verdauung sowie zur Behandlung von Nervenkrankheiten eingesetzt (40).

Die weitere Entwicklung des Vibrationstrainings wurde durch die folgenden Personen entscheidend beeinflusst. Im Jahr 1808 beschrieb John Barclay in seinem Buch „The muscular motion of the human body“ einen Fall von muskulären Spasmus, der durch den Einsatz von Vibrationen geheilt wurde (41). Ab 1864 setzte der schwedische Arzt Gustav Zander (1835-1920) mechanisch arbeitende Geräte zur „medico-mechanischen Therapie“ ein. Zu diesen Geräten gehörte der sogenannte „Zanderapparat F2“, der als dampfbetriebenes Gerät Schwingungen zu therapeutischen Zwecken auf trainierende Personen übertrug (42,43). Der französische Neurologe Jean-Martin Charcot (1825-1893) entwickelte vibrierende Stühle und behandelte damit Parkinson-Patienten erfolgreich (44,45). Die Idee basierte auf Berichten von Parkinson-Patienten, die nach längeren Zug- oder Kutschfahrten eine deutliche Besserung ihrer Symptomatik empfanden. Charcot erreichte durch eine täglich 30-minütige Applikation von Schwingungen eine Reduzierung der Symptome und eine Steigerung des Wohlbefindens bei Parkinson-Patienten (44,45). Dabei war er in der Lage die Frequenz, die Schwingungsrichtung und die Intensität der applizierten Schwingungen seines vibrierenden Stuhls zu variieren. Darüber hinaus erkannte Charcot, dass diese Therapie individuell auf den einzelnen Patienten und dessen Bedürfnisse angepasst werden muss. Diese Erkenntnis wird in der heutigen Anwendung von Methoden des Vibrationstrainings erneut diskutiert (46).

An der Weiterentwicklung der Medico-Mechanik des 19. Jahrhunderts zum modernen Vibrationstraining waren die folgenden Personen wegbereitend beteiligt: Professor Biermann entwickelte um 1960 die rhythmische neuromuskuläre Stimulation (RNS), die als Vorgänger des heutigen Vibrationstrainings gilt (47). Russische Wissenschaftler setzten das Vibrationstraining bei Kosmonauten ein, um diese vor den degenerativen Effekten der Schwerelosigkeit zu schützen. Der russische Wissenschaftler Vladimir Nazarov nutzte diese Methode nach 1970 zum ersten Mal bei Athleten der damaligen sowjetischen Olympiamannschaft (48). Dabei setzte er die rhythmische neuromuskuläre Stimulationen zur Steigerung der muskulären Leistungsfähigkeit ein (49). Guus van der Meer, ein ehemaliger Trainer der niederländischen Olympiamannschaft, erkannte in den späten 90er Jahren die Möglichkeit die Methoden des Vibrationstrainings im Breitensport anzuwenden. Daraufhin entwickelte er das am weitesten verbreitete Vibrationstrainingsgerät, die sogenannte „Power Plate“ (50). Im Jahr 1996 wurde das erste seitenalternierend arbeitende Vibrationstrainingsgerät in Deutschland zugelassen (49).

Das Vibrationstraining findet heute bereits Anwendung im therapeutischen Bereich. Die NASA setzt die Methoden des Vibrationstrainings im Bereich der Prävention von Knochenmassenabbau und Knochengesundheit, vor allem bei weiblichen Astronauten, ein (51).

## **1.3 Physikalischer Hintergrund**

### **1.3.1 Die Schwingungen**

Bei einer Schwingung bewegt sich ein Körper zeitlich periodisch um eine Ruhelage. Durch einen Schwingungsvorgang kommt es periodisch zu einer Umwandlung verschiedener Energieformen (52). Dabei unterscheidet man zwischen gedämpfter und ungedämpfter Schwingung. Bei der gedämpften Schwingung nimmt das Ausmaß der Schwingung mit fortschreitender Zeit ab. Eine Schwingung, bei der hingegen das Ausmaß der Schwingung nicht abnimmt, wird als ungedämpft bezeichnet. Eine Bewegung umfasst die zwei Umkehrpunkte und die Ruhelage des schwingenden Teilchens (Oszillator) (19).

Eine Schwingung wird anhand der Schwingungsdauer, der Frequenz und der entsprechenden Auslenkung beschrieben. Die Schwingungsdauer gibt die Zeit an, die für die vollständige Schwingung benötigt wird. Die Frequenz wird aus dem Quotient der Anzahl der Schwingungen und der dafür benötigten Zeit gebildet. Die Einheit der Frequenz wird in Hertz (Hz) angegeben. Die Auslenkung beschreibt die Strecke, um die sich der Oszillator von der Ruhelage entfernt hat. Im Rahmen des Vibrationstrainings liegt die Auslenkung im Millimeter-Bereich. Die Amplitude ist ein Maß für die maximale Auslenkung des Oszillators (19).

### **1.3.2 Die harmonische Schwingung**

Im Rahmen des Vibrationstrainings kommt vor allem die sinusförmige Schwingung zum Einsatz. Es handelt sich hierbei um eine ungedämpfte Schwingung mit einer konstanten Amplitude (19). Die Abbildung 1 stellt einen harmonischen Schwingungsvorgang des sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerätes dar.

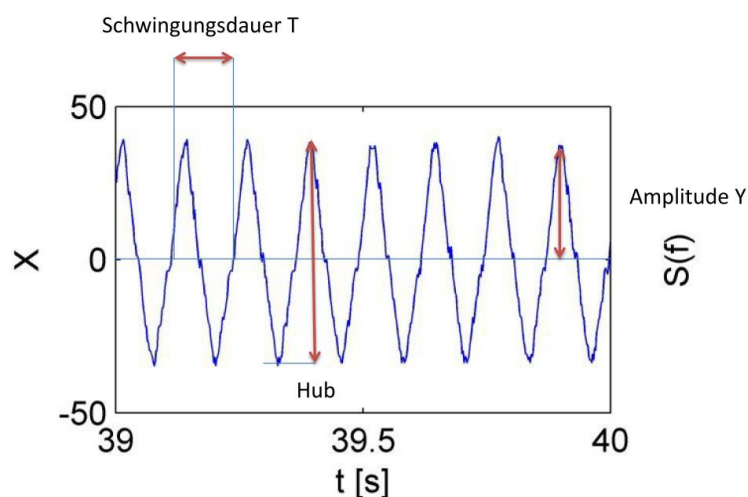


Abbildung 1: Harmonische Schwingung (19)

Die in der Realität vorkommenden Schwingungen sind gedämpft, weil sie beispielweise durch Reibung Energie an die Umgebung abgeben. Diesen freien Schwingungen wird keine externe Energie zugeführt, sodass durch den Energieverlust die Amplitude reduziert und die Schwingung nicht dauerhaft aufrechtgehalten wird (19).

Ein Bewegungsvorgang entsteht häufig durch den Einfluss von mehreren Schwingungen, welche sich additiv überlagern. Diese Überlagerung wird als Interferenz bezeichnet. Dabei wird das Ergebnis einer Interferenz von den jeweiligen Ausbreitungsrichtungen, den Frequenzen und den Phasendifferenzen der Schwingung beeinflusst (19).

### 1.3.3 Die freie und die erzwungene Schwingung

Eine freie Schwingung beschreibt einen schwingungsfähigen Körper, der sich nach einer Auslenkung selbst überlassen wird und daraufhin in den Gleichgewichtszustand zurückkehrt (19).

Bei einer erzwungenen Schwingung wird durch eine äußere Einwirkung die Schwingung aufrechterhalten (19). Im Rahmen des Vibrationstrainings wird die auf einem Vibrationstrainingsgerät stehende Person als schwingungsfähiges System zum Mitschwingen gezwungen. Der Körper versucht mithilfe von Muskeln und Sehnen diese Schwingungen zu dämpfen (19). Hierbei wird die Frequenz der periodischen Erregung als Erregungsfrequenz bezeichnet (19).

Neben der periodischen Erregung spielt auch die Erregung durch zufällige Prozesse wie stochastische Schwingungen eine Rolle. Bei den stochastischen Schwingungen treten zufällige und in ihrer Intensität unterschiedliche Schwingungen auf. Es kommt zu keiner Wiederholung eines Schwingungsvorganges, sodass der Körper ständig auf unterschiedliche äußere Reize reagieren muss (20).

In dieser klinischen Pilotstudie werden die durch sinusförmige und stochastische Schwingungen ausgelösten Erregungen untersucht.

#### **1.3.4 Resonanz**

Resonanz beschreibt den Zustand, in dem ein schwingungsfähiger Körper in seiner Eigenfrequenz angeregt wird. Die Eigenfrequenz entspricht der Frequenz, mit der das System frei schwingt. Dabei ist zu beachten, dass jedes System eine spezifische Eigenfrequenz besitzt, die von den physikalischen Gegebenheiten abhängt. Infolge einer periodisch korrekten Erregung durch eine äußere Kraft steigert sich die Amplitude. Durch keine oder nur durch eine schwache Dämpfung kann es hierdurch zu großen Schwingungen bis hin zu einer sogenannten Resonanzkatastrophe kommen. Hinsichtlich des menschlichen Körpers kann dieser Vorgang Nebenwirkungen hervorrufen (19).

## **1.4 Physiologischer Hintergrund**

Eine Verschlechterung der posturalen Kontrolle, eine vorliegende Lokomotionsstörung sowie eine muskuläre Schwäche im zunehmenden Alter und deren akute Beeinflussung durch ein Vibrationstraining stehen im Zentrum dieser Studie. Um dessen Wirkungsweise und Einflüsse auf die oben genannten Faktoren nachvollziehen zu können, werden in diesem Abschnitt die physiologischen Grundlagen dargestellt.

### **1.4.1 Muskelphysiologie**

Der sogenannte aktive Bewegungsapparat wird von der quergestreiften Skelettmuskulatur und deren Hilfseinrichtungen gebildet, zu denen die Faszien (Muskelbinden), Sehnen, Schleimbeutel und Sehnenscheiden zählen (19). Die Bewegungstätigkeiten des Menschen, zu denen neben weit ausholenden, kraftvollen, groben und sehr feinen, genauen Bewegungen auch die Haltearbeit gehören, entstehen durch die Kontraktion bzw. Spannungsänderung der Skelettmuskulatur (19).

Jeder Muskel zeigt einen charakteristischen Aufbau. Mithilfe einer Sehne ist der Muskel mit Ansatz und Ursprung an einem Knochen fixiert. Der Muskel bildet mit dem anliegenden Bindegewebe eine funktionelle Einheit, damit eine Verschiebbarkeit möglich ist. Die Informationen für Bewegungsabläufe werden über Nerven des willkürlichen Nervensystems zu der Skelettmuskulatur transportiert. Der Muskel wird über die Arterien mit Proteinen, Salzen, niedrig-molekularen Stoffen, Hormonen und Nährstoffen versorgt. Über die Venen werden die Stoffwechselabbauprodukte abtransportiert. Nerven und Gefäße befinden sich im lockeren Bindegewebe. Ein Muskel besteht aus einzelnen Muskelfaserbündeln, welche sich wiederum aus hunderten Muskelfasern (Muskelzellen) zusammensetzen. Eine Muskelfaser wird von hunderten bis tausenden von Muskelfibrillen (Myofibrillen) gebildet, welche aus mehreren tausend Myofilamenten bestehen. Die Myofilamente Actin und Myosin bilden die kleinsten kontraktile Elemente (19).

Anhand von muskulären Zuckungen werden schnelle (phasische) Muskelfasern mit einer Zuckungsdauer von 30-40 ms und langsame (tonische) Fasern mit einer Zuckungsdauer von ca. 100 ms unterschieden. Die langsamen Fasern werden aufgrund ihres hohen Gehalts an Myoglobin, einem Sauerstoff-bindenden Protein, auch als sogenannte „rote Fasern“ bezeichnet. Diese Fasern zeichnen sich dadurch aus, dass sie nur langsam ermüden und zu langanhaltenden



Leistungen fähig sind. Die schnellen Fasern werden aufgrund ihres geringen Myoglobin-Gehalts auch als sogenannte „weiße Fasern“ bezeichnet. Sie zeichnen sich durch eine schnelle Ermüdbarkeit und durch die Fähigkeit zu kurzfristigen Höchstleistungen aus (19).

### **1.4.2 Neurophysiologie**

Das Nervensystem wird in das somatische und in das vegetative Nervensystem eingeteilt. Beide Nervensysteme haben dabei unterschiedliche Aufgaben. Das somatische Nervensystem ist für die bewusste Wahrnehmung, die willkürliche Bewegungen sowie für eine schnelle Verarbeitung von Informationen verantwortlich. Hingegen ist das vegetative Nervensystem für das Gleichgewicht des inneren Milieus und für die eigenständige Regulation der Organfunktionen zuständig. Beide Nervensysteme setzen sich aus einer sensorischen (afferente Erregung) und einer motorischen (efferenten Erregung) Verbindung zusammen, wobei die afferenten Fasern die Impulse von der Peripherie zum Zentrum und die efferenten Fasern die Impulse vom Zentrum zur Peripherie transportieren (19).

Das zentrale und das periphere Nervensystem koordinieren die Tätigkeiten der Organsysteme und steuern die Aktivität des Bewegungsapparates, des Atmungssystems, des Kreislaufsystems, des Verdauungssystems, des Urogenitalsystems und des Systems der endokrinen Drüsen. Dabei werden im zentralen Nervensystem die eintreffenden Erregungen bewertet. Das periphere Nervensystem übermittelt die im zentralen Nervensystem entstandenen Impulse an die Peripherie des Körpers und leitet wiederum Impulse aus der Peripherie zum zentralen Nervensystem. Des Weiteren finden im zentralen Nervensystem sogenannte „höhere Leistungen“, wie zum Beispiel Gedächtnis, Lernfähigkeit oder Sprache, statt (19).

### 1.4.3 Dehnungs- bzw. Rückenmarksreflexe

Ein Muskel besitzt zwischen 40 und 500 Rezeptororgane. Die sogenannten Muskelspindeln sind in der Lage mit Hilfe von dehnungsempfindlichen Rezeptoren Veränderungen der Muskellänge wahrzunehmen, welche über Nervenfasern dem Rückenmark mitgeteilt werden. Des Weiteren befinden sich im Muskel-Sehnen-Übergang Sehnenrezeptoren, die sogenannten Golgi-Sehnenorgane, die die Muskelspannung registrieren (19).

Auf Reize aus der Umwelt, wie zum Beispiel Vibrationen, und aus dem Körperinneren reagiert der Organismus mit Reflexantworten. Diese entsprechen unbewusst immer gleich ablaufenden Reaktionen. Der Rückenmarksreflex läuft nach dem sogenannten Reflexbogen ab. Diese funktionelle Einheit setzt sich zusammen aus einem Rezeptor, der den Reiz wahrnimmt und weiterleitet, einem afferenten Neuron, das die Impulse zum Rückenmark transportiert, einer Synapse, auf deren Ebene die Umschaltung auf die motorischen Vorderhornzelle erfolgt, einem efferenten Neuron, über welchen die Impulse das Rückenmark verlassen, und dem sogenannten Erfolgsorgan (19).

Des Weiteren unterscheidet man zwischen monosynaptischen Eigen- oder Dehnungsreflexen und polysynaptischen Reflexen. Bei den monosynaptischen Eigen- oder Dehnungsreflexen befindet sich zwischen dem afferenten und efferenten Neuron eine Synapse. Rezeptor und Effektor befinden sich im selben Organ. Diese zeichnen sich durch kurze Reflexzeiten (Zeit von der Reizsetzung bis zur erfolgten Muskelzuckung) von 20-50 ms, eine fehlende Ermüdbarkeit und eine Unabhängigkeit von der Stärke des Reizes aus. Ihre Funktion liegt in der Kontrolle der Länge und des Spannungszustandes eines Muskels und damit in dem Ausgleich des Einflusses der Schwerkraft. Im Rahmen des Vibrationstrainings spielt der Dehnungsreflex eine wichtige Rolle (19).

Bei den polysynaptischen Reflexen, auch als Fremd- oder Hautreflex bezeichnet, sind Rezeptor und Effektor in verschiedenen Organen lokalisiert und beim Reflexbogen sind mehrere Synapsen sowie Schaltneuronen zwischengeschaltet. Diese sind durch eine längere Reflexzeit, eine schnelle Ermüdbarkeit sowie der Fähigkeit der Summation unterschwelliger Reize charakterisiert (19).

#### **1.4.4 Wirkmechanismen des Vibrationstrainings**

Die genauen Wirkmechanismen der von außen eingeleiteten mechanischen Schwingungen auf den menschlichen Körper sind noch nicht bekannt (19,53). Folgende Wirkmechanismen werden zurzeit als mögliche Erklärung diskutiert.

##### **1.4.4.1 Neuromuskuläre Adaptationen**

Im Rahmen eines klassischen Krafttrainings bilden neuromuskuläre Adaptationen die Grundlage für initiale muskuläre Leistungssteigerungen (19,54). Dieser Mechanismus kann auch beim Vibrationstraining angenommen werden (54,55). Die muskuläre Leistungssteigerung könnte unter anderem auf neuronalen Faktoren, wie einer gesteigerten Rekrutierung und Synchronisation, einer verbesserten muskulären Koordination sowie einer gesteigerten Antwort der Propriozeptoren basieren (26,53,55). Infolge der Adaptationen könnte es durch regelmäßige Überlastung des Systems zu einem Langzeittrainingseffekt kommen (26,56).

Im Hinblick auf den akuten Effekt könnte ein stärkeres Ansprechen des neuromuskulären Systems auf den Vibrationsreiz eine mögliche Erklärung für die größere Effektivität eines Vibrationstrainings bei untrainierten Personen bzw. Personen mit einem geringeren Ausgangsniveau sein (56,57).

##### **1.4.4.2 Der tonische Vibrationsreflex**

Die durch das Vibrationstrainingsgerät applizierten mechanischen Schwingungen stimulieren sensorische Rezeptoren (19). Dadurch werden über die erregten Muskelspindeln die Alpha-Motoneuronen aktiviert, wodurch eine reflexartige Kontraktion der Muskulatur entsteht (26,53,55). Beim Vibrationstraining kann es durch eine schnelle Abfolge von Dehnung und Verkürzung zu einer Überlagerung des Muskeldehnungsreflexes und zu einer anhaltenden Muskelkontraktion kommen. Dieser Vorgang wird als tonischer Vibrationsreflex bezeichnet. Dabei sind sowohl monosynaptische als auch polysynaptische Bahnen in der Lage, diese Reaktion zu initiieren (58). Der tonische Vibrationsreflex ist durch eine langsam zunehmende, asynchrone Aktivierung des Agonisten bis hin zu einem Schwellenwert bei gleichzeitiger Hemmung des Antagonisten charakterisiert. Dabei ist er am einfachsten in aktivierten Muskeln

auslösbar. In diesem Fall dauert die Aktivierung einige Sekunden länger an als der Reiz. Als mögliche Erklärung für den tonischen Vibrationsreflex wird eine Rekrutierung zusätzlicher Motoneuronen diskutiert, wodurch es zu einer Steigerung der muskulären Leistungsfähigkeit kommen könnte (26,58). Darüber hinaus wird angenommen, dass durch den tonischen Vibrationsreflex die willkürliche Muskelkontraktion, zum Beispiel im Rahmen eines klassischen Krafttrainings, gesteigert werden kann (26). Das Auftreten des tonischen Vibrationsreflexes ist abhängig von der Frequenz der eingeleiteten Schwingung, der Muskellänge (Bewegungen), dem Aktivierungsgrad der Muskulatur und der Körperposition des Trainierenden (26,56).

#### **1.4.4.3 Erhöhte Gravitationskräfte**

Die Gravitationskräfte üben einen Einfluss auf die Muskulatur aus. Unter den normalen Gravitationsbedingungen auf der Erde kann die Leistungsfähigkeit der Muskulatur bei einem aktiven Lebensstil erhalten bleiben. Bei einem Zustand der Mikrogravitation, das heißt bei einem Zustand der Schwerelosigkeit, verliert die Muskulatur an Leistungsfähigkeit. Hingegen führt der Einfluss der Hypergravitation, also einer erhöhten Gravitationskraft, zu einem erhöhten Muskelquerschnitt und zu einer gesteigerten muskulären Leistungsfähigkeit (55).

Diese erhöhten Gravitationskräfte können durch mechanische Schwingungen, welche auf den gesamten Körper übertragen werden, entstehen (55,59,60). Der Körper reagiert mittels Muskelkontraktion, um die Schwingungen zu dämpfen (55). Eine weitere Folge der erhöhten Gravitationskräfte ist die vermehrte Ausschüttung von Hormonen, wie zum Beispiel von Sexual- und Wachstumshormonen (55). Im Rahmen eines Vibrationstrainings bestimmt die Kombination von Amplitude und Frequenz das Ausmaß der auf den Körper einwirkenden Beschleunigungen (61).

#### **1.4.5 Funktionsweise des Vibrationstrainings**

Die Schwingungen führen primär zu einer Veränderung des Gelenkwinkels, dessen Ausmaß von der Amplitude abhängig ist (19). Durch die Änderung des Gelenkwinkels kommt es zur Dehnung der Muskelspindel in der Muskulatur, woraufhin eine reflektorische Muskelkontraktion ausgelöst wird (19). Hierauf reagiert der Körper mit einer kurzfristigen muskulären Aktivität, um die eingeleiteten Signale zu dämpfen und mit einer Steigerung der Durchblutung

(25,36,38,56,62). Dabei werden die Muskelgruppen am stärksten aktiviert, welche der Plattform am nächsten sind, wie zum Beispiel die Wadenmuskulatur (60,63).

## **1.5 Studienziel**

Ein Sturzereignis und deren Folgen können zu erheblichen Veränderungen bei älteren Menschen führen, sodass die Entwicklung von neuen Präventionsmaßnahmen gegen das Auftreten von Stürzen eine steigende Bedeutung einnimmt (1).

Anhand von bisherigen Untersuchungen konnten bereits der Einfluss des Vibrationstrainings auf die posturale Kontrolle, die Lokomotion und die muskuläre Leistungsfähigkeit nachgewiesen werden. Im Zentrum dieser klinischen Pilotstudie steht die Erforschung von akuten Effekten sinusförmiger und stochastischer Schwingungsformen auf die Risikofaktoren für ein Sturzereignis bei älteren Menschen mit einer erhöhten Sturzneigung und die Entwicklung neuer Präventionsmaßnahmen. Neben der Untersuchung von akuten Effekten der unterschiedlichen Schwingungsformen sollen die Schwingungen hinsichtlich der folgenden Hypothesen miteinander verglichen werden. Ein Training mit dem stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät besitzt einen akut größeren Effekt auf die posturale Kontrolle und auf die Lokomotion als ein Training mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät. Hingegen führt eine Intervention mit einem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät zu einer akut stärkeren Steigerung der muskulären Leistungsfähigkeit. Die Probanden zeichnen sich allgemein durch einen eingeschränkten körperlichen Trainingszustand aus, sodass zudem die Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Herz- und Atemfrequenz beobachtet werden sollen.

Die Ergebnisse dieser klinischen Pilotstudie können zu einem tieferen Verständnis über die Sturzproblematik bei älteren Menschen beitragen und bei der Entwicklung von effektiven Präventionsmaßnahmen von Stürzen in gefährdeten Personengruppen helfen. Um die akuten Effekte von sinusförmigen und stochastischen Schwingungen zu untersuchen, wurde eine klinische Pilotstudie gewählt, an die sich weitere Untersuchungen anschließen sollen.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Studiendesign

Diese klinische Studie wurde als eine Pilotstudie mit wechselnden Interventionen geplant. Nachdem die Probanden in die Studie eingeschlossen wurden, erfolgte die Zuordnung zur Intervention. Die Probanden absolvierten zwei Trainingseinheiten im Abstand von einer Woche. Nachdem sie bei der ersten Trainingseinheit mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät trainiert hatten, absolvierten sie in der folgenden Woche ein identisches Training mit dem stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät. Durch den Abstand zwischen den beiden Trainingseinheiten, die sogenannte „Wash-out-Periode“, wurde sichergestellt, dass zu Beginn beider Einheiten die gleichen Ausgangsbedingungen herrschten (61,64). Dieser Ablauf wird in der Abbildung 2 dargestellt.

Daten wurden zu drei Zeitpunkten erhoben: vor Beginn des Trainings, nach dem ersten Trainingsintervall und nach Beendigung der Trainingseinheit. Bei der Auswertung war zu beachten, dass durch den Übertragungseffekt (Carry-Over-Effekte) die interne Validität eingeschränkt sein konnte (64).

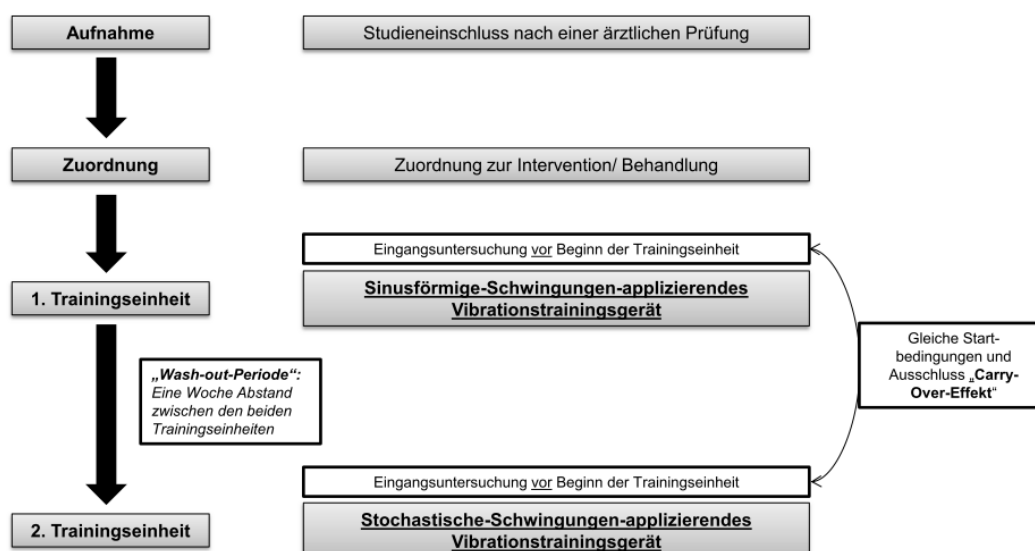


Abbildung 2: Übersicht über das Studiendesign

## 2.2 Probandenrekrutierung

Die Rekrutierung der Probanden fand in unterschiedlichen Institutionen statt. Zu diesen Institutionen gehörte der Sturzprophylaxekurs der Klinik für Rehabilitationsmedizin der Medizinischen Hochschule Hannover, die Physiotherapiepraxis Köhler in Hannover-Stöcken und das Integra Seniorenpflegezentrum in Hannover-Stöcken.

Im Rahmen einer ärztlich durchgeführten Befragung im Hinblick auf das Vorliegen von Kontraindikation für ein Vibrationstraining wurden die Probanden in die Studie eingeschlossen bzw. ausgeschlossen. Mithilfe des Probanden-Erfassungsbogens wurde das Auftreten eines Sturzereignisses im vorangegangenen Jahr ermittelt, das einen bedeutenden Risikofaktor und zugleich ein Einschlusskriterium darstellte. Des Weiteren wurden die körperliche Aktivität, die betriebene Sportart, die Benutzung von Hilfsmitteln zur Fortbewegung, die Fähigkeit, eine Gehstrecke von 20 Metern zu bewältigen, und Vorerkrankungen, die eine Teilnahme an der Studie ausschließen würden, dokumentiert. Dabei hatten die Teilnehmer die Möglichkeit, ihre körperliche Aktivität in vier Tätigkeitsstufen einzuordnen: vorwiegend sitzend (1 Punkt), Gehen oder Radfahren weniger als dreimal pro Woche (2 Punkte), körperliche Aktivität mindestens dreimal pro Woche (3 Punkte) und intensiver Sport mehr als viermal pro Woche (4 Punkte). Die Verteilung der Antworten hinsichtlich der körperlichen Aktivität wurde in absoluten Zahlen angegeben. Des Weiteren wurden die Teilnehmer nach der Benutzung von Hilfsmitteln im Alltag zur Fortbewegung und der Fähigkeit, 20 Meter und mehr zu gehen, befragt. Hierbei hatten sie die Möglichkeit, die Fragen mit der Antwort ja (1 Punkt) und der Antwort nein (2 Punkte) zu beantworten. Die Antworten wurden in absoluten Zahlen dargestellt.

Im Anschluss an die ärztlich durchgeführte Befragung wurden die Probanden in einem persönlichen Gespräch sowie schriftlich über den Ablauf der Studie aufgeklärt.

Nach Ausschluss möglicher Kontraindikationen für ein Vibrationstraining (s. u.) und der schriftlichen Einwilligung (siehe Probandeninformation und Einverständniserklärung im Anhang auf Seite 83-85) wurden die Probanden in die Studie aufgenommen.

## **2.3 Einschluss- und Ausschlusskriterien**

Einschlusskriterien für die Probandenauswahl waren die Einwilligung zur Studienteilnahme, ein Sturzereignis bzw. mehrere Stürze in den vergangenen zwölf Monaten, ein Mindestalter von 65 Jahren und die Fähigkeit, eine Gehstrecke von mindestens 20 Metern mit oder ohne Hilfsmittel zu bewältigen.

Ausschlusskriterien stellten eine bekannte koronare Herzkrankheit oder arterielle Verschlusskrankheit, eine nicht ausreichend eingestellte arterielle Hypertonie, ein Diabetes mellitus mit fortgeschrittenen Mikroangiopathien, Gangränen, diabetischem Fußsyndrom, Netzhautproblematiken, Herz- oder Hirnschrittmacher, eine frühere Thrombose, große, nicht lagestabile Gallen- und Nierensteine, rheumatoide Arthritis, akute Entzündungen des Bewegungsapparats (aktivierte Arthrose oder Arthropathie), akute Tendinopathien in trainierten Körperregionen, eine bekannte Epilepsie (sekundäre Verletzungsgefahr), akute Hernien, akute Diskopathie, frische Frakturen in trainierten Körperregionen, Operationen in den vergangenen 6-8 Wochen und ein künstlicher Gelenkersatz, der jünger als 6 Monate war, dar.

## **2.4 Interventionen**

### **2.4.1 Intervention mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät**

Das Board-3000-Trainingsgerät appliziert sinusförmige Schwingungen, wodurch die posturale Kontrolle, die Lokomotionsstörungen und die muskuläre Kraft beeinflusst werden sollen (21-24).

Die Konstruktion als Wippe ermöglicht eine stufenlose Wahl der Amplitude durch Veränderung der Fußposition und eine frei wählbare Frequenz von 2 bis 27 Hertz (Hz) (65).

Die seitenalternierenden Bewegungen führen zu Dehnreflexen in der Muskulatur, welche nicht willkürlich ausgelöst werden. Das Prinzip der überlagernden Vibrationsbelastung setzt sich aus einer gesteigerten Rekrutierung und einer Aktivierung von motorischen Einheiten, die durch die Auslösung eines zyklischen Muskeldehnungsreflexes entstehen, zusammen (25-27). Die Abfolge von Dehnung und Verkürzung bei einer Frequenz über 30 Hertz bewirkt eine Überlagerung des



Muskeldehnungsreflexes, welches zu einer anhaltenden Kontraktion eines Muskels führt, dem sogenannten „tonischen Vibrationsreflex“ (25-27). Das Training mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät kann die muskuläre Leistung durch eine verbesserte intra- und intermuskuläre Koordination steigern (25,66,67).



Abbildung 3: Probandin auf dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät

Die Intervention mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät umfasste sechs Trainingsintervalle von jeweils 60 Sekunden, eine Frequenz von 10 Hz (gemessene Frequenz 8,19 Hz) und eine Amplitude von 3 mm (Fußposition 2).

Damit die Ergebnisse hinsichtlich der Schwingungsform nicht durch andere Faktoren beeinflusst werden konnte, nahmen die Probanden auf beiden Trainingsgeräten die gleiche Grundstellung ein. Durch die vorgegebene Körperposition wurde verhindert, dass Bewegungen und statische Übungen der Trainierenden auf dem Trainingsgerät einen Effekt ausübten. Bei dieser Stellung wurden die Probanden angewiesen, die Füße parallel in die Fußposition 2 zu stellen, die Beine leicht zu beugen, im Bereich des unteren Rückens ein leichtes Hohlkreuz zu bilden, die Bauchmuskulatur anzuspannen und sich mit den Händen an dem Halterungsgriff festzuhalten (19). Außerdem wurden die Geräte und dessen Frequenz mit einem dreidimensional arbeitenden Beschleunigungsmesser hinsichtlich der Genauigkeit der applizierten Frequenz und der Schwingungsform vermessen, sodass identische Frequenzen appliziert wurden. Im Rahmen der

Trainingseinheit mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät wurde eine gemessene Frequenz von 8,19 Hz appliziert und eine Amplitude von 3 mm gewählt.

Der Nachweis für das Board-3000-Trainingsgerät als medizinisches Produkt befindet sich im Anhang auf Seite 92.

#### **2.4.2 Intervention mit dem stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät**

Der srt-medical erzeugt multidimensionale und ständig variierende Reize. Der dabei entstehende stochastisch-randomisierte Charakter führt zu einer verbesserten sensorischen Wahrnehmung und zu einer schnellen Aktionsfähigkeit (28,30). Dadurch kann die Gang- und Gleichgewichtsregulation optimiert bzw. aufrechterhalten werden (68). Die Grundfrequenz liegt in einem Bereich von etwa  $\pm 1$  Hertz (Hz) (28,30). Die ständige Reizung des Gleichgewichts aktiviert ein breites muskuläres Aktionsmuster (23,28-30). Durch die applizierten Reize entstehen Ganzkörperschwingungen bis zwölf Hertz. Im Gegensatz zu einem Training mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät lösen die Schwingungen keinen tonischen Vibrationsreflex in der betroffenen Muskulatur aus. Stattdessen kommt es zu einer Tonussenkung zwischen einzelnen Kontraktionen (25-27). Indem der Körper versucht, die Schwingungen auszugleichen, wird das neuromuskuläre Reflexsystem trainiert (23,28-30). Der Proband stand jeweils mit einem Fuß auf einer Platte, die sich auf und ab, vor und zurück und in medio-lateraler Richtung bewegte. Die Fußposition und die damit verbundene Amplitude waren somit nicht frei wählbar.

Die Intervention mit dem stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät erfolgte über insgesamt sechs Trainingsintervallen von jeweils 60 Sekunden mit einer Frequenz von 8 Hz (gemessene Frequenz 8,33 Hz) und einer Amplitude von 3 mm.

Damit die Ergebnisse hinsichtlich der Schwingungsform nicht durch andere Faktoren beeinflusst werden konnte, nahmen die Probanden auf beiden Trainingsgeräten die identische, bereits oben beschriebene Grundstellung ein.

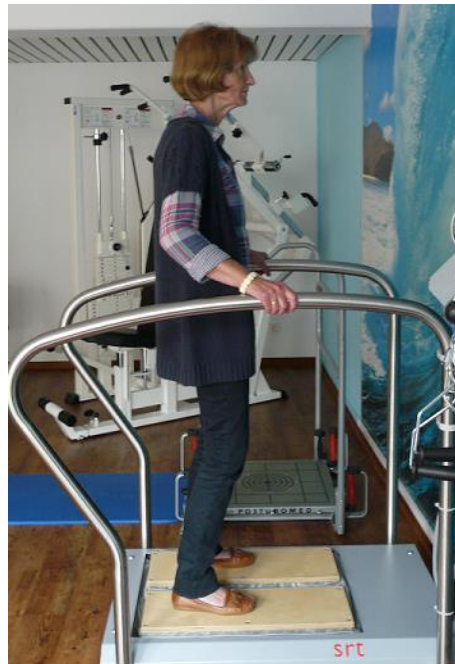


Abbildung 4: Probandin auf dem stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät  
 Im Rahmen des Trainings mit dem stochastische -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät wurde eine Frequenz von 8,33 Hz appliziert. Demzufolge unterschieden sich die Reize bei den Trainingseinheiten nur durch dessen Schwingungsformen (26).

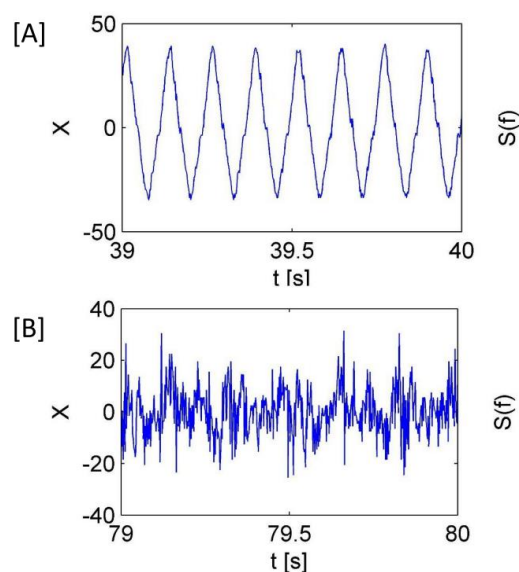


Abbildung 5: Graphische Darstellung von sinusförmigen Schwingungen (A) und stochastischen Schwingungen (B) (19)  
 Die Abbildung 5 zeigt die graphische Darstellung der Schwingungen, die mit dem Beschleunigungsmesser gemessen wurden. Die obere Graphik zeigt sinusförmige Schwingungen. Auf der unteren Graphik werden die stochastischen Schwingungen dargestellt.

Der Nachweis für das srt-medical-Trainingsgerät als medizinisches Produkt befindet sich im Anhang auf Seite 93.

### **2.4.3 Auswahl von Frequenz und Amplitude**

Im Zentrum dieser klinischen Pilotstudie stehen die Methoden des Vibrationstrainings sowie die Erforschung von akuten Effekten sinusförmiger und stochastischer Schwingungsformen auf die Risikofaktoren für ein Sturzereignis bei älteren Menschen mit einer erhöhten Sturzneigung.

Ein Vibrationstraining wird neben den applizierenden Schwingungsformen durch die Frequenz, die Amplitude der Bewegung, die Applikationsdauer sowie durch die Körperhaltung bzw. durch die auf dem Gerät ausgeführten Bewegungen gesteuert (4).

Zur Untersuchung der sinusförmigen und stochastischen Schwingungen erfolgte die Voreinstellung von identischen Parametern bei der Frequenz und der Amplitude.

Die Frequenzauswahl wurde bestimmt durch den angestrebten Effekt und von den technischen Einstellungsmöglichkeiten der jeweiligen Vibrationstrainingsgeräte. Das stochastische-Schwingungen-applizierende Vibrationstrainingsgerät konnte dabei Schwingungen mit einer Frequenz bis zu 12 Hz abgeben.

Die Amplitudeneinstellung wurde durch die Fußstellung beeinflusst. Beim stochastische-Schwingungen-applizierende Vibrationstrainingsgerät war entsprechend der Abbildung 4 keine freie Wahl der Fußposition und der Amplitude möglich.

Insgesamt wurde die Voreinstellung der Frequenz und der Amplitude durch das stochastische-Schwingungen-applizierende Vibrationstrainingsgerät vorgegeben, sodass identische Einstellungen am sinusförmige-Schwingungen-applizierende Vibrationstrainingsgerät erfolgten.

## 2.5 Datenerhebung

### 2.5.1 Ablauf der Datenerhebung


Die Datenerhebung erfolgte an zwei Trainingstagen am Untersuchungsstandort in der Physiotherapiepraxis Köhler in Hannover-Stöcken. Zwischen diesen Trainingseinheiten befand sich eine Woche Abstand, um eventuelle Effekte der ersten Trainingseinheit auf den zweiten Trainingstag (Carry-over-Effekte) zu verhindern (39). Nachdem die Probanden bei der ersten Trainingseinheit mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät trainiert haben, absolvierten sie in der folgenden Woche ein identisches Training mit dem stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät. Während der Trainingseinheiten wurden die Probanden vom Doktoranden der Studie unter Supervision eines Sportwissenschaftlers der Medizinischen Hochschule Hannover betreut, sodass jederzeit ein Ansprechpartner bei Fragen und Problemen zur Verfügung stand. Die Probanden wurden eingangs durch den Doktoranden in den Untersuchungsablauf und in den Umgang mit den Vibrationstrainingsgeräten eingewiesen. Die Untersuchungen und die Datenerhebung wurden vom Doktoranden begleitet und ermittelt.

Vor der ersten Trainingseinheit wurde die kognitive Leistungsfähigkeit der Probanden mit der „Mini-Mental-State-Examination“ (MMSE) erfasst. Um die Sturzangst der Studienteilnehmer zu ermitteln, wurde ein standardisierter Fragebogen ausgehändigt, die deutsche Version der „Falls Efficacy Scale International“ (FES-I).

Vor jeder Trainingseinheit wurde im Rahmen der Eingangsuntersuchung eine statische Posturographie durchgeführt. Außerdem absolvierten die Probanden den Timed-up-and-go-Test und eine Ganganalyse.

Daraufhin absolvierten die Studienteilnehmer ein Trainingsintervall über 60 Sekunden mit dem jeweiligen Trainingsgerät. Nach Abschluss des ersten Trainingsintervalls wurden die Probanden mittels der Borgskala nach der subjektiv empfundenen Belastung gefragt. Dabei konnten die Probanden einen Wert zwischen 6 und 20 wählen, wobei der Wert 6 für eine nicht anstrengende Belastung und der Wert 20 für eine maximale Anstrengung steht. Die Messwerte nach dem ersten Trainingsintervall und nach der kompletten Trainingseinheit bei den Interventionen mit dem sinusförmige- und stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät

wurden initial zeitabhängig ausgewertet. Daraufhin wurde ein Gruppenvergleich zwischen den Interventionen anhand der Differenz der Messwerte nach dem ersten Trainingsintervall und nach der Intervention vorgenommen.



6	Überhaupt nicht anstrengend	
7	Extrem leicht	
8	Sehr leicht	
9	Leicht	
10		
11	Ein wenig anstrengend	
12		
13	Anstrengend	
14		
15	Sehr anstrengend	schwer
16		
17	Extrem anstrengend	
18		
19	Maximale Anstrengung	
20		

Abbildung 6: Borgskala (69)

Des Weiteren wurde mit der subjektiven Einschätzung der Probanden im Hinblick auf die Aussage „Ich habe einen sicheren Stand“ deren aktuelles Standempfinden erfasst. Ihnen wurden dabei folgende Antwortmöglichkeiten vorgegeben: stimme überhaupt nicht zu (1 Punkt), stimme nicht zu (2 Punkte), keine Meinung / weder noch (3 Punkte), stimme zu (4 Punkte) und stimme sehr zu (5 Punkte). Die Auswertung zu dem aktuellen Standempfinden erfolgte analog zu der Analyse der Messwerte bei der Borgskala.

Die posturale Kontrolle wurde mittels der statischen Posturgraphie erfasst.

Nach diesen Untersuchungen führten die Probanden fünf weitere identische Trainingsintervalle durch. Zwischen den einzelnen Serien waren 60-Sekunden-Pausen geplant.

Nach Abschluss des Trainings wurden die Probanden mittels der Borgskala erneut nach der subjektiv empfundenen Belastung gefragt. Die Auswertung erfolgte nach der oben genannten Skala. Des Weiteren wurden die Probanden nach ihrer subjektiven Einschätzung über ihr aktuelles Standempfinden befragt.

Im Rahmen der Abschlussuntersuchung wurden erneut die Untersuchungen der Eingangsuntersuchung durchgeführt.

Am Ende der Trainingseinheiten füllten die Probanden einen Fragebogen zur Evaluation aus, der ihre Zufriedenheit mit dem jeweiligen Vibrationsgerät ermittelte.

Während der Durchführung beider Trainingseinheiten trugen die Probanden einen Brustgurt zur Überwachung der Herz- und Atemfrequenz. Die Vitalparameter wurden mittels des BioHarness-Geräts erfasst. Das mobile BioHarness-Gerät wurde vor der Eingangsuntersuchung angelegt und nach Ende der Trainingseinheit abgenommen, sodass eine Messung über den gesamten Zeitraum erfolgt. Der Ablauf wird in der Abbildung 7 graphisch dargestellt.

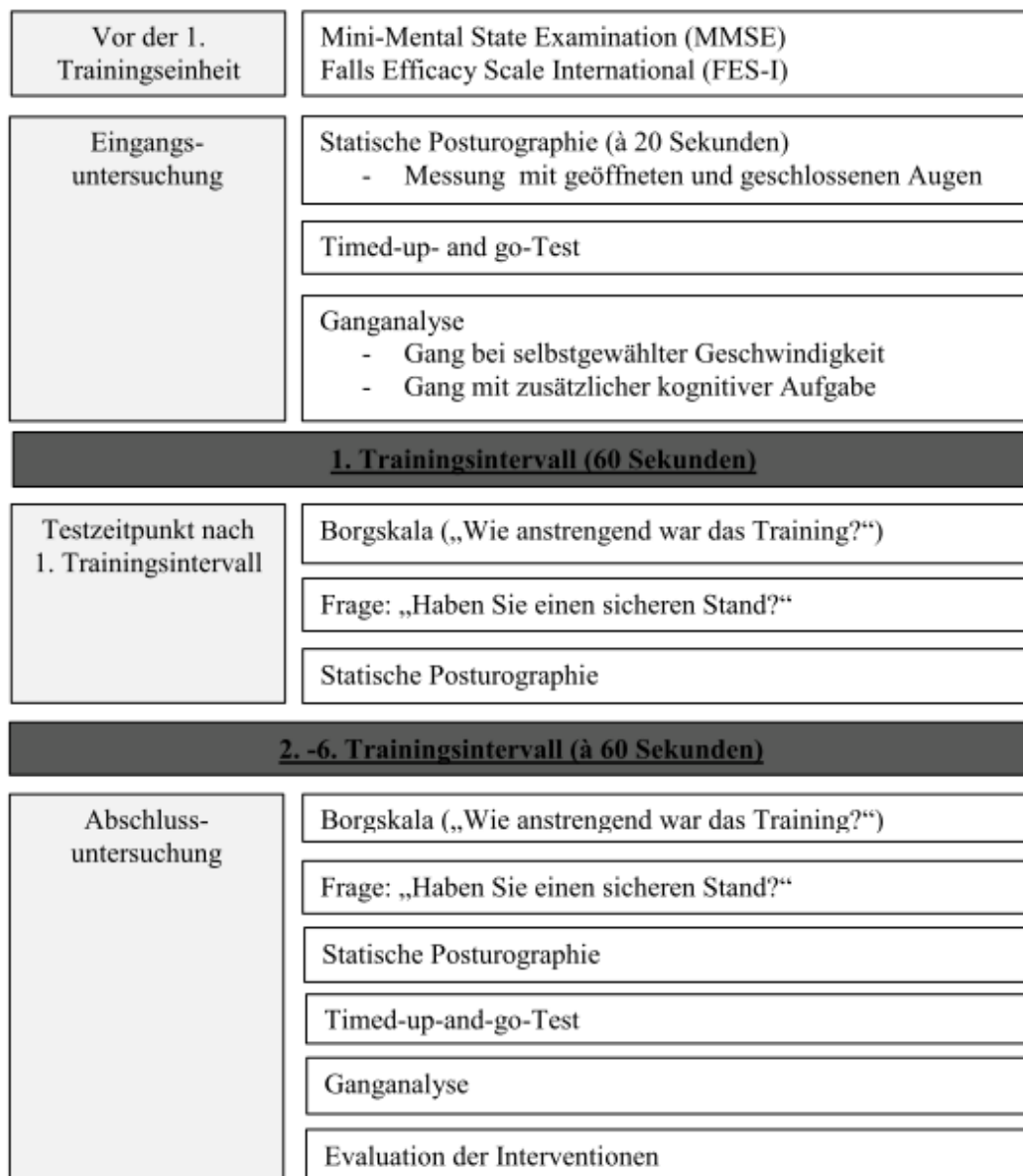


Abbildung 7: Ablauf einer Trainingseinheit

## 2.5.2 Primär zu erhebende Daten

### 2.5.2.1 Posturale Kontrolle mittels statischer Posturographie

Die posturale Kontrolle wurde mittels einer statischen Posturographie gemessen. Die Posturographie ermittelt die Funktionsfähigkeit der Gleichgewichtsregulation unter Belastung der unteren Extremitäten. Während der Untersuchung standen die Probanden auf einer Kraftmessplatte der Novotec Medical, die mittels einer Druckmessung über vier Sensoren und einer entsprechenden Software Veränderungen des Körperschwerpunkts erfasste (70,71).



Abbildung 8: Probandin auf der Kraftmessplatte

Vor dem Testbeginn wurden die Probanden in den Ablauf eingewiesen. Dies diente der Gewöhnung an die Testbedingungen, zudem wurde ihnen die richtige Körperstellung auf der Kraftmessplatte gezeigt. Während der Testdurchführung standen die Probanden mit beiden Füßen auf einer Kraftmessplattform, welche den zentralen Druckpunkt der Platte erfassen konnte. Dieser Druckpunkt entsprach dem Körperschwerpunkt (7). Des Weiteren sollten sich die Probanden schulterbreit hinstellen, um einen möglichst sicheren Stand vor der Testdurchführung einzunehmen. In dem Zeitraum der Testdurchführung versuchten die Probanden, 20 Sekunden so ruhig wie möglich zu stehen. Die Untersuchung wurde einmal mit offenen Augen und einmal mit geschlossenen Augen durchgeführt. Bei der Testdurchführung mit offenen Augen sollten die Probanden einen Punkt an der gegenüberliegenden Wand fixieren.



Die Messung erfolgte mit dem sogenannten Leonardo-Mechanographiesystem der Novotec Medical. Die Kraftmessplatte erfasste die Kräfte orts aufgelöst, sodass eine stabilometrische Analyse zur Bewertung der Balance möglich war (72). Dabei wurde die Verlagerung des zentralen Druckpunktes der Füße über einen Zeitraum von 20 Sekunden mit Hilfe von vier Sensoren gemessen. Die Abtastrate pro Sensor lag bei 800 Hz (72). Zur Beurteilung der posturalen Kontrolle wurden die Parameter Standard-Ellipse ( $\text{cm}^2$ ) und Center of Force (CoF in cm) gemessen. Anhand der folgenden Schemazeichnung in Abbildung 9 sollen die erhobenen Werte graphisch veranschaulicht werden.

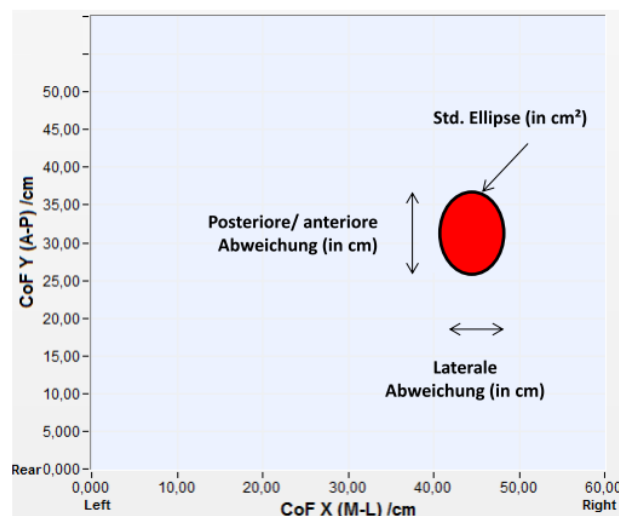


Abbildung 9: Schemazeichnung der Posturographie-Messung (72)

Die Standard-Ellipse stellt den Körperschwerpunkt als eine Fläche dar, indem 90 % der Abweichungen nach posterior/ anterior sowie nach lateral berücksichtigt werden. Des Weiteren werden die einzelnen Standardabweichung sowohl von der mittleren Position in anterior/posterior (A/P-) und lateral/medialer (L/M-) Richtung als auch unabhängig von der Richtung untersucht (72). Das Ausmaß der Schwankungen ließ Rückschlüsse auf die Gleichgewichtsfähigkeit des Probanden zu (71). Je größer diese Schwankungen sind, desto höher ist beispielsweise das Sturzrisiko (71,73,74).

Bei der Intervention mit dem sinusförmige- und stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät erfolgte die Untersuchung der posturalen Kontrolle zu den drei Messzeitpunkten: im Rahmen der Eingangsuntersuchung; nach einem Trainingsintervall (60 Sekunden); bei der Abschlussuntersuchung.

Im Rahmen der Auswertung wurde initial der akute Zeiteffekt der jeweiligen Schwingungsform für jede Trainingseinheit betrachtet. Hierbei erfolgte die Untersuchung des akuten Effekts durch Vergleich der Werte nach einem Trainingsintervall bzw. nach der Abschlussuntersuchung mit denen der Eingangsuntersuchung.

Zweitens wurden die Auswirkungen der sinusförmigen und stochastischen Schwingungen direkt miteinander verglichen, indem die Differenzen zwischen Eingangsuntersuchung und den Messwerten nach einem Trainingsintervall bzw. nach der Abschlussuntersuchung bezüglich signifikanter Veränderungen untersucht wurden.

### 2.5.3 Sekundär zu erhebende Daten

#### 2.5.3.1 Timed-up-and-go-Test

Der Timed-up-and-go-Test entspricht einem funktionalen Basistest mit hoher Praxisrelevanz. Er dient der Beurteilung von Gleichgewichtsfähigkeit, Gangbild und der muskulären Leistungsfähigkeit sowie ist eine Weiterentwicklung des „get-up-and-go“-Tests nach Mathias et al (75,76).

Der Test wurde wie im Folgenden beschrieben durchgeführt: Vor Testbeginn nahmen die Probanden eine Ausgangsposition ein, in welcher sie mit dem Rücken an der Rückenlehne eines Stuhls saßen und die Arme auf die Armlehnen legten (75). Die Probanden, die ihre eventuell benötigte Gehhilfe benutzen durften, standen nach Aufforderung von diesem Stuhl mit einer Sitzhöhe von 46 cm auf. Daraufhin absolvierten sie eine Strecke von drei Metern, kehrten nach Erreichen der Distanz um, gingen zurück und setzten sich wieder auf den Stuhl. Bei der Testdurchführung sollten die Probanden die Strecke in ihrer gewohnten Geschwindigkeit ohne äußere Beeinflussung bewältigen. Zur Eingewöhnung absolvierten sie vor der eigentlichen Durchführung einen Probedurchgang. Die Dauer wurde in Sekunden gemessen (7). Bei der Intervention mit dem sinusförmige- und stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät erfolgte die Erhebung des Timed-up-and-go-Tests zu den zwei Messzeitpunkten der Eingangs- und der Abschlussuntersuchung.

Der gemessene Zeitbedarf diente zur Beurteilung von Gleichgewichtsfähigkeit, Gangbild und muskulären Leistungsfähigkeit. Nach Podsiadlo und Richardson entspricht eine Messdauer von unter 10-Sekunden einer unabhängigen Lokomotion. Falls der Zeitbedarf zwischen 20 und 29 Sekunden liegt, deutet dies auf eine abklärungsbedürftige und funktionell relevante Mobilitätseinschränkung hin. Ein Zeitbedarf über 30 Sekunden weist auf eine ausgeprägte Mobilitätseinschränkung hin, die mit Interventions- und Hilfsmittelbedarf verbunden ist (7,75).

Der Timed-up-and-go-Test ist valide, besitzt eine gute Test-Retest-Reliabilität, eine hohe Interrater-Reliabilität und eine gute Sensitivität und Spezifität (75-77). Die Auswertung des akuten Zeiteffektes der jeweiligen Schwingungsform erfolgte durch Vergleich der einzelnen Messwerte. Zweitens wurde durch die Untersuchung der Differenzen zwischen Eingangs- und Abschlussuntersuchung der akute Gruppeneffekt der Schwingungsformen verglichen.

### 2.5.3.2 Ganganalyse

Anhand von Studien konnte gezeigt werden, dass sich ab einem Alter von 60 Jahren die räumlichen und zeitlichen Parameter des Gangs verändern. In diesen Studien kam es zu einer Verringerung der Schrittlänge, zu einer Reduzierung der Gehgeschwindigkeit, zu einer vergrößerten Schrittweite, zu einer erhöhten „double support time“ und zu einer vergrößerten Variabilität des Gangs (78-80). Diese Veränderungen werden mit Sturzereignissen und dem Auftreten einer Angst vor Stürzen in Zusammenhang gebracht (78,79,81). Eine Reihe von physischen und psychischen Faktoren sind vermutlich ursächlich für diese Veränderungen (78).

Die Ganganalyse erfolgte mittels des sogenannten GAITRite-Ganganalyseteppichs. Das GAITRite-System ist ein mobiles Ganganalysesystem in Form eines Teppichs mit integrierten Sensoren. Indem die Probanden über diesen Teppich gehen, werden die Parameter des Gangs wie Ganggeschwindigkeit, Schrittweite, Schrittlänge, Gangablauf, Gangstellung, Schwenkzeit und deren Schwankungen gemessen.

Es besitzt ein niedriges Profil, sodass der normale Gang nicht beeinflusst wird. Außerdem ist kein zusätzliches Anlegen von Messinstrumenten an die Probanden erforderlich. Der Ganganalyseteppich kann auch bei Probanden mit einer Gehhilfe oder einem komplexen Gangbild angewendet werden. Die Untersuchung kann sowohl mit als auch ohne Schuhe durchgeführt werden.

Die Probanden wurden im Vorfeld angewiesen, an beiden Trainingstagen das gleiche Schuhwerk zu tragen. Außerdem durften sie, sofern benötigt, ihre Sehhilfe und Hörhilfe tragen (79). Durch die Auswertung mehrerer aufeinanderfolgender Schritte erhöhte sich die Zuverlässigkeit der Messung (82). Es wurden alle räumlichen und zeitlichen Parameter des Gangs erfasst (83). Im Rahmen dieser Studie wurde die Standardmatte mit einem aktiven Bereich von 488 x 61 cm eingesetzt. In diesem Bereich befanden sich 16.128 Sensoren im Abstand von je 1,27 cm.

Damit sich die Probanden an den Testaufbau gewöhnen konnten, sollte jeder Proband einige Gänge vor dem eigentlichen Test durchführen. Die Probanden wurden folgendermaßen in die Testdurchführung eingewiesen: Sie sollten zwei Meter vor dem Ganganalyseteppich mit dem Gehen in einer von ihnen gewohnten Geschwindigkeit beginnen und erst nach weiteren zwei Metern nach Ende der Matte aufhören (83). Diese Vorgaben stellten sicher, dass die Probanden mit einer Gehgeschwindigkeit den Messbereich der Matte überqueren, die der im alltäglichen Leben entsprach (83).



Abbildung 10: Probandin beim Überqueren des- Ganganalyseteppichs

Bei einer weiteren Untersuchung wurde die Ganganalyse mit einer kognitiven Aufgabe verbunden, indem die Probanden während des Überquerens der Matte laut von 50 rückwärts zählen sollten. Die Anwendung einer Zusatzaufgabe ist validiert (79). Anhand von Studien wurde nachgewiesen, dass die Variabilität des Gangs durch Zusatzaufgaben bei älteren Menschen signifikant zunimmt und weitere Veränderungen auftreten, die auf eine reduzierte Kontrolle des Gangs hinweisen (84,85).

Die gemessenen Informationen von jeweils acht linken und rechten Schritten waren für die Beurteilung des normalen Gangs ausreichend (83,86). Bedingungen für die Testdurchführung waren, dass der Raum eine reproduzierbare Testsituation bezüglich der Lichtverhältnisse erlaubte und die Probanden durch keine potentiellen audiovisuellen Einflüsse abgelenkt wurden (79). Diese Bedingungen waren bei dieser Studie durch identische Untersuchungsbedingungen erfüllt. Anhand von Studien wurde eine hohe Reliabilität und Validität sowie eine hohe Test-Retest-Reliabilität in Bezug auf die räumlichen und zeitlichen Parameter belegt (83,87). Mithilfe dieses Systems war es möglich geringe Veränderungen von Gangparametern zu identifizieren, sodass die Therapiemethoden überprüft werden konnten (88).

Die Ganganalyse erfolgte während der Interventionen mit dem sinusförmige- und stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät an den zwei Testzeitpunkten bei der Eingangs- und der Abschlussuntersuchung.

Bei der Auswertung erfolgte initial die Untersuchung des akuten Effekts der sinusförmigen und der stochastischen Schwingungen auf den Gang und die Gangparameter (s. o.). Hierbei wurde die zeitabhängige Veränderung der Gangparameter von der Eingangs- und der Abschlussuntersuchung gegenübergestellt.

Zweitens erfolgte ein weiterer Intergruppenvergleich, wobei der akute Effekt der kognitiven Aufgaben jeweils für die Interventionen mit dem sinusförmige- und stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät untersucht wurde. Dazu wurden die gebildeten Differenzen zwischen der Eingangs- und der Abschlussuntersuchung für das Gehen in einer selbstgewählten Geschwindigkeit und das Gehen mit einer zusätzlichen kognitiven Aufgabe gegenübergestellt und bezüglich signifikanter Unterschiede ausgewertet.

In einem nächsten Schritt erfolgte ein Gruppenvergleich zwischen den Interventionen. Hierbei wurden die Differenzen der Messwerte zwischen der Eingangs- und der Abschlussuntersuchung jeweils für das Gehen in einer selbstgewählten Geschwindigkeit und das Gehen mit einer zusätzlichen kognitiven Aufgabe hinsichtlich signifikanter Unterschiede zwischen den beiden Interventionen verglichen.

Am Ende wurde der akute, kumulative Effekt der Schwingungen und der zusätzlichen kognitiven Aufgabe auf den Gang und die Gangparameter ausgewertet. Hierzu wurden die Differenzen der Messwerte zwischen dem Gehen in einer selbstgewählten Geschwindigkeit und dem Gehen mit einer zusätzlichen kognitiven Aufgabe jeweils für die Schwingungsformen gebildet und gegenübergestellt.

### **2.5.3.3 Evaluation der Interventionen**

Nach jeder Trainingseinheit hatten die Probanden die Möglichkeit die jeweilige Intervention mithilfe eines Fragebogens zu evaluieren. Dazu füllten sie selbst einen Fragebogen mit 14 Fragen aus. Bei 10 Fragen hatten die Probanden die Möglichkeit die jeweiligen Aussagen mit einer fünfstufigen Skala zu beantworten. Dabei gab es folgende Antwortmöglichkeiten: stimme überhaupt nicht zu (1 Punkt), stimme nicht zu (2 Punkte), keine Meinung (3 Punkte), stimme zu (4 Punkte), stimme sehr zu (5 Punkte) (89). Bei der elften Frage konnten die Probanden angeben, ob sie das Vibrationstrainingsgerät lieber in ihrer Wohnung bzw. zu Hause oder in einem öffentlichen Bereich nutzen würden. Die weiteren drei offenen Fragen konnten die Probanden

individuell beantworten. Mittels dieser Evaluation wurden Informationen über Zufriedenheit und Annahme der jeweiligen Intervention erfasst. Der im Rahmen dieser Studie verwendete Fragebogen befindet sich im Anhang auf Seite 99 bis 101.

Anhand der oben genannten Skala wurden die Antworten der Fragebögen gewertet und im Hinblick auf signifikante Unterschiede zwischen den Interventionen untersucht.

#### **2.5.3.4 Erfassung der kognitiven Leistungsfähigkeit mithilfe des MMS-Fragebogens („Mini Mental State Examination) (MMSE))**

Der MMSE-Fragebogen dient der Erfassung der kognitiven Leistungsfähigkeit (90,91). Es stellt die am weitesten verbreitete Screening-Methode für kognitive Störungen dar. Der Test umfasst 30 Fragen zu folgenden fünf Gebieten: Orientierung, Merkfähigkeit, Aufmerksamkeit, Erinnerungsfähigkeit und Sprache (92). Die Probanden erhalten pro richtige Antwort einen Punkt, sodass eine Gesamtpunktzahl von 0 bis 30 Punkten erreicht werden kann. Dabei werden folgende Parameter untersucht: Orientierung (10 Punkte), Merk- und Erinnerungsfähigkeit (6 Punkte), Aufmerksamkeit und Flexibilität (5 Punkte), Sprache (3 Punkte), Anweisungen befolgen (3 Punkte), Lesen, Schreiben, Nachzeichnen (je 1 Punkt). Anhand der erreichten Punktzahl kann man Aussagen über die kognitive Leistungsfähigkeit tätigen. Eine Punktzahl zwischen 30 und 24 Punkten deutet auf kein kognitives Defizit hin. Bei einer Punktzahl zwischen 23 und 18 Punkten spricht man von einer leichten Demenz. Eine Punktzahl zwischen 17 und 11 Punkten entspricht einem moderaten kognitiven Defizit. Eine Punktzahl unter 11 Punkten deutet auf eine schwere Form der Demenz hin.

Der MMSE-Fragebogen wurde im Rahmen eines Interviews vor der ersten Trainingseinheit erhoben. Ein MMSE-Fragebogen befindet sich im Anhang auf Seite 96 und 97.

### **2.5.3.5 Erfassung der Sturzungst mit Hilfe des FES-I-Fragebogen (Falls Efficacy Scale-International)**

Der FES-I-Fragebogen dient der Erfassung der Sturzungst (78). Anhand von Studien konnte gezeigt werden, dass die Angst vor Stürzen zu einer verminderten Lebensqualität, zu der Entwicklung von Depressionen und zu einer erhöhten Gebrechlichkeit führt (78). Aufgrund der daraus resultierenden Abnahme von Bewegungen im Alltag und der physischen Leistungsfähigkeit wird die Sturzungst selbst zu einem Risikofaktor für das Auftreten von Stürzen (78,93,94).

Außerdem hat die Sturzungst Einfluss auf die räumlichen und zeitlichen Parameter des Gangs älterer Menschen (78). Auf der einen Seite nehmen die Gehgeschwindigkeit und die Schrittlänge ab. Und auf der anderen Seite werden die Schrittweite und der „double limb support time“ größer (78).

Für die Datenerhebung wurde die deutsche modifizierte Version des FES-I benutzt. Der Fragebogen umfasst 16 Fragen, die sich auf Alltagssituationen beziehen. Dabei sollen die Probanden ihre Angst vor Stürzen in den jeweiligen Situationen angeben (95). Die Probanden können sich für folgende Antwortmöglichkeiten entscheiden: keinerlei Bedenken (1 Punkt), einige Bedenken (2 Punkte), ziemliche Bedenken (3 Punkte) und sehr große Bedenken (4 Punkte). Insgesamt können 16 bis 64 Punkte erreicht werden. Der Fragebogen kann von den Probanden selbstständig oder im Rahmen eines Interviews bearbeitet werden (95). Die deutsche Version des FES-I ist valide und reliabel (95).

Der FES-I wurde vor der ersten Trainingseinheit durchgeführt. Ein FES-I Fragebogen befindet sich im Anhang auf Seite 98.

### **2.5.3.6 Kontrolle von Herz- und Atemfrequenz mittels BioHarness**

Die Vitalparameter Herz (HF)- und Atemfrequenz (AF) wurden mittels des BioHarness-Geräts (BioHarness<sup>TM</sup> BT, Zephyr-technology, Annapolis; USA) erfasst. Das BioHarness-Gerät ist ein kompaktes und mobiles Monitoring-Gerät, das mit einem Sensor die physiologischen Daten in Echtzeit misst und überwacht. Es sendet auf der einen Seite die Informationen mit Hilfe von Bluetooth an einen Computer, sodass eine Überwachung und schnelle Bewertung der Daten



möglich ist. Auf der anderen Seite speichert das Gerät die Daten für eine nachträgliche Ereignisanalyse.

Im Rahmen dieser Studie wurden die Herzfrequenz und die Atemfrequenz während der Interventionen überwacht. Die Messbereiche befanden sich für die Herzfrequenz von 25/Min bis 240/Min ( $\pm 1/\text{Min}$ ) und für die Atemfrequenz von 3/Min bis 70/Min ( $\pm 1/\text{Min}$ ) (96). Während der Durchführung beider Trainingseinheiten trugen die Probanden einen Brustgurt zur Überwachung der Herz- und Atemfrequenz, sodass anhand der gemessenen Werte auf die Belastung rückgeschlossen werden konnte. Das Monitoring-Gerät wurde jeweils zu Beginn der Trainingseinheit angelegt, sodass die Messung vom Ruhewert erfolgte.

Mit den gemessenen physiologischen Werten wurden minimale und maximale Werte sowohl für die Herzfrequenz als auch für die Atemfrequenz ermittelt. Diese erhobenen Messwerte für die Intervention mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät wurden im Rahmen der Auswertung mit denen der stochastischen Schwingungen verglichen und bezüglich signifikanter Unterschiede ausgewertet. In einem weiteren Schritt wurden die Differenz und damit der Anstieg der Herz- und Atemfrequenz unter Belastung verglichen.

## **2.6 Räumlichkeiten**

Die Physiotherapiepraxis Köhler in Hannover-Stöcken stellte ihre Räumlichkeiten und ihr stochastische-Schwingungen-applizierende Vibrationstrainingsgerät für diese Studie zur Verfügung. Die Räumlichkeiten ermöglichten die Durchführung der klinischen Studie bei vergleichbaren Bedingungen. In insgesamt drei Räumen wurden die einzelnen Trainings- und Untersuchungsgeräte aufgestellt. An beiden Trainingstagen herrschten in den Räumen die gleiche Licht- und Bodenverhältnisse. Außerdem wurden die Probanden angewiesen an beiden Trainingseinheiten das gleiche Schuhwerk ohne dämpfende Eigenschaften zu tragen. Hierdurch konnte der Effekt von extrinsischen Störfaktoren reduziert werden (1).

In dem ersten Trainingsraum befanden sich die beiden Vibrationstrainingsgeräte und die Kraftmessplatte. Außerdem wurde in diesem Raum eine Borg-Skala aufgehängt. Durch die räumliche Nähe von Trainingsgeräte und Messplatte konnte ein negativer Einfluss, z. B. durch Verzögerung des Ablaufs, auf die Messung reduziert werden.

Der Timed-up-and-go-Test wurde in einem separaten Raum durchgeführt, der genügend Platz bot, um den Test regelgerecht durchführen zu können.

In dem dritten Trainingsraum befand sich die Ganganalyse. Dieser Raum bot ausreichend Platz für die oben beschriebene Testdurchführung.

## **2.7 Risiko- und Nutzenabwägung**

Allgemeine Vorteile des Vibrationstrainings sind eine kurze Interventionszeit, eine einfache Bedienung des Geräts und eine selbstständige Durchführung des Trainings, wodurch die „Compliance“ von Trainierenden möglicherweise positiv beeinflusst wird (32-34). Außerdem setzt ein Training nur minimale aktive Bewegungen sowie koordinative und spezifische Fähigkeiten des Trainierenden voraus (31). Des Weiteren ist die subjektiv empfundene Anstrengung im Vergleich zu klassischen Trainingsmethoden bei möglicher vergleichbarer Effektivität geringer (35).

Ein weiterer bedeutsamer Vorteil des Vibrationstrainings ist eine hohe Sicherheit und demzufolge ein geringes Verletzungsrisiko (33). Den Probanden wurde vor der Durchführung die korrekte Körperhaltung gezeigt. Durch eine richtige Anwendung bleiben die Schwingungen auf den Rumpf konzentriert, wodurch das Auftreten von Nebenwirkungen gesenkt wird (36,37).

Bei den bisherigen Untersuchungen wurden keine nennenswerten Nebenwirkungen beobachtet. Im Rahmen des Vibrationstrainings kann es bei der ersten Trainingseinheit zu einem kurzanhaltenden Gefühl von Schwindel, einer Rötung von Teilen der unteren Extremitäten sowie zu Parästhesien in den trainierten Körperregionen kommen (38,39).

## **2.8 Biometrie und biometrische Methoden**

Die klinische Pilotstudie sollte insgesamt 15 Probanden umfassen. Anhand der verfügbaren Literatur war eine konkrete Fallzahlberechnung nicht möglich. Sie ließ jedoch die Schätzung zu, dass im Rahmen einer Pilotstudie mit insgesamt 15 Probanden signifikante Unterschiede abgebildet werden können. In einer randomisierten kontrollierten Cross-over Pilotstudie konnten Rogan et al. (97) bereits bei zwölf Probanden einen akut positiven Effekt von stochastischen Schwingungen auf die posturale Kontrolle nachweisen. In einer weiteren Studie wiesen

Rønnested et al. (98) einen positiven Effekt von sinusförmigen Schwingungen auf die muskuläre Kraftsteigerung bei ebenfalls zwölf Probanden nach.

Im Rahmen der Studie sollten folgende Hypothesen überprüft werden. Ein Training mit dem stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät besitzt einen akut größeren Effekt auf die posturale Kontrolle und auf die Lokomotion als ein Training mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät. Hingegen führt eine Intervention mit einem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät zu einer akut stärkeren Steigerung der muskulären Leistungsfähigkeit.

Die erhobenen Daten während der beiden Trainingseinheiten wurden bei normalverteilten Messergebnissen mit dem Einstichproben-t-Test ausgewertet. Bei nicht-normalverteilten Werten erfolgte die Auswertung mittels des Wilcoxon-Mann-Whitney-Tests. Bei dieser Auswertung wurde auf der einen Seite der zeitabhängige Einfluss der jeweiligen Schwingungsform während einer Intervention betrachtet und auf der anderen Seite wurden die Schwingungsformen zu den jeweiligen Messzeitpunkten miteinander verglichen. Als Signifikanzniveau für alle statistischen Test wurde  $\alpha = 5\%$  angenommen.

Die Auswertung wurde mit Microsoft Excel 2010, Sigma Plot (Version 11; Systat Software GmbH, Erkrath, Deutschland) und SPSS (Version 22) durchgeführt.

## **2.9 Studienregistrierung und Genehmigung des Ethikantrags**

Vor der Durchführung der klinischen Studie wurde ein Ethikantrag bei der Ethikkommission der Medizinischen Hochschule Hannover eingereicht, der mit der Nummer 6224 genehmigt wurde.

Des Weiteren wurde die Studie beim deutschen Register für klinische Studien (DRKS) mit der Nummer DRKS00004183 eingetragen und bekam die Universal Trial Number (UTN) U1111-1131-5539.

Bei der Planung, Durchführung, Dokumentation und Berichterstattung orientierte sich die Studie an der sogenannten Guten Klinischen Praxis (Good Clinical Practice) und an der Deklaration von Helsinki (99,100).

### 3 Statistische Auswertung und Ergebnisdarstellung

#### 3.1 Beschreibung der Probandengruppe

Insgesamt wurden die Messwerte von zwölf Probanden bei der Auswertung berücksichtigt. Zehn Probanden waren weiblich (83,33 %) und zwei Probanden männlich (16,67 %). Die Probanden waren zum Zeitpunkt der Untersuchung zwischen 69 und 86 Jahre alt (Einschlusskriterium: ab 65 Jahre). Das Durchschnittsalter betrug 77,7 Jahre ( $\pm 5,3$  Jahre). Das Körpergewicht lag im Durchschnitt bei 82,4 kg ( $\pm 15,2$  kg). Die Probandengruppe hatte eine durchschnittliche Körpergröße von 162,3 cm ( $\pm 7,4$  cm). Der Body-Mass-Index (BMI) betrug im Durchschnitt 31,2 kg/cm<sup>2</sup> ( $\pm 5,1$  kg/m<sup>2</sup>).

Die Probanden betrieben im Durchschnitt weniger als dreimal pro Woche körperliche Aktivitäten, wie zum Beispiel Gehen oder Radfahren. Von den 12 Probanden gaben 4 Teilnehmer an, dass sie vorwiegend sitzende Tätigkeiten innerhalb einer Woche ausübten. Des Weiteren betrieben 3 Probanden weniger als dreimal pro Woche körperliche Aktivitäten. 5 von 12 Probanden gaben an sich mindestens dreimal pro Woche körperlich zu betätigen.

Die Mehrzahl der Teilnehmer benötigte kein Hilfsmittel zur Fortbewegung im Alltag (8/12) und war in der Lage, eine Gehstrecke über 20 Metern ohne Hilfsmittel zu bewältigen (10/12).

Kein Teilnehmer hatte zum Testzeitpunkt Erfahrung im Umgang mit Vibrationstrainingsgeräten.

Die Probanden erreichten beim FES-I im Durchschnitt einen Gesamtwert von 27,9 ( $\pm 7,4$ ). Sie beantworteten die Fragen bezüglich der Sturzangst im Durchschnitt mit 1,7 Punkten ( $\pm 0,5$ ) bzw. mit einigen Bedenken. Beim MMSE lag der durchschnittliche Wert bei 27,8 Punkten ( $\pm 2,7$ ). Bei der Auswertung vom FES-I und MMSE wurden die Angaben von den zwölf Probanden berücksichtigt.

Nach der Intervention mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät gab eine Probandin bei Frage Nummer 14 Kniebeschwerden an, welche in der Nachbetrachtung nicht mehr bestanden.

Probanden	Geschlecht (weiblich/ männlich)	Alter	Körper- gewicht (kg)	Körpergröße (cm)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	Körperliche Aktivität	Hilfsmittel für die Fortbewegung (ja/nein)	Gehstrecke 20 Meter (ja/nein)
1	weiblich	78	95,0	174	31,4	< 3x/ Woche	nein	ja
2	weiblich	71	90,8	160	35,5	> 3x/ Woche	nein	ja
3	weiblich	75	74,6	162	28,4	> 3x/ Woche	nein	ja
4	weiblich	69	92,0	164	34,2	> 3x/ Woche	nein	ja
5	weiblich	86	73,0	168	25,9	vorwiegend sitzend	ja	nein
7	weiblich	77	111,0	160	43,4	> 3x/ Woche	ja	ja
8	männlich	80	96,0	170	33,2	vorwiegend sitzend	nein	ja
9	weiblich	85	62,0	158	24,8	vorwiegend sitzend	ja	nein
10	männlich	82	88,0	169	30,8	vorwiegend sitzend	ja	ja
11	weiblich	80	63,2	153	27,0	< 3x/ Woche	nein	ja
12	weiblich	76	71,0	148	32,4	> 3x/ Woche	nein	ja
13	weiblich	73	72,0	161	27,8	< 3x/ Woche	nein	ja
<b>Häufig- keiten/ Mittelwerte</b>	<b>10/2</b>	<b>77,7 ±5,3</b>	<b>82,4 ±15,4</b>	<b>162 ±7,4</b>	<b>31,2 ± 5,1</b>	<b>vorwiegend sitzend 4/12 &lt; 3x/ Woche 3/12 &gt; 3x/ Woche 5/12</b>	<b>4/8</b>	<b>10/2</b>

Tabelle 1: Deskriptive Daten der Probandengruppe

### 3.2 Flussdiagramm des Studienablaufs

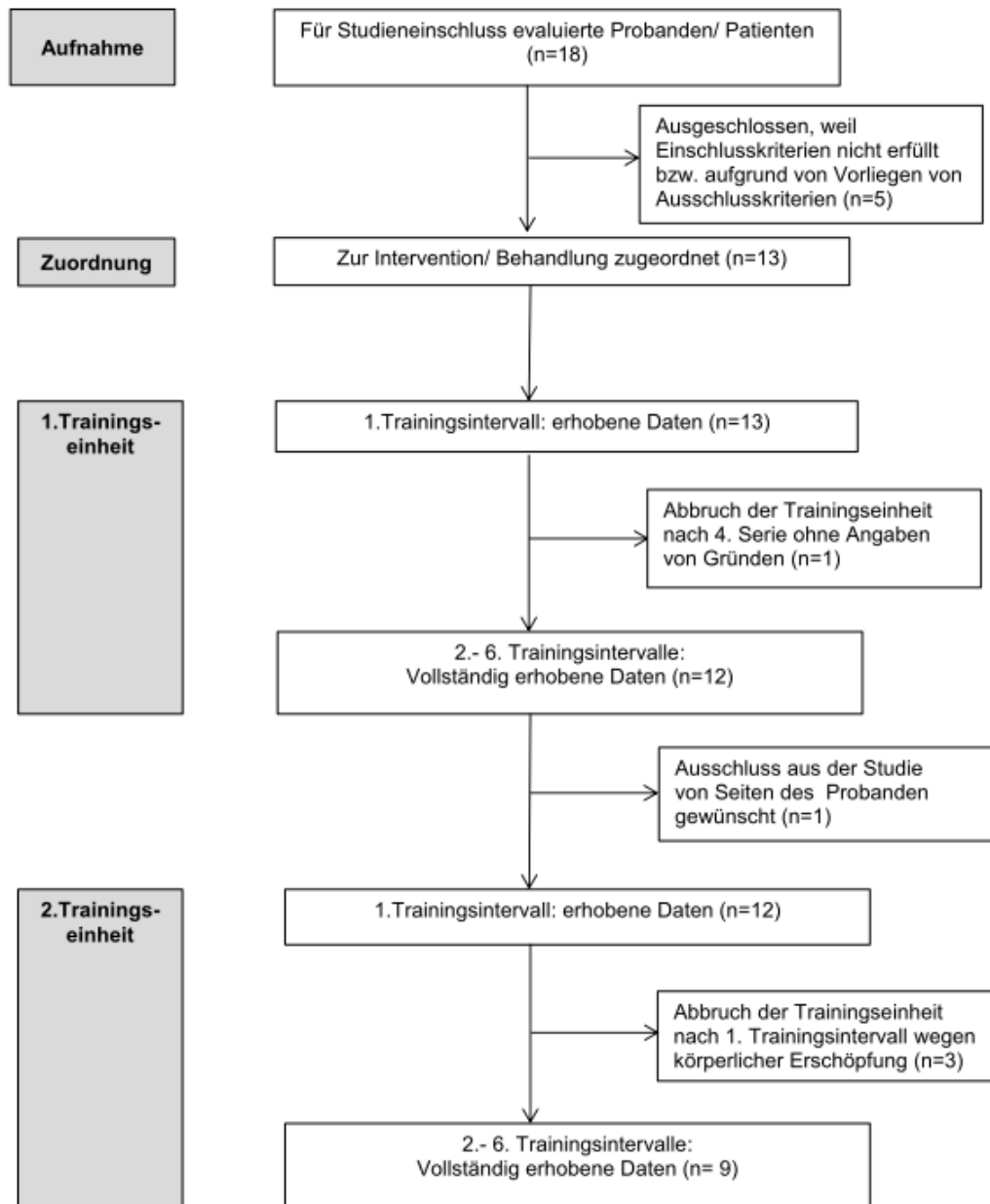


Abbildung 11: Flussdiagramm des Studienablaufs

Anhand des Flussdiagramms (Abbildung 11) soll der Studienablauf verdeutlicht werden. Von den 18 Interessenten konnten nach einer ärztlichen Prüfung von vorliegenden Kontraindikationen für ein Vibrationstraining (s. o.) 13 Probanden in die klinische Pilotstudie eingeschlossen werden.

Bei der ersten Trainingseinheit mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät absolvierten 13 Probanden die Intervention. Eine Probandin führte vier Intervalle über jeweils einer Minute durch, sodass von den 13 Teilnehmern zwölf das komplette

Training absolviert haben. Die Probandin, die vier Intervalle trainierte, wurde dabei nicht als Drop-out gewertet.

Vor der zweiten Trainingseinheit mit dem stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät beendete eine Probandin, die die komplette erste Trainingseinheit absolviert hat, auf eigenen Wunsch die Teilnahme an der klinischen Studie.

An der zweiten Intervention mit dem stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät haben insgesamt zwölf Probanden teilgenommen. Neun Probanden absolvierten die komplette Intervention. Bei drei Probanden wurde die Trainingseinheit aufgrund körperlicher Erschöpfung bzw. reduzierten Trainingsniveau beendet, sodass von den zwölf Teilnehmern neun das komplette Training absolviert haben. Die Probanden, die nur ein Intervall trainierten, wurden auch hierbei nicht als Drop-out gewertet.

Insgesamt wurden von neun Probanden komplette Messwerte erhoben.

### 3.3 Statische Posturographie zur Untersuchung der posturalen Kontrolle

Die statische Posturographie untersucht den akuten Effekt von sinusförmigen und stochastischen Schwingungen auf die Gleichgewichtsregulation durch Druckmessung und Veränderung des Körperschwerpunkts über eine festgelegte Dauer und überprüft die Hypothese, dass stochastischen Schwingungen einen akut größeren Effekt auf die posturale Kontrolle ausüben.

Bei der Untersuchung des akuten Effekts der sinusförmigen und stochastischen Schwingungen nach einem Trainingsintervall (60 Sekunden) wurden die Messergebnisse von neun Probanden ausgewertet. Die Messergebnisse von drei weiteren Probanden konnten aufgrund von technischen Messschwierigkeiten und dadurch fehlenden Werten nicht berücksichtigt werden.

#### 3.3.1 Untersuchung der posturalen Kontrolle auf akute Zeiteffekte

Nach einem Trainingsintervall (T1) sowie nach Abschluss der Trainingseinheit (AU) konnten im Vergleich zu der Eingangsuntersuchung (EU) weder bei der Intervention mit dem sinusförmige - Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät noch bei der Intervention mit dem stochastische -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät signifikanten Zeiteffekte in den untersuchten Parametern nachgewiesen werden. Die Ergebnisse der statischen Posturographie sind in den Graphiken 12 bis 15 dargestellt. Die p-Werte sind in Tabelle 2 dargestellt.

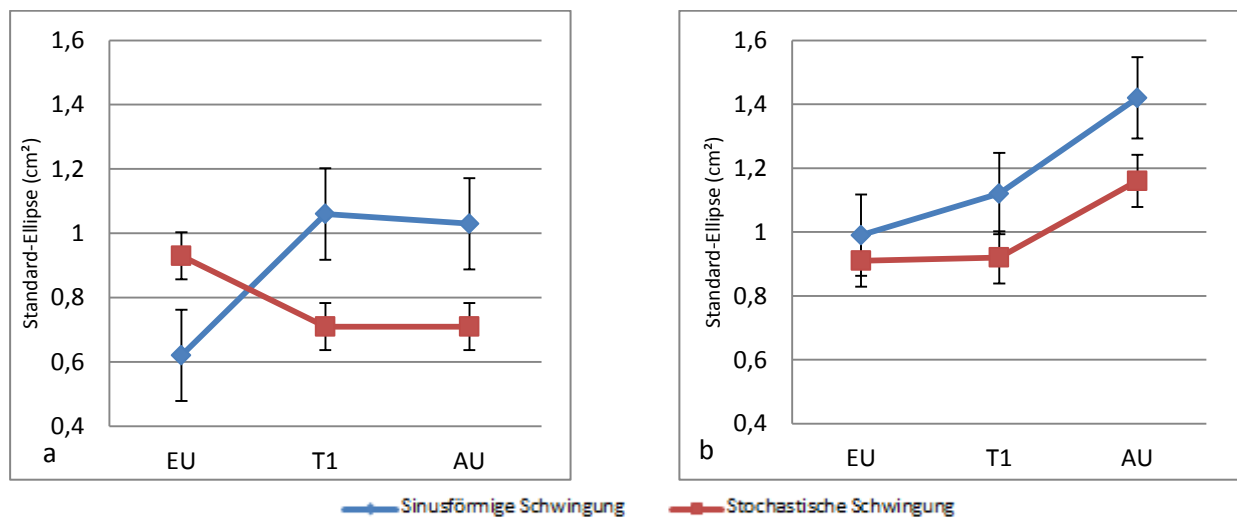


Abbildung 12: Statische Posturographie: Standard-Ellipse (cm²): a: Eyes open (EO); b: Eyes close (EC)



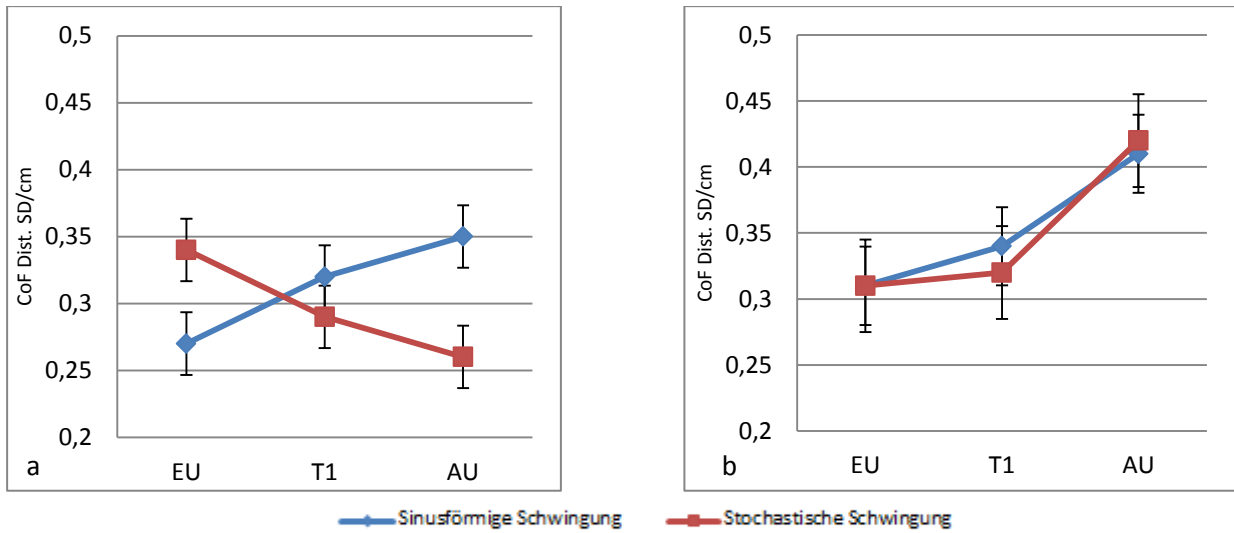


Abbildung 13: Statische Posturographie: SD unabhängig von der Richtung (cm); a: EO; b: EC

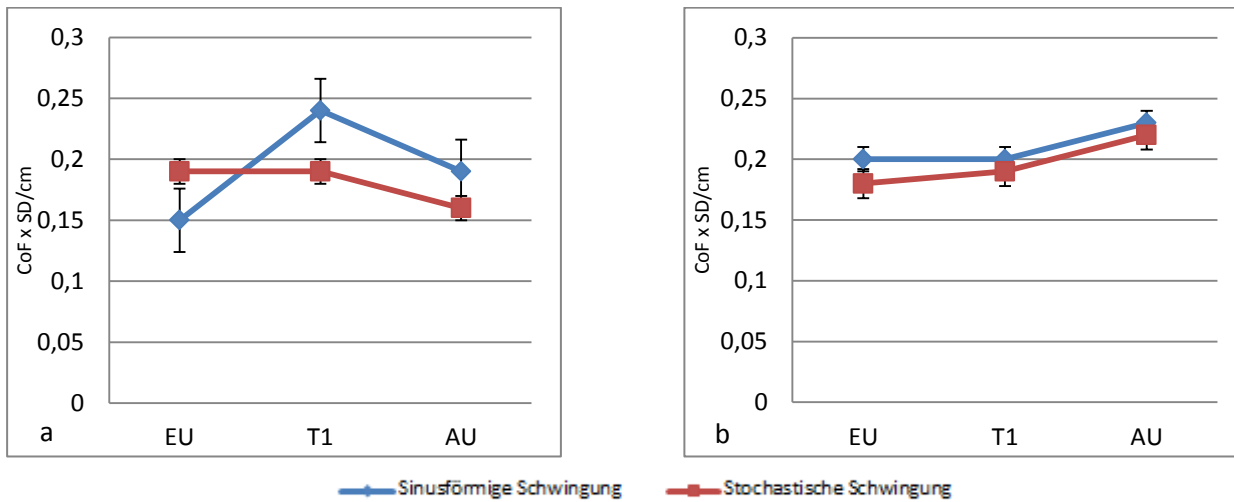


Abbildung 14: Statische Posturographie: SD medio/lateral von der mittleren Position (cm); a: EO; b: EC

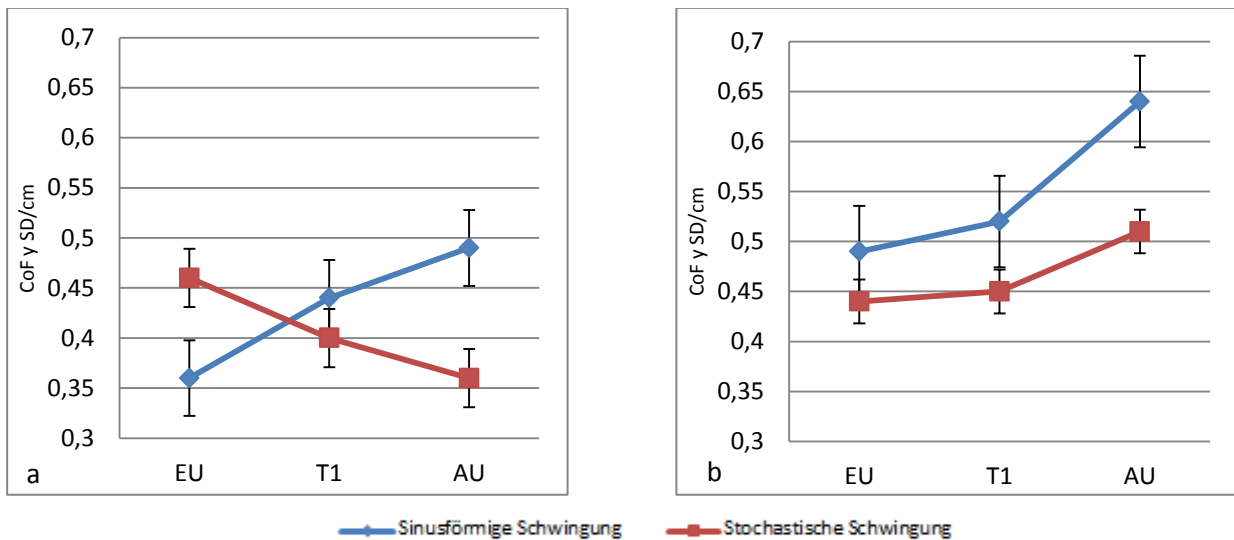


Abbildung 15: Statische Posturographie: SD anterior/ posterior von der mittleren Position (cm); a: EO; b: EC

<b>Untersuchung der posturalen Kontrolle auf akute Zeiteffekte</b>									
	Sinusförmige Schwingungen				Stochastische Schwingungen				
	EU <sub>n9</sub> -T1 <sub>n9</sub>		EU <sub>n7</sub> -AU <sub>n7</sub>		EU <sub>n9</sub> -T1 <sub>n9</sub>		EU <sub>n7</sub> -AU <sub>n7</sub>		
	EO	EC	EO	EC	EO	EC	EO	EC	
Standard Ellipse (cm <sup>2</sup> )	0,233	0,793	0,805	0,383	0,414	0,990	0,318	0,535	
SD unabhängig von der Richtung (cm)	0,359	0,764	0,455	0,456	0,378	0,878	0,295	0,456	
SD medio/ lateral von der mittleren Position (cm)	0,071	0,874	0,466	0,620	0,900	0,761	0,467	0,428	
SD anterior/ posterior von der mittleren Position (cm)	0,512	0,824	0,710	0,209	0,473	0,965	0,259	0,710	

Tabelle 2:Untersuchung der posturalen Kontrolle auf akute Zeiteffekte: tabellarische Darstellung der p-Werte

### 3.3.2 Vergleich der akuten Effekte auf die posturale Kontrolle der sinusförmigen und stochastischen Schwingungen nach einem Trainingsintervall

#### 3.3.2.1 Untersuchung mit geöffneten Augen

Nach der Durchführung eines Trainingsintervalls (60 Sekunden) konnte bei der Messreihe mit geöffneten Augen (EO) bei den untersuchten Parametern kein statistisch signifikanter akuter Gruppeneffekt gemessen werden. Die Differenzen zwischen der Eingangsuntersuchung und der Untersuchung nach einem Trainingsintervall beider Gruppen sind in den graphischen Abbildungen 16a-16d dargestellt.

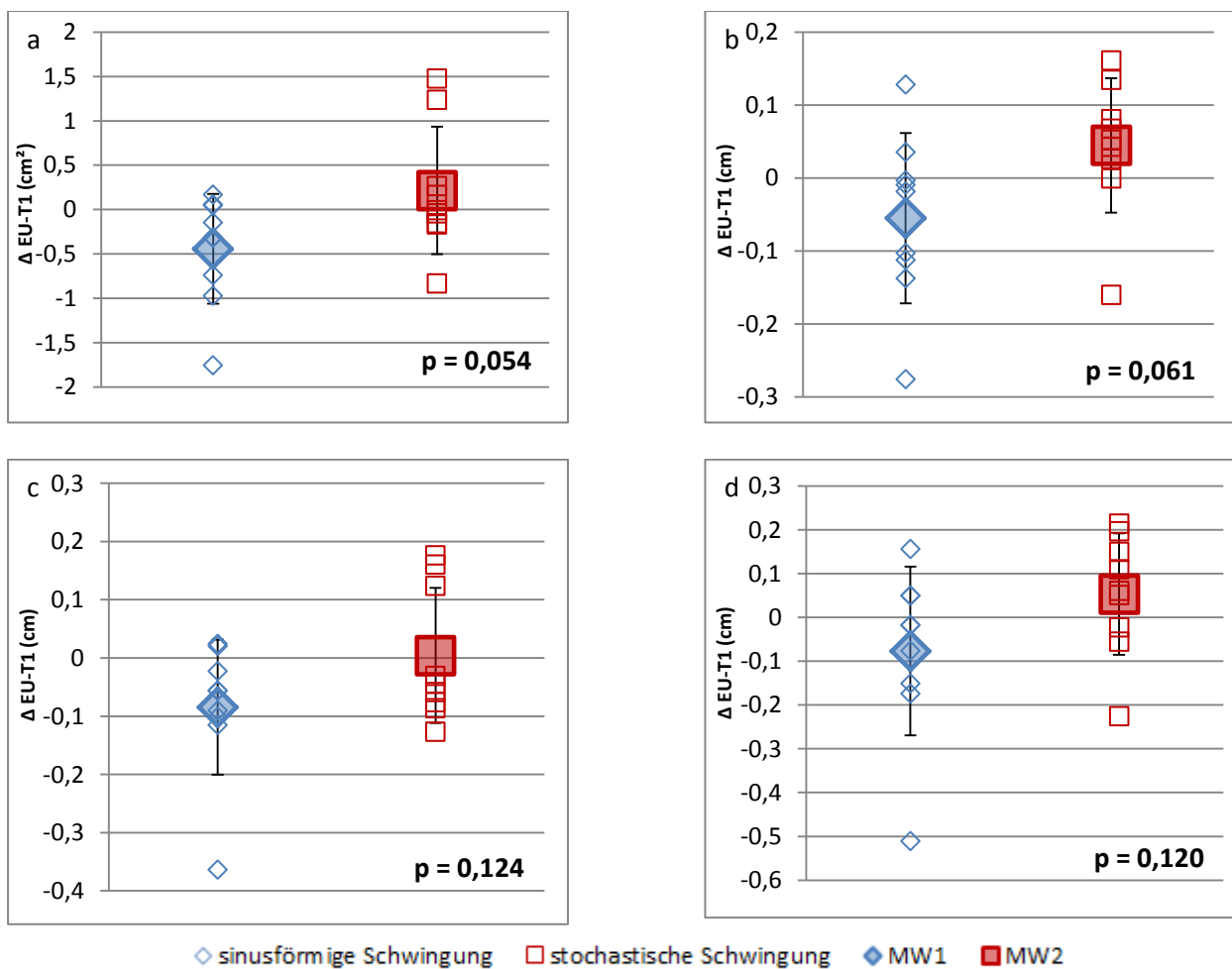


Abbildung 16: Gruppenvergleich zwischen Eingangsuntersuchung und nach einem Trainingsintervall bei EO: (a) Standard-Ellipse-Area, (b) Center of Force (CoF) Dist. SD, (c) CoF x SD (M-L), (d) CoF y SD (A-P)

### 3.3.2.2 Untersuchung mit geschlossenen Augen

Nach der Durchführung eines Trainingsintervalls (60 Sekunden) konnte bei der Messreihe mit geschlossenen Augen (EC) bei den untersuchten Parametern kein statistisch signifikanter akuter Gruppeneffekt gemessen werden. Die Differenzen zwischen der Eingangsuntersuchung und der Untersuchung nach einem Trainingsintervall beider Gruppen sind in den graphischen Abbildungen 17a-17d dargestellt.

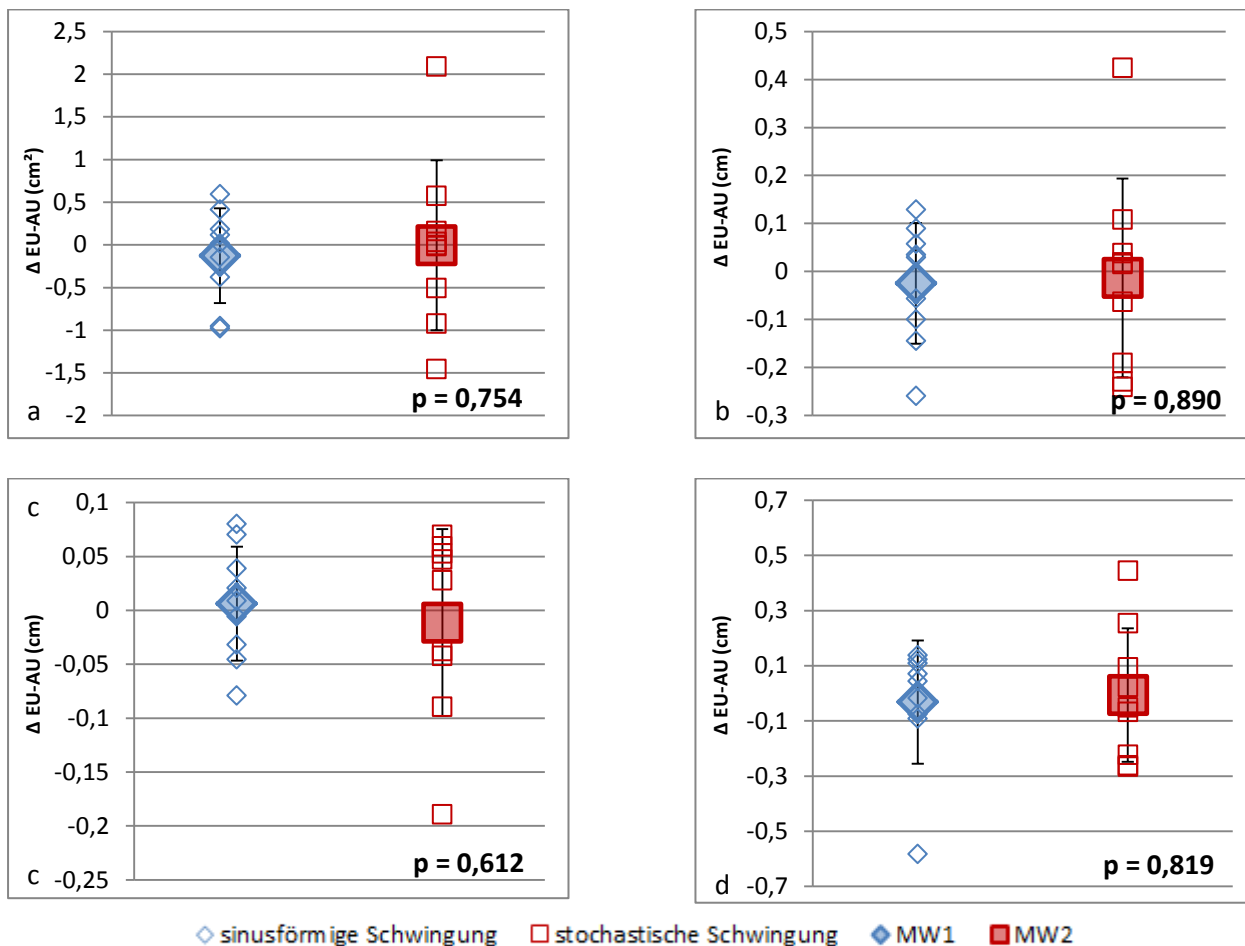


Abbildung 17: Gruppenvergleich zwischen Eingangsuntersuchung und nach einem Trainingsintervall bei EC: (a) Standard-Ellipse-Area, (b) Center of Force (CoF) Dist. SD, (c) CoF x SD (M-L), (d) CoF y SD (A-P)

### 3.3.3 Vergleich der sinusförmigen und stochastischen Schwingungen bei der Abschlussuntersuchung

Unter Berücksichtigung des individuellen Trainingszustands führten insgesamt sieben Probanden die Trainingseinheiten nach dem vorgeschriebenen Ablauf durch.

### 3.3.3.1 Untersuchung mit geöffneten Augen

Nach Auswertung der Messergebnisse für die Standard-Ellipse mittels des Mann-Whitney-Rank-Sum-Tests konnte zwischen den Trainingseinheiten mit sinusförmigen und stochastischen Schwingungen ein statistisch signifikanter Unterschied ( $p = 0,007$ ) nachgewiesen werden. Die Auswertung des Center of Force (CoF) zeigte sowohl richtungsunabhängig ( $p = 0,017$ ) als auch in anterior-posterior (A/P)-Richtung ( $p = 0,011$ ) einen statistisch signifikanten Unterschied. In lateral-medialer (L/M)-Richtung konnte hingegen kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. Die Differenzen der Messwerte zwischen der Eingangs- und der Abschlussuntersuchung mit geöffneten Augen sind in den graphischen Abbildungen 18a-18d dargestellt.

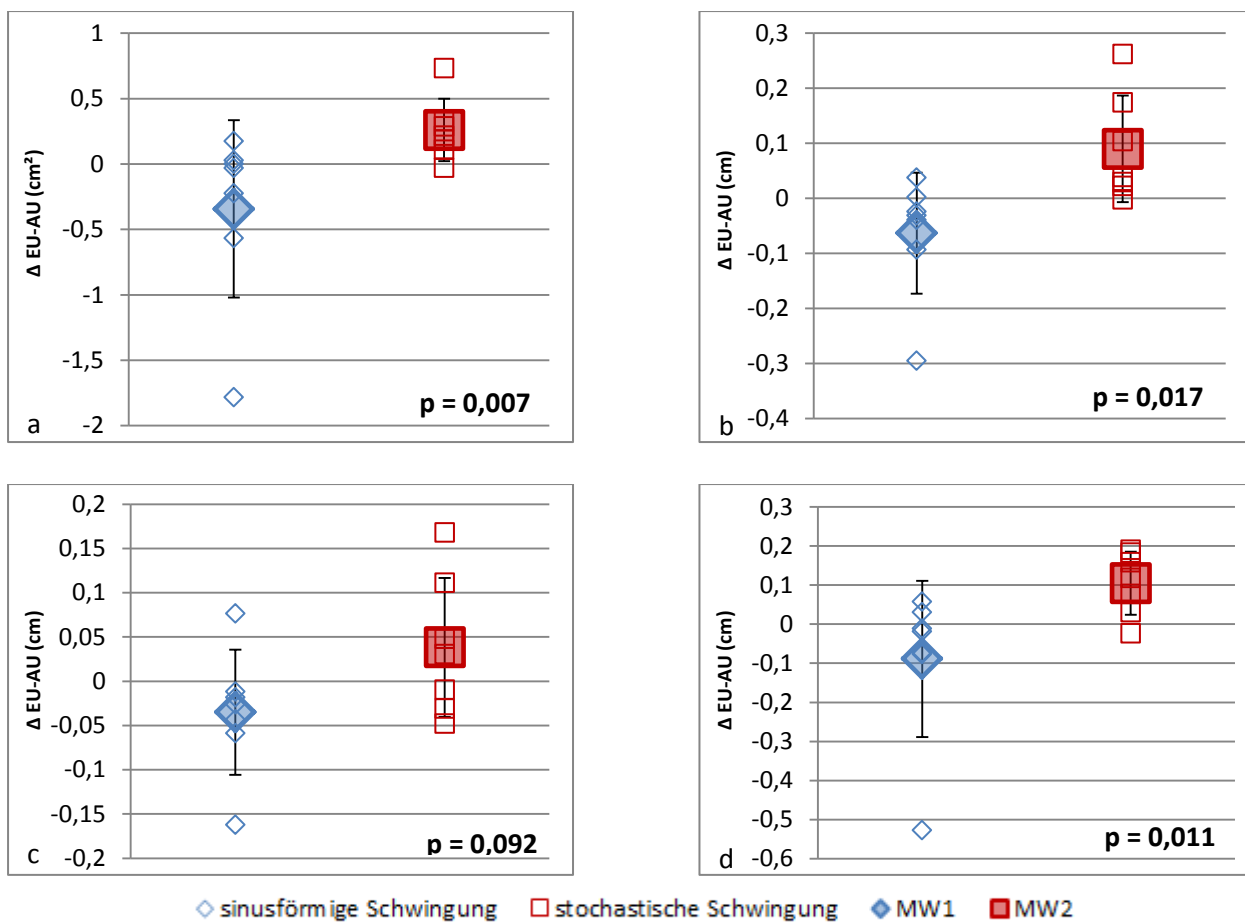


Abbildung 18: Gruppenvergleich zwischen Eingangs- und Abschlussuntersuchung bei EO: (a) Standard-Ellipse-Area, (b) Center of Force (CoF) Dist. SD, (c) CoF x SD (M-L), (d) CoF y SD (A-P)

### 3.3.3.2 Untersuchung mit geschlossenen Augen

Nach Beendigung der Trainingseinheit konnte bei der Abschlussuntersuchung bei der Messreihe mit geschlossenen Augen kein statistisch signifikanter akuter Gruppeneffekt nachgewiesen werden. Die Differenzen der Messwerte zwischen der Eingangsuntersuchung und der Abschlussuntersuchung sind in den graphischen Abbildungen 19a-19d dargestellt.

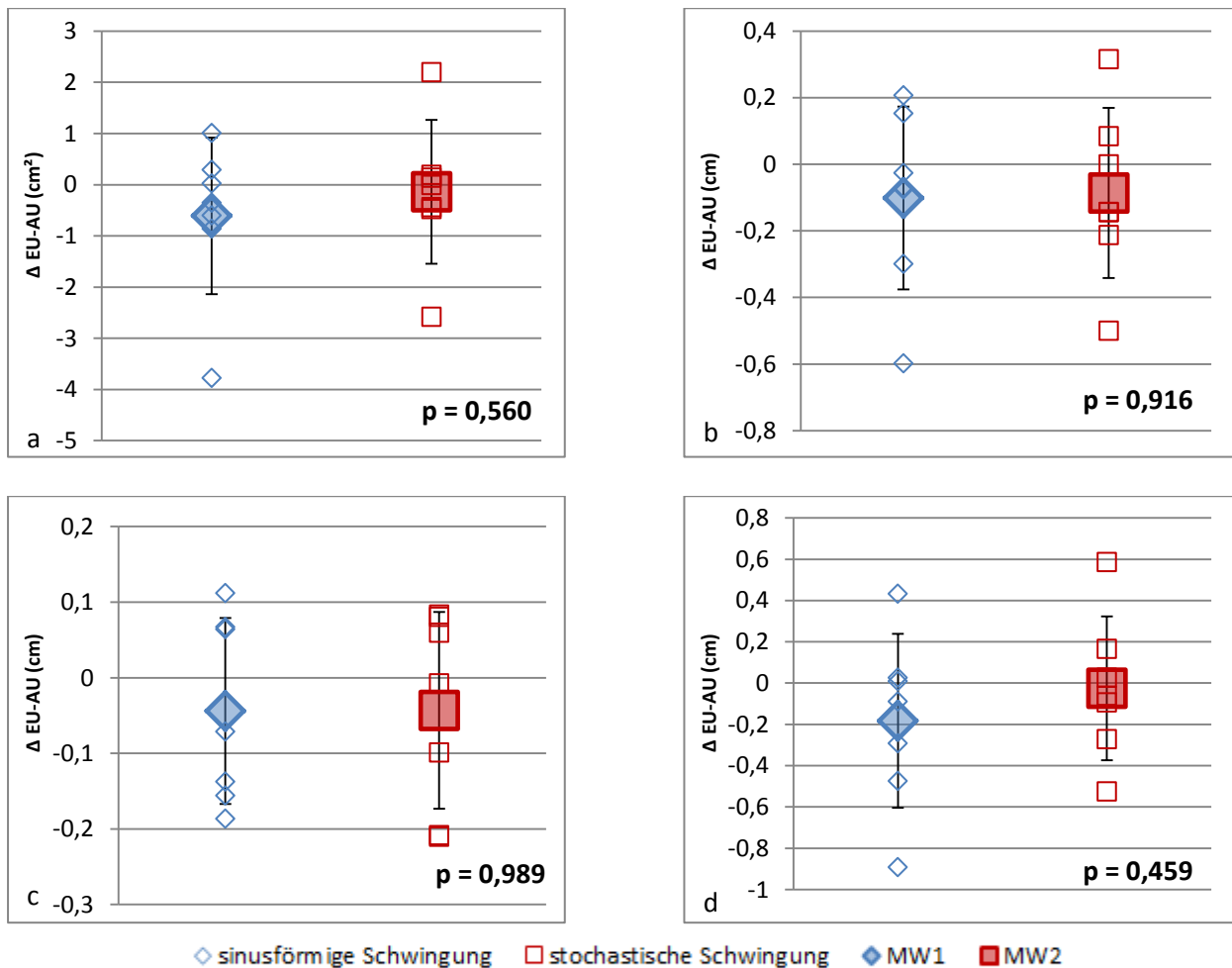


Abbildung 19: Gruppenvergleich zwischen Eingangs- und Abschlussuntersuchung bei EC: (a) Standard-Ellipse-Area, (b) Center of Force (CoF) Dist. SD, (c) CoF x SD (M-L), (d) CoF y SD (A-P)

### 3.4 Timed-up- and go-Test

Nach Durchführung der Trainingseinheiten mit dem sinusförmige- und stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät konnte kein statistisch signifikanter Zeitunterschied nachgewiesen werden. Bei der Intervention mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierende Vibrationstrainingsgerät wurden die Messwerte von elf Probanden berücksichtigt. Die Messwerte von neun Probanden wurden bei der Intervention mit dem stochastische-Schwingungen-applizierende Vibrationstrainingsgerät ausgewertet.

Die Ergebnisse des Timed-up-and-go-Tests sind in der Tabelle 3 dargestellt.

<b>Timed-up-and-go-Test: Intergruppenvergleich</b>			
	EU (s)	AU (s)	P
Sinusförmige Schwingung	15,9 ±6,4	15,7 ±7,9	0,535
Stochastische Schwingung	12,5 ±2,9	13,1 ±3,5	0,950

Tabelle 3: Timed-up-and-go-Test

Es gab keinen signifikanten Gruppenunterschied beim Vergleich der untersuchten Schwingungsformen (sinusförmige Schwingung  $\Delta 0,1 \pm 2,9$ ; stochastische Schwingung  $\Delta -0,66 \pm 1,8$ ;  $p = 0,215$ ).

### 3.5 Ganganalyse

Bei der Untersuchung des akuten Effekts der sinusförmigen und stochastischen Schwingungen wurden bei der Ganganalyse die Messergebnisse von neun Probanden ausgewertet.

#### 3.5.1 Ganganalyse bei der Intervention mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät

##### 3.5.1.1 Analyse des Gangs bei selbstgewählter Geschwindigkeit und des Gangs mit zusätzlicher kognitiver Aufgabe

Die Untersuchung des Gangs und der untersuchten Parameter konnte bei der Intervention mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät keinen signifikanten Unterschied nachweisen. Die Ergebnisse der Ganganalyse, die vor und nach der Intervention mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät ermittelt wurden, sind in der Tabelle 4 dargestellt.

<b>Ganganalyse sinusförmige Schwingungen: Intergruppenvergleich</b>						
	Single task (ST)			Dual task (DT)		
	EU	AU	P	EU	AU	P
Velocity (cm/s)	106,89 ±2,10	111,59 ±24,84	0,690	97,84 ±25,20	101,40 ±22,60	0,770
Step time (s)	0,53 ±0,04	0,52 ±0,04	0,475	0,59 ±0,07	0,56 ±0,06	0,290
Step length (cm)	56,52 ±8,76	57,39 ±9,86	0,854	56,68 ±9,87	55,61 ±9,32	0,827
Stride length (cm)	113,38 ±17,43	115,10 ±19,51	0,854	113,59 ±20,07	111,60 ±18,82	0,840
Double-support-time (s)	0,31 ±0,06	0,30 ±0,05	0,628	0,35 ±0,10	0,33 ±0,06	0,537

Tabelle 4: Ganganalyse sinusförmige-Schwingungen: Intergruppenvergleich



### 3.5.1.2 Intergruppenvergleich Analyse des Gangs bei selbstgewählter Geschwindigkeit und des Gangs mit zusätzlicher kognitiven Aufgabe

Die Untersuchung des akuten Effekts einer zusätzlichen kognitiven Aufgabe – vorliegend einer Rechenaufgabe - auf den Gang und dessen Gangparameter konnte bei der Intervention mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät keinen signifikanten Zeitunterschied nachweisen. Die Ergebnisse der Ganganalyse, die vor und nach der Intervention mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät ermittelt wurden, sind in Tabelle 5 dargestellt.

<b>Ganganalyse sinusförmige Schwingungen:</b> Intergruppenvergleich zwischen Gehen in einer selbstgewählten Geschwindigkeit ( $\Delta$ EU-AU <sub>ST</sub> ) und Gehen mit einer zusätzlichen kognitiven Aufgabe ( $\Delta$ EU-AU <sub>DT</sub> )			
	$\Delta$ EU-AU <sub>ST</sub>	$\Delta$ EU-AU <sub>DT</sub>	p
$\Delta$ Velocity (cm/s) zwischen EU und AU	-4,7 $\pm$ 9,10	-3,56 $\pm$ 14,46	0,852
$\Delta$ Step time (s) zwischen EU und AU	0,01 $\pm$ 0,03	0,03 $\pm$ 0,06	0,398
$\Delta$ Step length (cm) zwischen EU und AU	-0,87 $\pm$ 2,91	1,07 $\pm$ 3,46	0,243
$\Delta$ Stride length (cm) zwischen EU und AU	-1,73 $\pm$ 5,80	2,00 $\pm$ 7,09	0,267
$\Delta$ Double-support-time (s) zwischen EU und AU	0,01 $\pm$ 0,03	0,02 $\pm$ 0,07	0,689

Tabelle 5: Ganganalyse bei der Intervention mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät zwischen Gehen in einer selbstgewählten Geschwindigkeit und Gehen mit einer zusätzlichen kognitiven Aufgabe

### 3.5.2 Ganganalyse bei der Intervention mit dem stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät

#### 3.5.2.1 Analyse des Gangs bei selbstgewählter Geschwindigkeit und des Gangs mit zusätzlicher kognitiver Aufgabe

Die Untersuchung des Gangs und der untersuchten Parameter konnte bei der Intervention mit dem stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät keinen signifikanten Unterschied nachweisen. Die Ergebnisse der Ganganalyse, die vor und nach der Intervention mit dem stochastische-Schwingungen -applizierenden Vibrationstrainingsgerät ermittelt wurden, sind in Tabelle 6 dargestellt.

<b>Ganganalyse stochastische Schwingungen: Intergruppenvergleich</b>						
	ST			DT		
	EU	AU	P	EU	AU	P
Velocity (cm/s)	110,96 ±22,74	112,36 ±21,04	0,900	99,67 ±19,91	100,00 ±18,86	0,973
Step time (s)	0,53 ±0,05	0,52 ±0,03	0,598	0,57 ±0,05	0,55 ±0,54	0,480
Step length (cm)	58,28 ±9,40	57,97 ±8,82	1,000	56,75 ±9,50	55,02 ±8,73	0,427
Stride length (cm)	116,69 ±18,89	116,22 ±17,55	1,000	113,97 ±18,80	110,44 ±17,63	0,377
Double-support-time (s)	0,30 ±0,06	0,30 ±0,05	0,890	0,33 ±0,06	0,33 ±0,06	0,785

Tabelle 6: Ganganalyse stochastische Schwingungen: Intergruppenvergleich

### 3.5.2.2 Intergruppenvergleich Analyse des Gangs bei selbstgewählter Geschwindigkeit und des Gangs mit zusätzlicher kognitiven Aufgabe

Die Untersuchung des akuten Effekts einer zusätzlichen kognitiven Aufgabe - vorliegend einer Rechenaufgabe - auf den Gang und dessen Gangparameter ergab bei der Intervention mit dem stochastische -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät keinen signifikanten Unterschied. Die Ergebnisse der Ganganalyse sind in Tabelle 7 dargestellt.

<b>Ganganalyse stochastischen Schwingungen:</b> Intergruppenvergleich zwischen Gehen in einer selbstgewählten Geschwindigkeit ( $\Delta$ EU-AU <sub>ST</sub> ) und Gehen mit einer zusätzlichen kognitiven Aufgabe ( $\Delta$ EU-AU <sub>DT</sub> )			
	$\Delta$ EU-AU <sub>ST</sub>	$\Delta$ EU-AU <sub>DT</sub>	P
$\Delta$ Velocity (cm/s) zwischen EU und AU	-1,39 $\pm$ 4,69	-0,33 $\pm$ 7,19	0,733
$\Delta$ Step time (s) zwischen EU und AU	0,01 $\pm$ 0,03	0,02 $\pm$ 0,03	0,552
$\Delta$ Step length (cm) zwischen EU und AU	0,31 $\pm$ 2,14	1,73 $\pm$ 1,53	0,145
$\Delta$ Stride length (cm) zwischen EU und AU	0,47 $\pm$ 4,46	3,53 $\pm$ 3,12	0,132
$\Delta$ Double-support-time (s) zwischen EU und AU	0,004 $\pm$ 0,02	0,01 $\pm$ 0,04	0,784

Tabelle 7: Ganganalyse bei der Intervention mit dem stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät zwischen Gehen in einer selbstgewählten Geschwindigkeit und Gehen mit einer zusätzlichen kognitiven Aufgabe

### 3.5.3 Vergleich der sinusförmig mechanischen und stochastischen Schwingungen

#### 3.5.3.1 Auswertung des Einflusses der sinusförmigen und stochastischen Schwingungen auf das Gehen in einer selbstgewählten Geschwindigkeit und das Gehen mit einer zusätzlichen kognitiven Aufgabe

Die Untersuchung des Gangs und der untersuchten Parameter konnte bei dem Vergleich zwischen den sinusförmigen und stochastischen Schwingungen keinen signifikanten Unterschied nachweisen. Die Ergebnisse der Ganganalyse sind in Tabelle 8 dargestellt.

Vergleich der sinusförmigen (I1) und stochastischen Schwingungen (I2)						
	$\Delta$ EU-AU <sub>ST</sub>			$\Delta$ EU-AU <sub>DT</sub>		
	I1	I2	p	I1	I2	p
$\Delta$ Velocity (cm/s) zwischen EU und AU	-4,7 ±9,10	-1,39 ±4,69	0,373	-3,56 ±14,46	-0,33 ±7,19	0,580
$\Delta$ Step time (s) zwischen EU und AU	0,01 ±0,03	0,01 ±0,03	0,077	0,03 ±0,06	0,02 ±0,03	0,559
$\Delta$ Step length (cm) zwischen EU und AU	-0,87 ±2,91	0,31 ±2,14	0,369	1,07 ±3,46	1,73 ±1,53	0,626
$\Delta$ Stride length (cm) zwischen EU und AU	-1,73 ±5,80	0,47 ±4,46	0,408	2,00 ±7,09	3,53 ±3,12	0,584
$\Delta$ Double-support-time (s) zwischen EU und AU	0,01 ±0,03	0,004 ±0,02	0,492	0,02 ±0,07	0,01 ±0,04	0,550

Tabelle 8: Einfluss der sinusförmigen und stochastischen Schwingungen auf das normale Gehen und das Gehen mit einer zusätzlichen kognitiven Aufgabe (Rechnen)

### 3.5.3.2 Auswertung des Einflusses von sinusförmigen und stochastischen Schwingungen bei gleichzeitiger Betrachtung des normalen Gehens und des Gehens mit zusätzlicher kognitiven Aufgabe

Bei der gleichzeitigen Untersuchung von akuten Effekten der Schwingungsformen und einer zusätzlichen kognitiven Aufgabe auf den Gang konnte kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die Ergebnisse der Ganganalyse sind in Tabelle 9 dargestellt.

<b>Analyse des kumulativen Einflusses der Schwingungen und des Gehens mit zusätzlichen kognitiven Aufgaben</b>			
	I1	I2	p
$\Delta$ Velocity (cm/sec) ST-DT	-0,57 $\pm$ 6,20	-0,53 $\pm$ 4,17	0,987
$\Delta$ Step time (sec) ST-DT	-0,01 $\pm$ 0,03	-0,004 $\pm$ 0,01	0,645
$\Delta$ Step length (cm) ST-DT	-0,97 $\pm$ 1,11	-0,71 $\pm$ 1,20	0,660
$\Delta$ Stride length (cm) ST-DT	-1,86 $\pm$ 2,22	-1,53 $\pm$ 2,70	0,791
$\Delta$ Double-support-time (sec) ST-DT	-0,01 $\pm$ 0,03	-0,002 $\pm$ 0,02	0,780

Tabelle 9: Ganganalyse bei paralleler Betrachtung von Schwingung und kognitiver Aufgabe

### 3.6 Evaluation der Intervention

Nach jeder Trainingseinheit hatten die Probanden die Möglichkeit, die Intervention mithilfe eines Fragebogens zu evaluieren. Bei Auswertung der Evaluation wurde eine allgemeine Bewertung über das Vibrationstraining erhoben, sodass insgesamt die Bewertungen von zwölf Probanden berücksichtigt wurden.

Bei Frage Nr. 9 zeigte sich eine Tendenz mit  $p = 0,053$ . Die Auswertung der weiteren Beantwortung wies hingegen keinen statistisch signifikanten Unterschied nach.

<b>Evaluation der Intervention mit dem sinusförmige- (I1) und stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät (I2)</b>			
	I1	I2	P
Frage 1: Die Länge des Trainings (ca. 10 Minuten) ist sinnvoll.	3,92 ±0,793	4,08 ±0,289	0,480
Frage 2: Mir macht es Spaß, das Vibrationstrainingsgerät regelmäßig zu nutzen.	4,00 ±0,853	3,33 ±1,303	0,121
Frage 3: Ich würde das Vibrationstrainingsgerät Freunden und Familienmitgliedern empfehlen.	3,75 ±0,866	3,33 ±1,073	0,197
Frage 4: Ich bin mit meiner Nutzung des Vibrationstrainingsgeräts in der letzten Zeit zufrieden.	3,00 ±1,907	3,33 ±1,371	0,494
Frage 5: Ich halte die Nutzung des Vibrationstrainingsgeräts für sicher.	3,75 ±1,288	3,75 ±0,965	1,00
Frage 6: Es ist langweilig, das Vibrationsgerät zu benutzen.	2,08 ±1,165	2,00 ±0,739	0,763
Frage 7: Alles in allem bin ich mit dem Vibrationstrainingsgerät zufrieden.	3,67 ±1,775	3,67 ±0,985	0,729
Frage 8: Ich habe die nötigen Anweisungen für das Training mit dem Vibrationstrainingsgerät erhalten.	4,00 ±1,044	4,25 ±0,452	0,414
Frage 9: Das Benutzen des Vibrationstrainingsgerätes ist unangenehm.	1,50 ±0,674	2,25 ±1,138	0,053
Frage 10: Ich würde ein Vibrationstrainingsgerät viele Jahre nutzen.	2,33 ±1,775	3,17 ±1,115	0,260

Tabelle 10: Evaluation der Interventionen mit dem sinusförmige- und stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgeräten

Die Probanden gaben nach der Intervention mit dem sinusförmige -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät im Rahmen der Evaluation bei Frage Nr. 14 ein gutes Körpergefühl und das Vibrieren als eine positive Eigenschaft an. Als negative Eigenschaften wurden den sinusförmigen Schwingungen ein zu starkes Vibrieren und Kniebeschwerden zugeordnet.

Nach der Intervention mit dem stochastische -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät haben die Probanden im Rahmen der Evaluation der Intervention bei Frage Nr. 14 angegeben, dass die Muskulatur lockerer sei, die Vibrationen seien angenehme Bewegungen, subjektiv empfundener guter Stand und den subjektiven Eindruck fit zu sein. Als negative Eigenschaften des stochastische -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerätes wurde eine zu laute Lautstärke, eine zu intensive und ungleiche Schwingung angegeben.

### **3.7 Auswertung der Herz- und Atemfrequenz**

Bei der Untersuchung des akuten Effekts der sinusförmigen und stochastischen Schwingungen auf die Herz- und Atemfrequenz wurden die Messergebnisse von neun Probanden ausgewertet. Bei der Intervention mit dem sinusförmige -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät zeigte sich ein statistisch signifikanter Anstieg der Herzfrequenz im Vergleich zu der Intervention mit dem stochastische -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät ( $p = 0,025$ ). Bei der Auswertung der Atemfrequenz konnte ein statistisch signifikanter Anstieg der maximalen Atemfrequenz während der Intervention mit dem stochastische -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät nachgewiesen werden ( $p = 0,011$ ). Außerdem bestand ein statistisch signifikanter Unterschied bei der erreichten maximalen Atemfrequenz bei der Intervention mit dem stochastische -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät im Vergleich zu der Intervention mit dem sinusförmige -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät ( $p = 0,023$ ).

Die Messwerte der physiologischen Parameter sind in Tabelle 11 dargestellt.

	Sinusförmige Schwingungen	Stochastische Schwingungen	p
Minimale HF	69,70 ±20,97	75, 50 ±17,12	0,507
Maximale HF	146,00 ±24,97	125,80 ±28,05	0,106
Δ max. HF – min. HF	76,30 ±36,85	42,22 ±20,29	0,025
Minimale AF	10,5 ±0,8	10,08 ±1,077	0,592
Maximale AF	23,5 ±6,7	32,01 ±6,057	0,023
Δ max. AF –min. AF	13,00± 6,13	21,22 ±6,36	0,011

Tabelle 11: Auswertung der Herz- und Atemfrequenz

### 3.8 Borgskala

Bei der Untersuchung des akuten Effekts der sinusförmigen und stochastischen Schwingungen auf die subjektiv empfundene Belastung, ermittelt mit der Borgskala, wurden die Messergebnisse von neun Probanden ausgewertet. Die Auswertung zeigte keinen statistisch signifikanten Unterschied. Alle Ergebnisse der Borgskala sind in Tabelle 12 zu finden.

<b>Borgskala:</b> subjektiv empfundene Belastung nach einem Trainingsintervall (60 Sekunden) und nach Absolvierung der gesamten Trainingseinheit (insgesamt 6 Intervall über jeweils 60-Sekunden) (AU)							
	T1	AU	ΔT1-AU	p T1-AU	p T1	p AU	pΔT1-AU
Sinusförmige Schwingung	11,44 ±0,96	12,22 ±1,13	-0,78 ± 0,92	0,157	0,468	0,172	0,325
Stochastische Schwingung	12,11 ±1,97	13,44 ±2,00	-1,33 ±1,25	0,198			

Tabelle 12: Borgskala



### 3.9 Subjektive Einschätzung des aktuellen Stands

Bei der Untersuchung des akuten Effekts der sinusförmigen und stochastischen Schwingungen auf die subjektive Einschätzung des aktuellen Stands wurden die Messergebnisse von neun Probanden ausgewertet. Die Auswertung der Frage nach dem subjektiv eingeschätzten Stand nach einem Trainingsintervall und nach Abschluss der gesamten Trainingseinheit ergab keinen statistisch signifikanten Unterschied. Die Ergebnisse sind in Tabelle 13 dargestellt.

<b>Subjektive Einschätzung des aktuellen Stands</b> nach Abschluss des ersten Trainingsintervalls (60 Sekunden) (T1) und nach Absolvierung der gesamten Trainingseinheit (insgesamt 6 Intervall über jeweils 60 -Sekunden) (AU)							
	T1	AU	$\Delta T1-AU$	$p_{T1-AU}$	$p_{T1}$	$p_{AU}$	$p_{\Delta T1-AU}$
Sinusförmige Schwingung	3,89 ±0,87	4,11 ±0,57	-0,22 ±0,63	0,723	0,695	0,586	0,935
Stochastische Schwingung	3,78 ±0,63	4,00 ±0,0	-0,22 ±0,63	0,374			

Tabelle 13: Subjektive Einschätzung des aktuellen Stands

## 4 Diskussion

### 4.1 Diskussion der Hypothesen

Ein Sturzereignis führt in dem Leben eines älteren Menschen häufig zu erheblichen Veränderungen (1). Diese klinische Studie untersucht akute Effekte sinusförmiger und stochastischer Schwingungen auf die Risikofaktoren für das Auftreten eines Sturzes bei älteren Menschen mit einer erhöhten Sturzneigung. Die Ergebnisse dieser Studie sollen zu einem tieferen Verständnis der Sturzproblematik bei älteren Menschen beitragen und bei der Entwicklung von effektiven Präventionsmaßnahmen helfen. Anhand von anderen Studien konnte bereits nachgewiesen werden, dass ältere inaktive Personen von einer Intervention mit einem Vibrationstrainingsgerät profitieren (10,26).

Im Rahmen dieser Studie wurden die Durchführbarkeit, die Compliance und die Sicherheit eines Vibrationstrainings bei älteren, sturzgefährdeten Menschen untersucht. Im Vorfeld wurden die folgenden Hypothesen definiert: Ein Training mit dem stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät besitzt einen akut größeren Effekt auf die posturale Kontrolle und auf die Lokomotion als ein Training mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät. Hingegen führt eine Intervention mit einem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät zu einer akut stärkeren Steigerung der muskulären Leistungsfähigkeit. Darüber hinaus wurden die akuten Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Herz- und Atemfrequenz untersucht.

Die Effekte von applizierten Schwingungen auf den menschlichen Körper und deren therapeutischen Nutzen werden zunehmend untersucht. Die aktuelle Studienlage zeichnet sich dabei durch heterogene Studienaufbauten aus, sodass die erhobenen Ergebnisse mit vergleichbaren Studien verglichen wurden.

In dieser klinischen Studie wurden initial 13 Probanden eingeschlossen. Von denen zwölf Probanden an beiden Trainingseinheiten erschienen und nach individuellen körperlichen Trainingszustand an den Interventionen teilnahmen. Bei dieser Studie bestand somit ein Drop-out von einem Teilnehmer. Der Grund für den Drop-out war unabhängig von der Intervention.

Demzufolge wurde bei der Beurteilung der Compliance von insgesamt zwölf Probanden ausgegangen, die an beiden Interventionen teilnahmen. Anhand der geringen Abbruchrate wird eine hohe Annahme des Vibrationstrainings und Compliance der Probanden ersichtlich. Rogan et al. (101) berichten, dass bei einer Studie zum Vibrationstraining mit 20 Teilnehmern ebenfalls eine geringe Abbruchrate und einem Drop-out von drei Probanden (15 %) bestand. Gründe für eine hohe Compliance könnten eine kurze Interventionszeit, eine einfache Bedienung des Vibrationstrainingsgeräts und eine minimale körperliche Voraussetzung zur Benutzung eines Vibrationstrainingsgeräts gewesen sein.

Nach der Intervention mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät gab eine Probandin bei der Evaluation bereits vorbeschriebene leichte Funktionsstörungen im Kniebereich an. Ansonsten traten keine unerwünschten Nebenwirkungen auf. Die hohe Sicherheit bei Beachtung der entsprechenden Sicherheitsanweisungen stellt einen weiteren bedeutsamen Vorteil des Vibrationstrainings dar. Bereits Kessler et al. (102) beschreiben bei einer randomisierten Pilot-Studie mit 27 Probanden das Vibrationstraining als eine sichere Trainingsmethode. Zudem wurden beide Interventionen von den Probanden bei der Evaluation als sicher bewertet.

Bei der Untersuchung der posturalen Kontrolle zeigten sich nach der Intervention mit dem stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät bei der Messreihe mit geöffneten Augen signifikant akut größere Trainingseffekte im Vergleich zu der Intervention mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät.

Nach Abschluss der Intervention zeigte sich bei der Messung mit geöffneten Augen bei der Standard-Ellipse ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Schwingungsformen. Die Auswertung des Center of Force (CoF) wies nach Abschluss der Intervention bei der Messung mit geöffneten Augen sowohl richtungsunabhängige als wie in anterior-posterior- Richtung statistisch signifikante Unterschiede nach. In lateral-medialer-Richtung konnte hingegen kein signifikanter Unterschied im Rahmen dieser Messreihe nachgewiesen werden. Bei der detaillierten Betrachtung der einzelnen Messwerte konnte eine tendenzielle Verringerung der gemessenen Parameter nach der Intervention mit dem stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät im Vergleich zu der Intervention mit dem sinusförmige -

---

Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät beobachtet werden, welche auf eine Verbesserung der posturalen Kontrolle hindeutet.

Gleichzeitig führte eine Intervention mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät zu einer tendenziellen, nicht-signifikanten, akuten Verschlechterung der posturalen Kontrolle.

Des Weiteren zeigte sich bei den Messreihen mit geschlossenen Augen eine tendenzielle, nicht-signifikante Verschlechterung der posturalen Kontrolle, welche durch den Verlust der visuellen Kontrolle bedingt sein könnte.

Die Hypothese, dass eine Intervention mit dem stochastische -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät einen akut größeren Effekt auf die posturale Kontrolle als ein Training mit dem sinusförmige -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät besitzt, wird ebenfalls von einer Studie von Rogan et al. (97) unterstützt. Bei dieser randomisierten, kontrollierten Cross-over Pilot-Studie (n=12) wurde der akute Effekt von stochastischen Schwingungen auf die posturale Kontrolle untersucht (97). Die Probanden haben im Abstand von einer Woche zwei Interventionseinheiten mit einem stochastische -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät mit jeweils fünf Trainingsintervallen über eine Minute durchgeführt (97). Dabei konnte ein akuter Effekt der stochastischen Schwingungen auf die posturale Kontrolle mittels des sogenannten SBBP-Tests (Short physical performance battery) nachgewiesen werden. Der SBBP-Test umfasst dabei die Untersuchung der posturalen Kontrolle sowie einen Gehstrecken- und Aufstehtest (97).

Ebenso konnten Kessler et al. (102) einen signifikanten Effekt von stochastischen Schwingungen auf den SBBP- Test bei einer randomisierten, kontrollierten Pilot-Studie mit 27 Probanden über einen Interventionszeitraum von vier Woche beobachten.

Anhand dieser Studie konnte ein akut größerer Effekt von stochastischen Schwingungen auf die posturale Kontrolle im Vergleich zu sinusförmigen Schwingungen nachgewiesen werden. Bereits von Hass et al. (103) wurde angenommen, dass stochastische Schwingungen einen akut positiven Effekt auf die posturale Kontrolle ausüben und über eine unwillkürliche Aktivierung des neuromuskulären Reflexsystems, eine Erhöhung der Sensitivität der Muskelspindel und eine Steigerung der afferenten Informationsweiterleitung zu einer Verbesserung der Gleichgewichtsregulation führen können.

Der geringere akute Effekt bei der Intervention mit dem sinusförmige -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät könnte durch eine initiale muskuläre Erschöpfung bedingt sein, wodurch man von einem langfristigen Effekt und Steigerung der muskulären

Leistungsfähigkeit in einer Nachbetrachtungsphase ausgehen könnte. Eine Abnahme der Leistungsfähigkeit der unteren Extremität konnte bereits von Da Silva et al. (104) im Rahmen einer Studie zum Einfluss von unterschiedlichen Frequenzen bei 31 Probanden direkt nach einem Trainingsintervall über 60 Sekunden und 40 Hertz beobachtet werden.

Nach der Durchführung von einer Trainingsserie über insgesamt 60 Sekunden bei geöffneten und geschlossenen Augen konnte kein statistisch signifikanter akuter Trainingseffekt beim Vergleich der sinusförmigen und stochastischen Schwingungen nachgewiesen werden. Die unveränderten Testparameter nach einem Trainingsintervall könnten durch eine zu kurze Interventionsdauer bzw. zu geringe Intensität bedingt sein, um die physiologischen Anpassungsreaktionen auf die Schwingungseinflüsse auszulösen.

Nach einem Trainingsintervall als auch nach Abschluss der Trainingseinheiten konnten im Rahmen der Interventionen mit dem sinusförmige - als wie mit dem stochastische - Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät keine signifikanten Zeiteffekte in den untersuchten Parametern nachgewiesen werden.

Mit der Untersuchung der Lokomotion konnten bei den Interventionen mit dem sinusförmige- und stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät keine signifikanten Zeit- oder Gruppeneffekte nachgewiesen werden.

Dabei stellt die abnehmende Geschwindigkeit einer reaktiven Muskelanspannung einen weiteren Risikofaktor für das Auftreten eines Sturzes durch die Beeinflussung einer lokomotorischen Ausgleichsbewegung dar (16). Chronische Effekte sind bei längerfristigen Anwendungen zu erwarten. Bereits Kawanabe et al. (105) konnten bei einer randomisierten, kontrollierten Studie mit 67 teilnehmenden Probanden und einer Interventionsdauer von zwei Monaten einen Effekt auf die untersuchten Gangparameter feststellen. Unveränderte Gangparameter deuten ebenfalls auf eine geringe Sturzgefahr im direkten Anschluss an eine Intervention mit einem Vibrationstrainingsgerät hin und belegen, dass ein Vibrationstraining bei den gewählten Trainingsparametern eine sichere Trainingsmethode darstellt. Außerdem ist ein geringer Effekt auf den Gang direkt im Anschluss an ein Vibrationstraining durch den zeitlichen Ablauf der Untersuchungen nicht sicher auszuschließen.

Nach Durchführung der Trainingseinheiten mit dem sinusförmige- und stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät konnte keine statistisch signifikante Steigerung der muskulären Leistungsfähigkeit bei der Betrachtung des Timed-up-and-go-Tests nachgewiesen werden.

Der Timed-up-and-go-Test diene als Untersuchungsmethode, um die Einflüsse eines Vibrationstrainings auf die Kraft in den unteren Extremitäten zu untersuchen. Es konnte in allen Studien, in denen die muskuläre Schwäche berücksichtigt wurde, ein signifikanter Zusammenhang mit dem Auftreten von Stürzen nachgewiesen werden (7,10,13,17). Des Weiteren hat der Kraftverlust Auswirkung auf die Balancefähigkeit und das Auftreten von Stürzen (15,18). Rogan et al. (106) untersuchten den akuten Effekt von stochastischen Schwingungen im Rahmen einer randomisierten kontrollierten Studie mit 20 älteren Probanden über einen Zeitraum von vier Wochen mit drei Interventionen pro Woche, wobei eine Verbesserung des Timed-up-and-go-Test nachgewiesen werden konnte.

Bei unveränderten Testparametern ist davon auszugehen, dass die Interventionsdauer zu kurz bzw. deren Frequenz zu gering gewesen ist, um die angenommene Steigerung der muskulären Leistungsfähigkeit bei einer Intervention mit einem sinusförmige -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät zu beobachten. Die abweichenden Messwerte bei der Eingangsuntersuchung könnten durch eine wiederholte Durchführung des Testes bedingt sein.

Der Einfluss der applizierten Schwingungen auf die muskuläre Leistungsfähigkeit sollte primär durch eine Sprungmechanographie überprüft werden. Aufgrund eines deutlich reduzierten körperlichen Trainingsniveaus und einer bestehenden Sturzangst der Probanden vor der Sprungdurchführung wurde nach Rücksprache mit dem Studienleiter die geplante Sprungmechanographie nicht durchgeführt.

Bei der Untersuchung des akuten Effekts des Vibrationstrainings auf die Herzfrequenz zeigte sich ein statistisch signifikanter Anstieg der Herzfrequenz bei der Intervention mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät im Vergleich zu der Intervention mit dem stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät unabhängig von der subjektiven empfundenen Belastung. Dies deutet auf eine stärkere körperliche Beanspruchung bei einer Intervention mit dem sinusförmige -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät hin. In der Studie von Rittweger et al. (39) mit 40 gesunden Probanden

wurde der Trainingseffekt eines Vibrationstrainings auf die Herzfrequenz untersucht. Als Kontrollgruppe dienten Probanden, die ein Training mit einem Fahrradergometer absolvierten. Hierbei zeigte sich ein signifikanter Anstieg der Herzfrequenz bei Probanden, die mit einem Vibrationstrainingsgerät trainierten. Daraus lässt sich schließen, dass die physiologischen Parameter bei Probanden mit einer kardialen Vorerkrankung während einer Intervention mit einem Vibrationstrainingsgerät dauerhaft überwacht werden sollten und hinsichtlich Dauer und Intensität individuell angepasst werden sollte.

Bei der Auswertung der Atemfrequenz konnte ein statistisch signifikanter Anstieg der maximalen Atemfrequenz während der Intervention mit dem stochastische -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät nachgewiesen werden. Außerdem bestand ein statistisch signifikanter Unterschied bei der erreichten maximalen Atemfrequenz bei der Intervention mit dem stochastische -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät im Vergleich zu der Intervention mit dem sinusförmige -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät. Ursächlich für eine erhöhte Atemfrequenz könnten eine erhöhte Trainingsbelastung sowie ein indirekter Einfluss der stochastischen Schwingungen auf die Messung der Vitalparameter gewesen sein.

Ursächlich für einen geringen akuten Trainingseffekt könnte im Hinblick auf die festgelegten Trainingsparameter eine zu geringe Frequenz, eine zu kurze Dauer der Interventionen oder auch eine zu geringe Amplitude gewesen sein.

Im Rahmen dieser Studie wurde, um den akuten Trainingseffekt von sinusförmigen und stochastischen Schwingungen zu untersuchen, eine identische Frequenz gewählt. Bei der Untersuchung von sinusförmigen Schwingungen konnte bereits nachgewiesen werden, dass ein Trainingseffekt ab einer Frequenz von 30 Hz zu erwarten ist (98). Der Zusammenhang zwischen der applizierten Frequenz und den dadurch bedingten Trainingseffekten wird durch eine Studie von Rønnested et al. (98) verdeutlicht. Dabei konnte durch ein Training mit einem sinusförmige -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät bei zwölf gesunden, trainierten Probanden und einer Frequenz von 50 Hz ein akut größerer Trainingseffekt im Vergleich zu einem konventionellen Krafttraining beobachtet werden (98). In weiteren Studien untersuchten Rønnested et al. (57,107) den Effekt von unterschiedlichen Frequenzen auf die Kraftsteigerung. Hierbei zeigte sich erst ab einer Frequenz von 50 Hz eine signifikante

Kraftsteigerung. Bei dieser klinischen Pilotstudie wurden hingegen ältere, inaktive Probanden mit einem deutlich reduzierten körperlichen Trainingszustand untersucht, sodass man bereits mit einer geringeren Frequenz einen akuten Effekt vermutet hat.

Chronische Effekt sind bei einer Intervention mit einem sinusförmige -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät erst nach einem Interventionszeitraum vom 10 bis 21 Tagen zu erwarten. In einer Übersichtsarbeit von Jordan et al. (26) wird dies durch eine Adaptation des neuromuskulären Systems begründet.

Als weitere Ursache für einen nicht nachgewiesenen akuten Trainingseffekt könnte eine zu gering gewählte Amplitude gewesen sein. Anhand von einer Metaanalyse von Marin et al. (108,109) konnte gezeigt werden, dass eine Amplitude zwischen 6 und 10 mm bezüglich der muskulären Kraftsteigerung am effektivsten ist. Bei einer weiteren Metaanalyse von Rogan et. (110) zeigte sich, dass die Wahl der Amplitude jedoch nur einen geringen Effekt bewirkt. Die Amplitudeneinstellung wurde durch die Fußstellung beeinflusst. Beim stochastische-Schwingungen-applizierende Vibrationstrainingsgerät war mit Verweis auf die Abbildung 4 keine freie Wahl der Fußstellung und der Amplitude möglich, sodass eine Amplitude von 3 mm gewählt wurde.

Bei der Trainingssteuerung musste neben den beabsichtigten Trainingseffekten auch der reduzierte körperliche Trainingszustand der Probanden berücksichtigt werden, um eine sichere Trainingsmethode sicher zu stellen.

Diese klinische Pilotstudie konnte zeigen, dass eine Intervention mit einem stochastische -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät zu einem akut größeren Trainingseffekt und tendenziell zu einer akuten Verbesserung der posturalen Kontrolle im Vergleich zu einem Training mit sinusförmigen Schwingungen führt. Anhand der geringen Abbruchrate konnte eine hohe Compliance und eine gute Annahme festgestellt werden. Ein unverändertes Gangbild und ein Ausbleiben von unerwünschten Nebenwirkungen eines Vibrationstrainings spiegeln bei den gewählten Parametern eine sichere Trainingsmethode wider. Für eine Zunahme der muskulären Leistungsfähigkeit ist eine individuelle Anpassung der gewählten Frequenz und der Applikationsdauer notwendig. Bei der Untersuchung des Einflusses eines Vibrationstrainings auf die Herz- und Atemfrequenz zeigten sich auf der einen Seite eine signifikante Steigerung der Herzfrequenz bei einer Intervention mit einem sinusförmige -Schwingungen-applizierenden



Vibrationstrainingsgerät und auf der anderen Seite ein signifikanter Anstieg der Atemfrequenz bei einem Training mit stochastischen Schwingungen.

Anhand des Nachweises der unterschiedlichen zeitlichen Effekte der sinusförmigen und stochastischen Schwingungen sollte vor Beginn einer Intervention im Rahmen einer Sturzprophylaxe eine Diagnostizierung der individuellen körperlichen Defizite erfolgen. Mit dem Ziel eine bedarfsgerechte Schwingungsform auszuwählen und in ein multimodales Behandlungskonzept zu integrieren.

## 4.2 Limitierung

Die klinische Pilotstudie zur Erforschung von akuten Effekten sinusförmiger und stochastischer Schwingungsformen auf die Risikofaktoren für das Auftreten eines Sturzereignisses bei älteren, sturzgefährdeten Menschen sollten insgesamt 15 Probanden umfassen. Die Rekrutierung der Probanden erfolgte in unterschiedlichen Institutionen. Von den 18 Interessenten konnten nach ärztlich durchgeführter Befragung bezüglich vorliegender Kontraindikationen für ein Vibrationstraining 13 Probanden in die klinische Studie eingeschlossen werden. Durch die Ein- und Ausschlusskriterien konnte dabei nur eine begrenzte Anzahl an Personen rekrutiert werden. Die Probanden entsprechen einer Stichprobe der allgemeinen Zielbevölkerung. Ein Selektionsbias ist aufgrund der Auswahl der Institutionen nicht auszuschließen.

Die Anordnung und die zeitliche Reihenfolge der Untersuchungsmethoden könnte bei der Untersuchung von akuten Effekten zu zeitabhängigen Messbeeinflussungen geführt haben.

Im Rahmen der Studie wurde eine identische Frequenz der Vibrationstrainingsgeräte gewählt. Bei der Untersuchung von sinusförmigen Schwingungen konnte bereits nachgewiesen werden, dass eine Steigerung der muskulären Leistungsfähigkeit ab einer Intensität von 30 Hz zu erwarten ist. Eine zu gering gewählte Frequenz bei der Intervention mit dem sinusförmige - Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät könnte daher zu einer abgeschwächten Wirkung geführt haben.

Der fehlende signifikante akute Effekt auf die Lokomotion und auf die muskuläre Leistungsfähigkeit könnte durch die allgemein ausgewählten Trainingsparameter oder durch eine zu geringe Sensitivität der Untersuchungsmethoden bedingt sein.

Der Studienablauf sah eine Vor- und eine Nachuntersuchung vor, sodass der akute Effekt von sinusförmigen und stochastischen Schwingungen untersucht werden konnte. Durch eine fehlende Nachbeobachtungsphase ist eine Aussage über einen chronischen Effekt der applizierten Schwingungen nicht möglich gewesen.

Die Effekte von applizierten Schwingungen auf den menschlichen Körper und deren therapeutischen Nutzen werden zunehmend untersucht. Bei der Erforschung werden häufig unterschiedliche Untersuchungsmethoden und Tests eingesetzt, sodass mittlerweile eine Vielzahl von Studien mit heterogenen Studienaufbauten, -abläufen und -auswertungen vorliegt, deren Vergleichbarkeit dadurch eingeschränkt ist.

### 4.3 Ausblick

Diese klinische Pilotstudie dient der Erforschung von akuten Effekten sinusförmiger und stochastischer Schwingungsformen auf die Risikofaktoren für das Auftreten eines Sturzereignisses bei älteren Menschen mit einer erhöhten Sturzneigung.

Die Auswertung zeigte einen akut größeren Effekt von stochastischen Schwingungen auf die posturale Kontrolle als eine Intervention mit sinusförmigen Schwingungen. Stochastische Schwingungen stellen somit eine aussichtsreiche Interventionsmöglichkeit bei inaktiven, sturzgefährdeten und älteren Menschen zur Verbesserung der Koordinationsfähigkeit dar.

Ein akuter Effekt auf die untersuchten Gangparameter konnte nicht nachgewiesen werden. Daraus lässt sich auf der einen Seite schließen, dass ein Vibrationstraining mit den gewählten Trainingsparametern eine sichere Trainingsmethode darstellt. Auf der anderen Seite wirft es die Frage nach langfristigen Effekten auf den Gang auf. Kawanabe et al. (105) zeigten bereits mithilfe einer randomisierten, kontrollierten Studie, dass eine Intervention über zwei Monate mit einem sinusförmigen -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät zu Veränderung der Gehgeschwindigkeit, der Schrittlänge und der Standdauer auf einem Bein führt. Zukünftige Studien sollten daher die Effekte von Schwingungsformen über einen längeren Trainingszeitraum mit Kontrolluntersuchungen in entsprechenden Intervallen untersuchen.

Anhand der verschiedenen nachgewiesenen Effekte von Schwingungen auf die posturale Kontrolle, die Lokomotion und die muskuläre Schwäche wird deutlich, dass eine Analyse der individuellen körperlichen Defizite vor Behandlungsbeginn notwendig ist, um die bedarfsentsprechende Schwingungsform auszuwählen und in ein multimodales Trainingsprogramm zu integrieren. Bereits Buatois et al. (73) teilten 206 teilnehmende Probanden einer Studie zur Untersuchung der Posturographie anhand der Sturzereignisse in Untergruppen ein. Dies würde eine bedarfsorientierte Behandlung ermöglichen.

Außerdem diene diese Pilotstudie dazu, erste Untersuchungsergebnisse im Bereich von vergleichenden Effekten von Schwingungsformen zu gewinnen und anhand der Messergebnisse Fallzahlberechnungen für Folgestudien zu berechnen.

Bei weiterführenden Studien sollte eine Randomisierung in Interventionsgruppen bzw. in eine Kontrollgruppe vorgenommen werden.

Bei nachgewiesenem akut größerem Effekt von stochastischen Schwingungen auf die statische Posturographie könnte in weiterführenden Studien die dynamische Posturographie, beispielsweise mit dem Equitest, untersucht werden.

Bei folgenden Studien sollte der Einfluss eines Vibrationstrainings auf die Herz- und Atemfrequenz weiter untersucht werden. Die Untersuchung sollte mit einer zeitlichen Zuordnung zur jeweiligen Belastungsstufe erfolgen. Gegebenenfalls könnte man diese Untersuchung durch laborchemische Untersuchung ergänzen.

Nachfolgende Studien zur Erforschung von Effekten sinusförmiger und stochastischer Schwingungen auf die Risikofaktoren für ein Sturzereignis sollten über einen längeren Zeitraum erfolgen, um das Sturzrisiko bzw. das Auftreten und die Häufigkeit von Stürzen im folgenden Jahr bei einem Sturz im vorangegangenen Jahr zu untersuchen.

## 5 Zusammenfassung

Ein Sturzereignis und deren Folgen können zu erheblichen Veränderungen im Leben älterer Menschen führen, sodass die Entwicklung von neuen Präventionsmaßnahmen gegen das Auftreten von Stürzen eine steigende Bedeutung einnimmt (1). Im Zentrum dieser klinischen Pilotstudie steht die Erforschung von akuten Effekten sinusförmiger und stochastischer Schwingungsformen auf die Risikofaktoren für ein Sturzereignis bei älteren Menschen mit einer erhöhten Sturzneigung.

Im Rahmen dieser Studie wurden die Durchführbarkeit, die Compliance und die Sicherheit eines Vibrationstrainings bei älteren, sturzgefährdeten Menschen untersucht. Im Vorfeld wurden die folgenden Hypothesen definiert: Ein Training mit dem stochastische -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät besitzt einen akut größeren Effekt auf die posturale Kontrolle und auf die Lokomotion als ein Training mit dem sinusförmige -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät. Hingegen führt eine Intervention mit einem sinusförmige -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät zu einer akut stärkeren Steigerung der muskulären Leistungsfähigkeit. Darüber hinaus wurden die akuten Auswirkungen des Vibrationstrainings auf die Herz- und Atemfrequenz während eines Vibrationstrainings untersucht.

Die sinusförmigen Schwingungen entsprechen ungedämpften Schwingungen mit einer konstanten Amplitude, sodass der Körper durch eine gleichbleibende äußere Energie angeregt wird (19). Bei den stochastischen Schwingungen treten zufällige und in ihrer Intensität unterschiedliche Schwingungen auf. Es kommt zu keiner Wiederholung des Schwingungsvorgangs, sodass der Körper ständig auf unterschiedliche äußere Reize reagieren muss (20).

Die Probanden absolvierten zwei Trainingseinheiten im Abstand von einer Woche. Nachdem sie in der ersten Woche mit dem sinusförmige-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät trainiert haben, wechselten sie in der darauffolgenden Woche das Trainingsgerät und absolvierten ein identisches Training mit dem stochastische -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät. Jede Intervention mit einem Vibrationstrainingsgerät umfasste sechs Trainingsintervalle über jeweils einer Minute mit einer Minute Pause. Insgesamt

waren drei Untersuchungszeitpunkte vorgesehen. Die posturale Kontrolle wurde mittels einer statischen Posturographie bei der Eingangs- und Abschlussuntersuchung sowie nach einem Trainingsintervall untersucht. Zur weiteren Untersuchung der akuten Effekte wurden der Timed-up-and-go-Test sowie eine Ganganalyse durchgeführt. Außerdem wurden die physiologischen Parameter Atemfrequenz und Herzfrequenz mittels eines mobilen Monitoring-Gerätes erhoben. Ergänzt wurden die Untersuchungsmethoden durch Fragebögen.

In dieser klinischen Studie wurden initial 13 Probanden eingeschlossen. Dabei nahmen zwölf Probanden an beiden Interventionen teil. Anhand der geringen Abbruchrate konnte eine hohe Compliance und eine gute Annahme festgestellt werden. Die gute Annahme könnte durch eine kurze Interventionszeit, eine einfache Bedienung des Vibrationstrainingsgeräts und durch eine minimale körperliche Voraussetzung zur Benutzung eines Vibrationstrainingsgeräts bedingt sein.

Die Untersuchung zeigte, dass eine Intervention mit einem stochastische-Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät zu einem akut größeren Effekt und tendenziell zu einer akuten Verbesserung der posturalen Kontrolle im Vergleich zu einem Training mit sinusförmigen Schwingungen führt. Nach Abschluss der Interventionen zeigten sich bei der Messung mit geöffneten Augen bezüglich der Auswertung der Standard-Ellipse, der richtungsunabhängigen Abweichung als auch in anterior-posterior-Richtung signifikante Unterschiede. Bereits von Hass et al. (103) wurde angenommen, dass stochastische Schwingungen einen akut positiven Effekt auf die posturale Kontrolle ausüben und über eine unwillkürliche Aktivierung des neuromuskulären Reflexsystems, eine Erhöhung der Sensitivität der Muskelspindel und eine Steigerung der afferenten Informationsweiterleitung zu einer Verbesserung des Gleichgewichts führen können. Gleichzeitig führte eine Intervention mit dem sinusförmige -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät zu einer tendenziellen, nicht-signifikanten, akuten Verschlechterung der posturalen Kontrolle.

Ein unverändertes Gangbild und ein Ausbleiben von unerwünschten Nebenwirkungen beim Vibrationstraining mit den gewählten Trainingsparametern spiegeln eine sichere Trainingsmethode wider.

Für eine Zunahme der muskulären Leistungsfähigkeit ist eine individuelle Anpassung der gewählten Frequenz und der Applikationsdauer notwendig.

Bei der Untersuchung des akuten Effekts des Vibrationstrainings auf die Herz- und Atemfrequenz zeigten sich auf der einen Seite ein statistisch signifikanter Anstieg der

Herzfrequenz bei der Intervention mit dem sinusförmige -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät und auf der anderen Seite eine statistisch signifikante Zunahme der Atemfrequenz bei der Intervention mit dem stochastische -Schwingungen-applizierenden Vibrationstrainingsgerät unabhängig von der subjektiv empfunden Belastung. In der Studie von Rittweger et al. (39) mit 40 gesunden Probanden wurde der Trainingseffekt eines Vibrationstrainings auf die Herzfrequenz untersucht. Als Kontrollgruppe dienten Probanden, die ein Training mit einem Fahrradergometer absolvierten. Hierbei zeigte sich ein signifikanter Anstieg der Herzfrequenz bei Probanden, die mit einem Vibrationstrainingsgerät trainierten. Die nachgewiesenen Effekte von applizierten Schwingungen auf die physiologischen Parameter sollten in zukünftigen Studien mit ergänzenden laborchemischen Untersuchungen untersucht werden.

Aufgrund der unterschiedlichen zeitlichen Trainingseffekte der sinusförmigen und stochastischen Schwingungen sollte vor Beginn der Intervention einer Sturzprophylaxe eine Analyse der individuellen körperlichen Defizite erfolgen. Mit dem Ziel eine bedarfsentsprechende Schwingungsform auszuwählen und diese Schwingung in ein multimodales Behandlungskonzept zu integrieren.

## 6 Abstract

### **Sinusoidale vs. stochastic vibration:**

#### **Acute effect on elderly people with high risk to falling**

*Introduction:* This pilot study was conducted to determine the acute effect of sinusoidale and stochastic whole-body vibration (WBV) on elderly people with a high risk of falling.

*Methods:* This pilot study was conducted on two days with one week in between. The first day of this study the probands (age  $77,7 \pm 5,3$ ; height  $162,3 \pm 7,4$  cm; body weight  $82,4 \pm 15,2$  kg; BMI  $31,2 \pm 5,1$  kg/m<sup>2</sup>) undertook an intervention with sinusoidale whole-body vibration (WBV). One week later the probands undertook an intervention with stochastic WBV. One intervention contained about six intervals. One interval lasted about 60 seconds. Feasibility outcomes involved recruitment, safety and compliance. The primary endpoint – the postural control – was measured by force plate before and after the first interval as well as after the complete intervention. The secondary outcomes - timed-up-and-go-Test (TUGT) and walking exercise - were measured before and after the intervention. During the intervention heart rate and respiratory rate were also measured.

*Results:* Among 18 eligible probands, 13 agreed to participate and 1 dropped out during the study. The stochastic WBV intervention showed a significant acute effect on force plate (std. Ellipse area  $p=0,007$ ; Center of force (CoF) dist. SD  $p=0,017$ ; CoF y SD  $p=0,011$ ). There were no significant acute effects on TUGT and on the walking exercise. During the sinusoidale WBV the heart rate increased significantly ( $p=0,025$ ). During the stochastic WBV the respiratory rate became significantly higher ( $p=0,011$ ). There were no unwanted side effects.

*Conclusion:* Stochastic WBV showed an acute improvement on postural control compared with sinusoidale WBV. There was no significant acute effect on the gait. The use of WBV seems safe directly after an intervention. The acute effect on heart rate and respiratory showed the influence of WBV on physical stress. The WBV exercise was safe and well accepted by the participants of this study.



## 7 Literaturverzeichnis

- (1) Kaeding T. Stürze im Alter: Epidemiologie und Prävention unter besonderer Berücksichtigung des Vibrationstrainings. *Sportwissenschaft* 2009;39:45-51.
- (2) Lord SR. Falls in older people: risk factors and strategies for prevention. : Cambridge University Press; 2007.
- (3) Hauer K, Lamb SE, Jorstad EC, Todd C, Becker C. Systematic review of definitions and methods of measuring falls in randomised controlled fall prevention trials. *Age Ageing* 2006;35(1):5-10.
- (4) Prevention of Falls Network Europe. ProFaNE Home Page. Available at: <http://www.profane.eu.org/>. Accessed 12.10.2013, 2013.
- (5) Balzer K, Bremer M, Schramm S, Lühmann D, Raspe H. Sturzprophylaxe bei älteren Menschen in ihrer persönlichen Wohnungsumgebung. Deutsches Institut für Medizinische Dokumentation und Information 2012;HTA-Bericht 116.
- (6) Kannus P, Uusi-Rasi K, Palvanen M, Parkkari J. Non-pharmacological means to prevent fractures among older adults. *Ann Med* 2005;37(4):303-310.
- (7) Runge M. Gehstörungen, Stürze, Hüftfrakturen. 1. Auflage ed. Darmstadt: Steinkopff-Verlag; 1998.
- (8) Hayes W, Myers E, Robinovitch S, Van Den Kroonenberg A, Courtney A, McMahon T. Etiology and prevention of age-related hip fractures. *Bone* 1996;18(1):S77-S86.
- (9) Myers A, Young Y, Langlois JA. Prevention of falls in the elderly. *Bone* 1996;18(1):S87-S101.
- (10) Gardner MM, Robertson MC, Campbell AJ. Exercise in preventing falls and fall related injuries in older people: a review of randomised controlled trials. *Br J Sports Med* 2000 Feb;34(1):7-17.
- (11) Province MA, Hadley EC, Hornbrook MC, Lipsitz LA, Miller JP, Mulrow CD, et al. The effects of exercise on falls in elderly patients. A preplanned meta-analysis of the FICSIT Trials. Frailty and Injuries: Cooperative Studies of Intervention Techniques. *JAMA* 1995 May 3;273(17):1341-1347.
- (12) Close J, Ellis M, Hooper R, Glucksman E, Jackson S, Swift C. Prevention of falls in the elderly trial (PROFET): a randomised controlled trial. *Lancet* 1999 Jan 9;353(9147):93-97.
- (13) Tinetti ME. Preventing Falls in Elderly Persons. *N Engl J Med* 2003 01/02; 2013/05;348(1):42-49.
- (14) Whipple R, Wolfson L, Amerman P. The relationship of knee and ankle weakness to falls in nursing home residents: an isokinetic study. *J Am Geriatr Soc* 1987;35(1):13-20.

- (15) Fukagawa NK, Wolfson L, Judge J, Whipple R, King M. Strength is a major factor in balance, gait, and the occurrence of falls. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences* 1995;50(Special Issue):64-67.
- (16) Granacher U, Gollhofer A. Auswirkungen des Alterns auf die Schnellkraftfähigkeit und das Reflexverhalten. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 2005;56(3):68-72.
- (17) Gregg EW, Pereira MA, Caspersen CJ. Physical activity, falls, and fractures among older adults: a review of the epidemiologic evidence. *J Am Geriatr Soc* 2000;48(8):883-893.
- (18) Kurrle SE. Aged-care medicine. *Med J Aust* 2002;176(1):4-4.
- (19) Kaeding T. *Vibrationstraining - Ein praxisorientiertes Handbuch (Band 2 "Gesundheit und Fitness")*. Schorndorf: Verlag Karl Hofmann; 2014.
- (20) HTWK Leipzig. *Grundlagen der Schwingungsmechanik*. 2013; Available at: [http://wwwm.htwk-leipzig.de/~kloehn/reports/Halm\\_Ma\\_WS06/Grundlagen\\_der\\_Schwingungsmechanik.pdf](http://wwwm.htwk-leipzig.de/~kloehn/reports/Halm_Ma_WS06/Grundlagen_der_Schwingungsmechanik.pdf). Accessed 31.08., 2013.
- (21) Runge M, Rehfeld G, Resnicek E. Balance training and exercise in geriatric patients. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 2000;1(1):61-65.
- (22) Verschueren SM, Roelants M, Delecluse C, Swinnen S, Vanderschueren D, Boonen S. Effect of 6-Month Whole Body Vibration Training on Hip Density, Muscle Strength, and Postural Control in Postmenopausal Women: A Randomized Controlled Pilot Study. *Journal of bone and mineral research* 2004;19(3):352-359.
- (23) Haas, C.; Turbanski, S.; Schmidtbleicher, D. *Nerval and mechanical rhythms in rehabilitative balance training.* ; 2004.
- (24) Bruyere O, Wuidart MA, Di Palma E, Gourlay M, Ethgen O, Richy F, et al. Controlled whole body vibration to decrease fall risk and improve health-related quality of life of nursing home residents. *Arch Phys Med Rehabil* 2005 Feb;86(2):303-307.
- (25) Luo J, McNamara B, Moran K. The use of vibration training to enhance muscle strength and power. *Sports Medicine* 2005;35(1):23-41.
- (26) Jordan MJ, Norris SR, Smith DJ, Herzog W. Vibration training: an overview of the area, training consequences, and future considerations. *J Strength Cond Res* 2005 May;19(2):459-466.
- (27) Cardinale M, Wakeling J. Whole body vibration exercise: are vibrations good for you? *Br J Sports Med* 2005 Sep;39(9):585-9; discussion 589.
- (28) Haas C, Kaiser I, Turbanski S, Schmidtbleicher D. *Zum Einsatz randomisierter Oszillationen in der Prävention und Rehabilitation von Rupturen des vorderen Kreuzbandes im alpinen Skirennlauf*. Bundesinstitut für Sportwissenschaft 2003.

- (29) Schmidtbleicher D, Haas C. Trainingsreize bei neuronalen Erkrankungen am Beispiel Parkinson. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2003;54(7):8.
- (30) Haas C, Schulze-Cleven K, Turbanski S, Schmidtbleicher D. Zur Interaktion koordinativer und propriozeptiver Leistungen. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2007;58(1):19-24.
- (31) Marín PJ, Rhea MR. Effects of vibration training on muscle power: a meta-analysis. The Journal of Strength & Conditioning Research 2010;24(3):871-878.
- (32) Merriman H, Jackson K. The effects of whole-body vibration training in aging adults: a systematic review. Journal of Geriatric Physical Therapy 2009;32(3):134-145.
- (33) Fernandez-Rio J, Terrados N, Fernandez-Garcia B, Suman OE. Effects of vibration training on force production in female basketball players. The Journal of Strength & Conditioning Research 2010;24(5):1373-1380.
- (34) Niewiadomski W, Cardinale M, Gasiorowska A, Cybulski G, Karuss B, Strasz A. Could Vibration Training Be an Alternative to Resistance Training in Reversing Sarcopenia? Journal of Human Kinetics 2005;14:3.
- (35) Delecluse C, Roelants M, Verschueren S. Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. Med Sci Sports Exerc 2003;35(6):1033-1041.
- (36) Pel J, Bagheri J, Van Dam L, Van Den Berg-Emons H, Horemans H, Stam H, et al. Platform accelerations of three different whole-body vibration devices and the transmission of vertical vibrations to the lower limbs. Med Eng Phys 2009;31(8):937-944.
- (37) Abercromby AF, Amonette WE, Layne CS, McFarlin BK, Hinman MR, Paloski WH. Vibration exposure and biodynamic responses during whole-body vibration training. Med Sci Sports Exerc 2007;39(10):1794.
- (38) Kersch-Schindl K, Grampp S, Henk C, Resch H, Preisinger E, Fialka-Moser V, et al. Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. Clin Physiol 2001 May;21(3):377-382.
- (39) Rittweger J, Beller G, Felsenberg D. Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. Clin Physiol 2000 Mar;20(2):134-142.
- (40) Calvert RN. Vibration and Vibrators, Part One. 2002; Available at: <http://www.massagemag.com/Magazine/2002/issue98/history98.php>. Accessed 13.07., 2013.
- (41) Barclay J. The Muscular Motions of the Human Body. Edinburgh: Laing; 1808.
- (42) Kreck HC. Die medico-mechanische Therapie Gustav Zanders in Deutschland. Ein Beitrag zur Geschichte der Krankengymnastik im Wilhelminischen Kaiserreich. Krankengymnastik 1990.
- (43) Dinckal N. Maschinengymnastik zwischen orthopädischer Apparatebehandlung und geselligem Muskeltraining, 1880-1918/19. Technikgeschichte 2007;74:227-250.

- (44) Charcot J. Vibratory Therapeutics.-the Application of Rapid and Continuous Vibrations to the Treatment of Certain Diseases of the Nervous System. *J Nerv Ment Dis* 1892;17(12):880-886.
- (45) Goetz CG. Jean-Martin Charcot and his vibratory chair for Parkinson disease. *Neurology* 2009 Aug 11;73(6):475-478.
- (46) Madou KH. Leg muscle activity level and rate of perceived exertion with different whole-body vibration frequencies in multiple sclerosis patients: An exploratory approach. *Hong Kong Physiotherapy Journal* 2011;29(1):12-19.
- (47) Bierman W. Influence of cycloid vibration massage on trunk flexion. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation* 1960;39(6):219-224.
- (48) Nazarov V, Spivak G. Deleopment of athlete's strength abilities by means of biomechanical stimulation method. *Theory and Practice of Physical Culture* 1985;12:445-450.
- (49) Albasini A, Krause M, Rembitzki I. Using Whole Body Vibration in Physical Therapy and Sport-Clinical practise and treatment exercise. Edinburgh: Churchill Livingstone Elsevier; 2010.
- (50) Stoppani J. Shake, rattle and grow. 2004; Available at: [http://www.bodyshaker.com/pdf/Stoppani,%20J.%28%29.%20Shake,%20Rattle%20and%20Gro  
w%20The%20Science%20and%20Appli.pdf](http://www.bodyshaker.com/pdf/Stoppani,%20J.%28%29.%20Shake,%20Rattle%20and%20Grow%20The%20Science%20and%20Appli.pdf). Accessed 13.07, 2013.
- (51) NASA (National Aeronautics and Space Administration). Good Vibrations: A new treatment under study by NASA-funded doctors could reverse bone loss experienced by astronauts in space. 2011; Available at: [http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2001/ast02nov\\_1/](http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2001/ast02nov_1/). Accessed 13.6., 2013.
- (52) Trautwein AX, Kreibig U, Hüttermann J. Physik für Mediziner, Biologen, Pharmazeuten. 7. Auflage ed. Berlin; 2008.
- (53) Adams JB, Edwards D, Serviette D, Bedient AM, Huntsman E, Jacobs KA, et al. Optimal frequency, displacement, duration, and recovery patterns to maximize power output following acute whole-body vibration. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2009;23(1):237-245.
- (54) Kaeding T. Krafttraining als präventive Maßnahme bei älteren Menschen: Praxisorientierte Methoden und Konzepte. Marburg: Tectum Verlag; 2006.
- (55) Cardinale M, Bosco C. The use of vibration as an exercise intervention. *Exerc Sport Sci Rev* 2003;31(1):3-7.
- (56) Martin BJ, Park H. Analysis of the tonic vibration reflex: influence of vibration variables on motor unit synchronization and fatigue. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1997;75(6):504-511.
- (57) Rønnestad BR. Acute effects of various whole body vibration frequencies on 1RM in trained and untrained subjects. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2009;23(7):2068-2072.

- (58) Roelants M, Verschueren SM, Delecluse C, Levin O, Stijnen V. Whole-Body-Vibration--Induced Increase in Leg Muscle Activity During Different Squat Exercises. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2006;20(1):124-129.
- (59) Bosco C, Colli R, Introvini E, Cardinale M, Tsarpela O, Madella A, et al. Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clinical physiology- Oxford-* 1999;19:183-187.
- (60) Crewther B, Cronin J, Keogh J. Gravitational forces and whole body vibration: implications for prescription of vibratory stimulation. *Physical Therapy in Sport* 2004;5(1):37-43.
- (61) Bazett-Jones DM, Finch HW, Dugan EL. Comparing the effects of various whole-body vibration accelerations on counter-movement jump performance. *Journal of Sports Science and Medicine* 2008;7(1):144-150.
- (62) Rees SS, Murphy AJ, Watsford ML. Effects of whole-body vibration exercise on lower-extremity muscle strength and power in an older population: a randomized clinical trial. *Phys Ther* 2008;88(4):462-470.
- (63) Human responses to vibration therapy. *Engineering in Medicine and Biology Society, 2003. Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE: IEEE; 2003.*
- (64) Bortz J, Lienert GA. *Kurzgefasste Statistik für die klinische Forschung*. 2. Auflage ed. Berlin: Springer-Verlag; 2003.
- (65) WellenGang GmbH. *Vibrationstraining und Schwingungstraining*. 2013; Available at: <http://www.wellengang.com/>. Accessed 12.06., 2013.
- (66) Russo CR, Lauretani F, Bandinelli S, Bartali B, Cavazzini C, Guralnik JM, et al. High-frequency vibration training increases muscle power in postmenopausal women< sup> 1, 2. *Arch Phys Med Rehabil* 2003;84(12):1854-1857.
- (67) Bautmans I, Van Hees E, Lemper J, Mets T. The feasibility of whole body vibration in institutionalised elderly persons and its influence on muscle performance, balance and mobility: a randomised controlled trial. *BMC geriatrics* 2005;5(1):17.
- (68) Haas, C. *Stochastische Resonanz in der Prävention und Rehabilitation*. Junge Naturwissenschaft und Praxis; 2006.
- (69) Borg G. Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität. *Deutsches Ärzteblatt* 2004;101(15):1016-1021.
- (70) Camicioli R, Panzer VP, Kaye J. Balance in the healthy elderly: posturography and clinical assessment. *Arch Neurol* 1997 Aug;54(8):976-981.
- (71) Piirtola M, Era P. Force platform measurements as predictors of falls among older people - a review. *Gerontology* 2006;52(1):1-16.

- (72) Novotec M. Grundlagen zu Leonardo Mechanographie. 2013; Available at: <http://www.galileo-training.com/de-deutsch/produkte/leonardo-mechanograph/grundlagen.html>. Accessed 11.07.2013, 2013.
- (73) Buatois S, Gueguen R, Gauchard GC, Benetos A, Perrin PP. Posturography and risk of recurrent falls in healthy non-institutionalized persons aged over 65. *Gerontology* 2006;52(6):345-352.
- (74) Baloh RW, Corona S, Jacobson KM, Enrietto JA, Bell T. A prospective study of posturography in normal older people. *J Am Geriatr Soc* 1998 Apr;46(4):438-443.
- (75) Podsiadlo D, Richardson S. The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc* 1991 Feb;39(2):142-148.
- (76) Perell KL, Nelson A, Goldman RL, Luther SL, Prieto-Lewis N, Rubenstein LZ. Fall risk assessment measures: an analytic review. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2001 Dec;56(12):M761-6.
- (77) Brooks D, Davis AM, Naglie G. Validity of 3 physical performance measures in inpatient geriatric rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil* 2006;87(1):105-110.
- (78) Chamberlin ME, Fulwider BD, Sanders SL, Medeiros JM. Does fear of falling influence spatial and temporal gait parameters in elderly persons beyond changes associated with normal aging? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2005 Sep;60(9):1163-1167.
- (79) Kressig RW, Beauchet O, European GAITRite Network Group. Guidelines for clinical applications of spatio-temporal gait analysis in older adults. *Aging Clin Exp Res* 2006 Apr;18(2):174-176.
- (80) Hausdorff JM, Rios DA, Edelberg HK. Gait variability and fall risk in community-living older adults: a 1-year prospective study. *Arch Phys Med Rehabil* 2001 Aug;82(8):1050-1056.
- (81) Nelson AJ, Certo LJ, Lembo LS, Lopez DA, Manfredonia EF, Vanichpong SK, et al. The functional ambulation performance of elderly fallers and non-fallers walking at their preferred velocity. *NeuroRehabilitation* 1999;13(3):141-146.
- (82) Rölke P. GAITRite (R) - den Gang messen - Schritt für Schritt ... 2013; Available at: <http://www.roelke.de/gaitrite.php>. Accessed 11.07.2013, 2013.
- (83) van Uden CJ, Besser MP. Test-retest reliability of temporal and spatial gait characteristics measured with an instrumented walkway system (GAITRite®). *BMC Musculoskeletal Disorders* 2004;5(1):13.
- (84) Beauchet O, Kressig RW, Najafi B, Aminian K, Dubost V, Mourey F. Age-related decline of gait control under a dual-task condition. *J Am Geriatr Soc* 2003 Aug;51(8):1187-1188.
- (85) Beauchet O, Dubost V, Gonthier R, Kressig RW. Dual-task-related gait changes in transitionally frail older adults: the type of the walking-associated cognitive task matters. *Gerontology* 2005 Jan-Feb;51(1):48-52.

- (86) Besser M, Kmiecjak K, Schwartz L, Snyderman M, Wasko J, Selby-Silverstein L. Reliability of temporal spatial gait parameters means in adults without impairment. *Gait Posture* 1999;17:113.
- (87) Bilney B, Morris M, Webster K. Concurrent related validity of the GAITRite walkway system for quantification of the spatial and temporal parameters of gait. *Gait Posture* 2003 Feb;17(1):68-74.
- (88) Shore WS, deLateur BJ, Kuhlemeier KV, Imteyaz H, Rose G, Williams MA. A comparison of gait assessment methods: Tinetti and GAITRite electronic walkway. *J Am Geriatr Soc* 2005 Nov;53(11):2044-2045.
- (89) Hannan MT, Cheng DM, Green E, Swift C, Rubin CT, Kiel DP. Establishing the compliance in elderly women for use of a low level mechanical stress device in a clinical osteoporosis study. *Osteoporos Int* 2004 Nov;15(11):918-926.
- (90) Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR. "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *J Psychiatr Res* 1975 Nov;12(3):189-198.
- (91) Cockrell JR, Folstein MF. Mini-Mental State Examination (MMSE). *Psychopharmacol Bull* 1988;24(4):689-692.
- (92) Cockrell JR, Folstein MF. Mini-mental state examination. *Geriatric Psychiatry* 2002:140.
- (93) Jorstad EC, Hauer K, Becker C, Lamb SE, ProFaNE Group. Measuring the psychological outcomes of falling: a systematic review. *J Am Geriatr Soc* 2005 Mar;53(3):501-510.
- (94) Lusardi MM, Smith EV, Jr. Development of a scale to assess concern about falling and applications to treatment programs. *J Outcome Meas* 1997;1(1):34-55.
- (95) Dias N, Kempen GI, Todd CJ, Beyer N, Freiburger E, Piot-Ziegler C, et al. The German version of the Falls Efficacy Scale-International Version (FES-I). *Z Gerontol Geriatr* 2006 Aug;39(4):297-300.
- (96) Zephyr Technology Corp. BioHarness. 2012; Available at: <http://www.zephyranywhere.com/products/bioharness-3/>. Accessed Juli, 2013.
- (97) Rogan S, Schmidtleicher D, Radlinger L. Immediate effects after stochastic resonance whole-body vibration on physical performance on frail elderly for skilling-up training: a blind cross-over randomised pilot study. *Aging clinical and experimental research* 2014;26(5):519-527.
- (98) Ronnestad BR, Holden G, Samnøy LE, Paulsen G. Acute effect of whole-body vibration on power, one-repetition maximum, and muscle activation in power lifters. *J Strength Cond Res* 2012 Feb;26(2):531-539.
- (99) Moher D, Hopewell S, Schulz KF, Montori V, Gøtzsche PC, Devereaux P, et al. CONSORT 2010 explanation and elaboration: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *J Clin Epidemiol* 2010;63(8):e1-e37.

- (100) World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki. Ethical principles for medical research involving human subjects. *Bull World Health Organ* 2001;79(4):373-374.
- (101) Rogan S, Radlinger L, Hilfiker R, Schmidbleicher D, de Bie RA, de Bruin ED. Feasibility and effects of applying stochastic resonance whole-body vibration on untrained elderly: a randomized crossover pilot study. *BMC geriatrics* 2015;15(1):25.
- (102) Kessler J, Radlinger L, Baur H, Rogan S. Effect of stochastic resonance whole body vibration on functional performance in the frail elderly: A pilot study. *Arch Gerontol Geriatr* 2014;59(2):305-311.
- (103) Haas C, Turbanski S, Markitz S, Kaiser I, Schmidbleicher D. Stochastische Resonanz in der Therapie von Bewegungsstörungen. *Bewegungstherapie u Gesundheitssport* 2006;2:258-261.
- (104) Da Silva M, Nunez V, Vaamonde D, Fernandez J, Poblador M, Garcia-Manso J, et al. Effects of different frequencies of whole body vibration on muscular performance. *Biology of Sport* 2006;23(3):267.
- (105) Kawanabe K, Kawashima A, Sashimoto I, Takeda T, Sato Y, Iwamoto J. Effect of whole-body vibration exercise and muscle strengthening, balance, and walking exercises on walking ability in the elderly. *Keio J Med* 2007;56(1):28-33.
- (106) Rogan S, Radlinger L, Schmid S, Herren K, Hilfiker R, de Bruin ED. Skilling up for training: a feasibility study investigating acute effects of stochastic resonance whole-body vibration on postural control of older adults. *Ageing Research* 2012;3(1):5.
- (107) Rønnestad BR. Acute effects of various whole-body vibration frequencies on lower-body power in trained and untrained subjects. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2009;23(4):1309-1315.
- (108) Marin PJ, Rhea MR. Effects of vibration training on muscle power: a meta-analysis. *J Strength Cond Res* 2010 Mar;24(3):871-878.
- (109) Marin PJ, Rhea MR. Effects of vibration training on muscle strength: a meta-analysis. *J Strength Cond Res* 2010 Feb;24(2):548-556.
- (110) Rogan S, Hilfiker R, Herren K, Radlinger L, de Bruin ED. Effects of whole-body vibration on postural control in elderly: a systematic review and meta-analysis. *BMC geriatrics* 2011;11(1):72.




## A Anhang

### A.1 Informationsplakat

The logo of the Medizinische Hochschule Hannover (MHH) consists of the letters 'M', 'H', and 'H' in a stylized, bold font, with the full name 'Medizinische Hochschule Hannover' written in a smaller font below it.

## Probanden gesucht

Für eine Studie zur Sturzprävention in höherem Lebensalter



**Wir suchen:**  
Weibliche und männliche Probanden im Alter von 65 Jahren oder älter, die in den zurückliegenden 12 Monaten mehrfach gestürzt sind.

**Wir bieten:**  
Sie haben die einmalige Möglichkeit zwei besonders innovative Methoden des Vibrationstrainings auszuprobieren.

**Ziel der Studie:**  
Sicheres Gehen auch in hohem Alter!

---

**Wo:**  
In den Räumen der Physiotherapiepraxis Physiotherapie Köhler (Stöckener-Straße 85, 30419 Hannover).

**Wann:**  
Die Studie startet Anfang Juli 2012.

Die Teilnahme ist für Sie kostenfrei!

Nähere Informationen zur Studie erhalten Sie:

- im ausliegenden Informationsblatt
- beim Institut für Sportmedizin der Medizinischen Hochschule Hannover (Herr Stein, Telefon: 0511-532 9217)
- bei Frau Meyer-Köhler

## A.2 Probandeninformation und Einverständniserklärung



MHH Institut für Sportmedizin, OE 4251, 30623 Hannover, Carl-Neuberg-Straße 1

Institut für Sportmedizin  
Prof. Dr. Uwe Tegtbur  
OE 4251  
Telefon: 0511 532-5499  
Fax: 0511 532-8199

Carl-Neuberg-Straße 1  
30625 Hannover

Ihr Zeichen

Ihre Nachricht vom

Unser Zeichen

Datum:

### Information für Probanden an der Studie

#### Stochastische Resonanztherapie versus sinusoidale mechanische Reize: akute Effekte bei älteren Menschen mit erhöhtem Sturzrisiko

##### Sehr geehrte Probandin, sehr geehrter Proband!

das Institut für Sportmedizin der Medizinischen Hochschule Hannover möchte eine Studie zur Sturzprävention bei älteren Menschen mit erhöhtem Sturzrisiko durchführen. Wir laden Sie ein, an der oben genannten Studie teilzunehmen.

##### Überblick über derzeitigen Stand der Forschung

Es wurde festgestellt, dass eine schlechte Haltungskontrolle, wie auch eine muskuläre Schwäche und vorliegende Bewegungsstörungen neben anderen Risikofaktoren bedeutende Risikofaktoren für das Auftreten von Stürzen sind. Stürze haben meist weitreichende Folgen für einen älteren Menschen, sie führen häufig zum Tod, zur Entstehung von Frakturen oder anderen Verletzungen, zu Immobilität, Einschränkungen der Selbstständigkeit, Pflegebedürftigkeit und als Folge dieser zur Notwendigkeit Pflegedienstleistungen in Anspruch zu nehmen und verringern die Lebensqualität. Im Bereich der Psyche können Stürze einen negativen Einfluss auf das Selbstwertgefühl, die Eigenaktivität und die Anzahl sozialer Kontakte ausüben. Die jährliche Sturzquote bei Menschen im Alter von 65 Jahren und älter liegt bei ca. 30%, dieser Anteil steigt bis zum Alter von 80 Jahren auf ca. 50% und annähernd die Hälfte der Stürzenden erleidet öfter als einmal im Jahr einen Sturz. Ein besonders hohes Sturz- und Frakturrisiko weisen Pflegeheimbewohner auf, über 50% der gehfähigen Bewohner stürzt mindestens einmal im Jahr und 20% der Stürze auf die Hüfte resultieren in einer Hüftfraktur. Ein ebenso erhöhtes Sturzrisiko weisen ältere Menschen auf, die mehrmals pro Jahr stürzen und

Pflegedienstleistungen in Anspruch nehmen. Sie gehören zu eben dieser Personengruppe mit einem erhöhten Sturzrisiko

**Problemstellung, Ziele des Forschungsprojektes**

Diese Studie soll zeigen, ob ein Training mit verschiedenen Methoden des Vibrationstrainings einen positiven Einfluss auf bedeutende Parameter des Sturzrisikos ausüben kann. Die Ergebnisse dieser Studie können wichtige Erkenntnisse für die Prävention von Stürzen in gefährdeten Personengruppen möglich machen. Die eingesetzten Methoden des Vibrationstrainings wurden bisher nur unzureichend im Zusammenhang mit der Sturzproblematik untersucht, obwohl bisherige Studienergebnisse in dieser Hinsicht vielversprechend sind.

**Studiendesign, Ablauf der Untersuchungen**

Nach einer Eingangsuntersuchung absolvieren alle Probanden zwei Trainingseinheiten an zwei Tagen. Pro Trainingseinheit trainieren die Probanden mit einem Vibrationsgerät, sodass jeder Proband nach den zwei Tagen zwei unterschiedliche Schwingungsformen kennengelernt hat. Im Rahmen der Eingangsuntersuchung sowie vor und nach der jeweiligen Trainingseinheit werden mit mehreren Messmethoden wichtige Faktoren des Sturzrisikos erhoben.

**Welchen Nutzen haben Sie?**

Die Ergebnisse dieser Studie können einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung von effektiven Maßnahmen in der Sturzprävention darstellen. Dies kann wiederum dazu führen, dass in Zukunft Personen mit einem erhöhten Sturzrisiko besser erkannt werden können und durch eine entsprechende Therapie das Auftreten von Stürzen bei gefährdeten Personen reduziert werden kann. Jede Datenerhebung inklusive des Trainings wird etwa 60 Minuten in Anspruch nehmen.

**Welche Risiken beinhaltet Ihre Zustimmung?**

Das Vibrationstraining weist derzeit kein erhöhtes bekanntes Risiko für das Auftreten von Nebenwirkungen auf. Lediglich ein kurz anhaltendes Gefühl von Schwindel im Rahmen der Trainingseinheiten, eine Rötung von Teilen der unteren Extremitäten sowie ein Gefühl von „Kribbeln“ in den trainierten Körperregionen wird, allerdings selten, von Trainierenden berichtet. In sehr seltenen Fällen besteht während und kurz nach dem Vibrationstraining ein Sturzrisiko. Daher empfehlen wir Ihnen sich nach dem Training im Sitzen für 10 Minuten zu erholen. Während der gesamten Zeit steht Ihnen ein Mitarbeiter dabei als Hilfe bei.

**Müssen Sie der Datenerfassung zustimmen?**

Ihre Zustimmung und Teilnahme ist vollkommen freiwillig. Sie können die wissenschaftliche Auswertung Ihrer Daten ablehnen, ohne dass dies Ihre Betreuung beeinflusst. Selbstverständlich können Sie Ihre Zustimmung jederzeit ohne Angabe von Gründen widerrufen, ohne dass Ihre weitere medizinische Betreuung dadurch beeinflusst wird.

**Werden Ihre Teilnahme und die Daten vertraulich behandelt?**

Alle erhobenen Daten werden vertraulich behandelt und in anonymisierter Form statistisch ausgewertet.

**Haben Sie noch weitere Fragen?**

Sollten Sie weitere Fragen haben, können Sie sich an Prof. Tegtbur (Tel.: 0511 5325499), an Herrn Kaeding (Kaeding.Tobias@mh-hannover.de; Tel.: 0511 5325499), an Herrn Stein (Tel.: 0511 5329217) oder das Büro der Sportmedizin (Tel.: 0511 5325499) wenden

Einwilligungserklärung für die Studie  
„Stochastische Resonanztherapie versus sinusoidale mechanische Reize: akute Effekte bei  
älteren Menschen mit erhöhtem Sturzrisiko“

Herr / Frau ..... hat mich ausführlich über das Test- und Trainingsprogramm, aufgeklärt, und darüber dass die Daten, die von mir erhoben werden, zu wissenschaftlichen Zwecken ausgewertet werden sollen.

Ich erkläre mich bereit, dass bei mir Tests zur Koordination und Kraft durchgeführt werden dürfen. Ich erkläre mich ebenfalls bereit, dass die von mir erhobenen medizinischen und Trainingsdaten unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten und anonymisiert ausgewertet werden dürfen.

Beim Umgang mit personenbezogenen Daten werden die Grundsätze des Datenschutzes beachtet.

Mir ist bekannt, dass ich dieses Einverständnis jederzeit ohne Angaben von Gründen widerrufen kann, ohne dass dies Einfluss auf meine Behandlung hat.

Anmerkungen: .....

\_\_\_\_\_  
Name des Teilnehmers in Druckbuchstaben

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des Teilnehmers

\_\_\_\_\_  
Datum (eigenhändig)

\_\_\_\_\_  
Unterschrift der aufklärenden Person

\_\_\_\_\_  
Datum (eigenhändig)

*Der Teilnehmer erhält eine Kopie der unterschriebenen Einverständniserklärung und der Patienteninformation.  
Das Original verbleibt in der Teilnehmerakte.*

### A.3 Probanden-Erfassungsbogen

#### Fragenkatalog mit Ausschlusskriterien

Screening ID: \_\_\_\_\_

Randomization ID: \_\_\_\_\_

Initialen des Probanden: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

**Stochastische Resonanztherapie versus sinusoidale mechanische Reize: akute Effekte bei institutionalisierten älteren Menschen mit erhöhtem Sturzrisiko**

#### Fragenkatalog mit Ausschlusskriterien/

##### Probanden-Erfassungsbogen:

Patienteninitialen: \_\_\_\_\_

Geburtsdatum: \_\_\_\_\_ Alter: \_\_\_\_\_ Jahre

Größe: \_\_\_\_\_ m Gewicht: \_\_\_\_\_ Kg Body mass index (BMI): \_\_\_\_\_ Kg/m<sup>2</sup>

Geschlecht: m / w

#### körperliche Aktivität in den letzten Wochen:

- |     |                                           |                          |
|-----|-------------------------------------------|--------------------------|
| I   | vorwiegend sitzend                        | <input type="checkbox"/> |
| II  | Gehen/Radfahren <3x/Woche                 | <input type="checkbox"/> |
| III | körperliche Aktivität mindestens 3x/Woche | <input type="checkbox"/> |
| IV  | intensiver Sport >4x/Woche                | <input type="checkbox"/> |

- welche Sportarten werden regelmäßig ausgeübt: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

*bitte zutreffendes ankreuzen*

<p>Benutzt der Proband Hilfsmittel für die Fortbewegung?</p> <p><input type="checkbox"/> ja</p> <p><input type="checkbox"/> nein</p> <p>wenn ja, welche?</p> <hr/> <p>Ist der Proband in der eine Gehstrecke von 20 Metern (in geschlossenen Räumen) ohne Hilfsmittel zu bewältigen?</p> <p><input type="checkbox"/> ja</p> <p><input type="checkbox"/> nein</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

*bitte zutreffendes ankreuzen*

<p>Ist der Proband im letzten Jahr gestürzt?</p> <p><input type="checkbox"/> ja</p> <p><input type="checkbox"/> nein</p> <p>wenn ja, wie oft?</p> <hr/>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

*bitte zutreffendes ankreuzen*

<input type="checkbox"/>	große, nicht lagestabile Gallen- und Nierensteine
<input type="checkbox"/>	Thrombose
<input type="checkbox"/>	Operationen, die weniger als 6-8 Wochen her sind
<input type="checkbox"/>	künstlicher Gelenkersatz, der jünger als 6 Monate ist
<input type="checkbox"/>	Koronare Herzkrankheit oder Arterielle Verschlusskrankheit)
<input type="checkbox"/>	nicht ausreichend eingestellte Hypertonie
<input type="checkbox"/>	Diabetes mellitus mit fortgeschrittenen Mikroangiopathien, Gangränen, diabetischen Füßen, Netzhautproblematiken

2

---

<input type="checkbox"/>	Herz- oder Himschrittmacher
<input type="checkbox"/>	akute Entzündungen des Bewegungsapparates (aktivierte Arthrose oder Arthropathie)
<input type="checkbox"/>	akute Tendinopathien in trainierten Körperregionen
<input type="checkbox"/>	akute Hernien
<input type="checkbox"/>	akute Diskopathie
<input type="checkbox"/>	frische Frakturen in trainierten Körperregionen
<input type="checkbox"/>	rheumatoide Arthritis
<input type="checkbox"/>	Epilepsie (sekundäre Verletzungsgefahr)

Datum: \_\_\_\_\_ Name und Unterschrift: \_\_\_\_\_

## A.4 Bogen für die Evaluation einer Umsetzung einer Intervention mit einem Vibrationstraining

### BOGEN FÜR DIE EVALUATION EINER UMSETZUNG EINER INTERVENTION MIT EINEM VIBRATIONSTRAINING

Nummer der Trainingseinheit:

Verwendetes Gerät:

Trainingsparameter je Satz:

#### 1. Satz

Dauer:	Sekunden
Frequenz:	Hertz
Amplitude:	Millimeter
Angewendete Übung, Körperposition:	
Anmerkungen:	

	Stimme überhaupt nicht zu	Stimme nicht zu	Keine Meinung/ weder noch	Stimme zu	Stimme sehr zu
Ich habe einen sicheren Stand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

#### 2. Satz

Dauer:	Sekunden
Frequenz:	Hertz
Amplitude:	Millimeter
Angewendete Übung, Körperposition:	
Anmerkungen:	



**3. Satz**

<b>Dauer:</b>	<b>Sekunden</b>
<b>Frequenz:</b>	<b>Hertz</b>
<b>Amplitude:</b>	<b>Millimeter</b>
<b>Angewendete Übung,</b>	
<b>Körperposition:</b>	
<b>Anmerkungen:</b>	

**4. Satz**

<b>Dauer:</b>	<b>Sekunden</b>
<b>Frequenz:</b>	<b>Hertz</b>
<b>Amplitude:</b>	<b>Millimeter</b>
<b>Angewendete Übung,</b>	
<b>Körperposition:</b>	
<b>Anmerkungen:</b>	

**5. Satz**

<b>Dauer:</b>	<b>Sekunden</b>
<b>Frequenz:</b>	<b>Hertz</b>
<b>Amplitude:</b>	<b>Millimeter</b>
<b>Angewendete Übung,</b>	
<b>Körperposition:</b>	
<b>Anmerkungen:</b>	

**6. Satz**

<b>Dauer:</b>	<b>Sekunden</b>
<b>Frequenz:</b>	<b>Hertz</b>

<b>Amplitude:</b>	<b>Millimeter</b>
<b>Angewendete Übung, Körperposition:</b>	
<b>Anmerkungen:</b>	

	Stimme überhaupt nicht zu	Stimme nicht zu	Keine Meinung/ weder noch	Stimme zu	Stimme sehr zu
Ich habe einen sicheren Stand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Notizen:**

## A.5 Zulassen des Board-3000 als medizinisches Produkt



### EC Declaration of Conformity

#### EG Konformitätserklärung

Feel Well GmbH & Co. KG  
Weilerstr. 20a

86865 Oberneufnach

hereby declares, that the following product  
erklärt als Hersteller, dass das Produkt

**Receiver with MD Housing  
Board 3000 mit Funkempfänger im Mittelgehäuse (MD-Gehäuse)  
EKX2FW und EKX4FW  
mit Handsender  
SKX2HDW oder SKX4HDW**

Radio Class 1 equipment for Non-Specific Short Range Devices (Receiver) fequency band 433.050 – 434.790 MHz

Funkanlage der Geräteklasse 1 (Empfänger), zur Anwendung im ISM Band 433.05-434.79 MHz

Complies with the following essential requirements of R&TTE Directive (1999/5/EC) and relevant standards  
Mit folgenden essentiellen Anforderungen der R&TTE Richtlinie (1999/5/EC) und relevanten Normen übereinstimmt:

- LVD Richtlinie 73/23/EEC
  - EN 60950
- EMC Richtlinie 89/336/EEC
  - ETS 301-489-3
  - ETS 300-220-3
  - EN 50081-1; EN 50081-2; EN 50082-1; EN 50082-1
- EN 957
- Sicherheit
  - EN 60335

The manufacturer and/or his authorised representative provide the following technical Documents in case of request of the authority in the member state, where the product is placed in the market.

Der Hersteller und die zur Anwendung kommenden Vertriebsunternehmen legen die folgende Technische Dokumentation für den Fall bereit, dass von den zuständigen Behörden eine entsprechende Überprüfung durchgeführt wird:


- Technical Documentation / Technische Zeichnung
- Technical Data`s / Technische Daten
- Radio test files / Prüfberichte

Oberneufnach, August 2005

Christian Wilhelm (Geschäftsführer)

feel well gmbh & co.kg | weilerstraße 20a | 86865 oberneufnach | hotline 08262/96035-0 | fax -15 | [service@qipendi.de](mailto:service@qipendi.de) | [www.qipendi.de](http://www.qipendi.de)  
gf: christian wilhelm | hra 10980 | ag: memmingen | ust-idnr.de 234429097 | raiba tussenhausen, blz 701 695 75, kto 5024307,  
GENODEF1TRH, IBAN DE72 701695750005024307 | psk wien blz 60000, kto 921 573 56, OPSKATWW, AT476000.000.092157356

## A.6 Zulassung des srt-medical als medizinisches Produkt

<b>KONFORMITÄTSERKLÄRUNG / DECLARATION OF CONFORMITY / DECLARATION DE CONFORMITE / DICHIARAZIONE DI CONFORMITA</b>	
Name und Adresse der Firma Name and address of the firm Nom et adresse de l'entreprise Nome e indirizzo della ditta	<b>SR Therapiesysteme GmbH &amp; Co. Lifescience KG – Betriebsstätte Deutschland Crellestraße 28-30 D-10827 Berlin</b>
Wir erklären in alleiniger Verantwortung, dass / We declare under our sole responsibility that / Nous déclarons sous notre propre responsabilité que / Dichiariamo sotto nostra responsabilità che	
Das Medizinprodukt The medical device Le dispositif médical Il dispositivo medico	<b>SRT Zeptor® Medical Plus Noise</b>
<small>Berechnung, Typ oder Modell, Chargen- oder Seriennummer, ev. Herkunft und Stückzahl Name, type or model, batch or serial number, possibly source and number of items Nom, type ou modèle, numéro de lot ou série, év. Source et numéro d'exemplaires Nome, tipo o modello, numero di lotto o di serie, ev. Fonte e numero di esemplari</small>	
Der Klasse / of class / de la classe / della classe	<b>I</b> <small>Nach Anhang IX der Richtlinie 93/42 EWG / according to annex IX of direct. 93/42 EEC / Selon l'annexe IX de la directive 93/42 CEE / secondo l'allegato IX della direttiva 93/42/CEE</small>
allen Anforderungen der Medizinprodukte-Richtlinie 93/42/EWG entspricht, die anwendbar sind / / meets all the provisions of the directive 93/42 EEC which apply to it / remplit toutes les exigences de la directive sur les dispositifs médicaux 93/42 CEE qui le concernent / soddisfa tutte le disposizioni della direttiva 93/42 CEE che lo riguardano.	
Angewandte harmonisierte Normen, nationale Normen oder andere normative Dokumente Applied harmonized standards, national standards or other normative documents Normes harmonisées, normes nationales et autres documents normatifs appliqués Norme armonizzate o nazionali applicate, altri documenti normative applicati	<b>MDD 93/42 EEC DIN EN ISO 957-1:1999 IEC EN 60601-1-1:1996 IEC EN 60601-1 Beiblatt 1:2003 IEC EN 60601-1-2:2002 IEC EN 60601-1-4:2001 EMV Richtlinie 89/336/EWG: 2004</b>
Konformitätsbewertungsverfahren Conformity assessment procedure Procédure d'évaluation de la conformité Procedimento di valutazione della conformità	<b>MDD 93/42 EEC Annex VII</b>
Konformitätsbewertungsstelle (falls beigezogen) Notified Body (if consulted) Organe resp. de l'évaluation de la conformité (si consulté) Organo incaric. Della valutaz. Della conform. (se consultato)	---
<b>Berlin, 02. Januar 2007</b> Ort, Datum / Place, date / Lieu, date / Luogo, data	 <b>Olaf Hagen, Prokurist</b> Name und Funktion / Name and function / Nom et fonction / Nome e funzione

**A.7 Messungen Board-3000**

<b>Gerät</b>	<b>Amplitude/ Fußposition</b>	<b>Gewählte Frequenz in Hertz</b>	<b>Gemessene tatsächliche Frequenz in Hertz</b>	<b>Abweichung in Prozent</b>
Board 3000 neue Software Physio Stöcken				
	Fuß 2	5	3,80	-24
	Fuß 2	10	8,19	-18,1
	Fuß 2	15	12,29	-18,07
	Fuß 2	20	16,53	-17,35
	Fuß 2	25	20,64	-17,44
Messung unter Belastung (Untersucher)	Fuß 2	10	8,14	-18,6
Wiedereinstellbarkeit 1	Fuß 2	10	8,23	-17,7
2	Fuß 2	10	8,23	-17,7
3	Fuß 2	10	8,25	-17,5

## A.8 Timed-up-and-go-Test

Studie: Stochastische Resonanztherapie versus sinusoidale mechanische Reize: akute Effekte bei älteren Menschen mit erhöhtem Sturzrisiko

### Datenerhebungsbogen Timed up and go-Test

**Datum:**

**Proband:**

Der Proband muss, mit eventueller Hilfe, von einem Stuhl mit einer Lehne und einer Sitzhöhe von 46 Zentimetern aufstehen, drei Meter gehen, sich umdrehen und danach wieder auf den Stuhl setzen. In der Ausgangsposition sitzt der Patient mit dem Rücken an der Rückenlehne des Stuhls und seine Arme liegen auf den Armlehnen. Der Proband wird aufgefordert in seiner gewohnten Geschwindigkeit zu gehen und darf nicht angetrieben werden. Außerdem sollte er vor der Zeitnahme einen Probendurchgang zur Eingewöhnung absolvieren. Die Zeit, die der Proband für die gesamte Aufgabenstellung benötigt wird in Sekunden gemessen.

<b>1. Versuch</b>
<b>Benötigte Zeit:    sek.</b>
<input type="checkbox"/> <b>Proband konnte den Versuch nicht abschließen</b>

**Anmerkungen:** \_\_\_\_\_

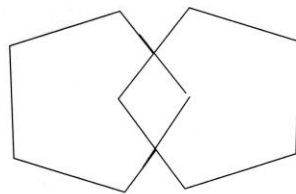
## A.9 Mini-Mental-State-Examination (MMSE)

### Mini-Mental State Examination (MMSE)

<b>1. Orientierung</b>	
Datum	1/0
Jahr	1/0
Jahreszeit	1/0
Wochentag	1/0
Monat	1/0
Praxisort / Krankenhaus	1/0
Stockwerk / Station	1/0
Stadtteil der Praxis / des Krankenhauses	1/0
Stadt	1/0
Land	1/0
<b>2. MERKFÄHIGKEIT</b>	
Apfel	1/0
Pfennig	1/0
Tisch	1/0
<b>3. AUFMERKSAMKEIT UND RECHENFÄHIGKEIT</b>	
93	1/0
86	1/0
79	1/0
72	1/0
65	1/0
<b>4. ERINNERUNGSFÄHIGKEIT</b>	
Apfel	1/0
Pfennig	1/0
Tisch	1/0
<b>5. SPRACHE</b>	
Armbanduhr benennen	1/0
Bleistift benennen	1/0
Nachsprechen: <i>kein wenn und oder aber</i>	1/0
<b>6. PLANUNG</b>	
dreiteilige Aufforderung befolgen: Nehmen Sie das Blatt Papier in die Hände	1/0
Falten Sie es in der Mitte und	1/0
Lassen Sie es auf den Boden fallen	1/0
<b>7. LESEN UND SCHREIBEN</b>	
Aufforderung lesen und befolgen: <i>Augen zu</i>	1/0
Schreiben Sie bitte einen Satz	1/0
<b>8. KONSTRUKTIVE WAHRNEHMUNG</b>	
Zeichnung kopieren (2 Fünfecke)	1/0
<b>Gesamtpunktzahl</b>	<b>/30</b>

# Augen zu

---





## A.10 Falls Efficacy Scale International (FES-I)

### FES-I

Wir würden Ihnen gerne einige Fragen darüber stellen, welche Bedenken Sie haben hinzufallen, wenn Sie bestimmte Aktivitäten ausführen. Bitte denken Sie noch mal darüber nach, wie sie diese Aktivität normalerweise ausführen. Wenn Sie die Aktivität z.Z. nicht ausführen (z.B. wenn jemand ihren Einkauf erledigt), geben Sie bitte (trotzdem) eine Antwort um anzuzeigen, ob Sie Bedenken *hätten* zu stürzen, wenn Sie die Aktivität ausführen *würden*. Markieren sie bitte diejenige Angabe, die am ehesten ihrem eigenen Empfinden entspricht, um anzuzeigen welche Bedenken sie haben zu stürzen, wenn sie diese Aktivität ausüben.

		<i>Keinerlei Bedenken</i> 1	<i>Einige Bedenken</i> 2	<i>Ziemliche Bedenken</i> 3	<i>Sehr große Bedenken</i> 4
1	Den Hausputz machen (z.B. kehren, staubsaugen oder Staub wischen)	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
2	Sich an- oder ausziehen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
3	Einfache Mahlzeiten zubereiten	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
4	Ein Bad nehmen oder duschen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
5	In einem Laden einkaufen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
6	Von einem Stuhl aufstehen oder sich hinsetzen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
7	Eine Treppe hinauf- oder hinuntergehen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
8	In der Nähe der Wohnung draussen umhergehen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
9	Etwas erreichen, was sich oberhalb des Kopfes oder auf dem Boden befindet	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
10	Das Telephon erreichen, bevor es aufhört zu klingeln	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
11	Auf einer rutschigen Ober-fläche gehen (z.B. wenn es nass oder vereist ist)	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
12	Einen Freund oder Verwandten besuchen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
13	In einer Menschenmenge umhergehen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
14	Auf unebenem Boden gehen (z.B. Kopfsteinpflaster, ungepflegter Gehweg)	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
15	Eine Steigung hinauf- oder hinunter gehen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
16	Eine Veranstaltung besuchen (z.B. ein Familientreffen, eine Vereinsversammlung oder Gottesdienst)	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>

## A.11 Fragebogen zur Evaluation der Zufriedenheit mit den Interventionen

### Fragebogen zur Evaluation der Zufriedenheit mit den Interventionen

Screening ID: \_\_\_\_\_

Randomization ID: \_\_\_\_\_

Initialen des Probanden: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

### Fragebogen zur Ermittlung der Zufriedenheit mit einem Vibrationstraining

Dieser Fragebogen stellt Ihnen Fragen zu Ihrem aktuellen Empfinden bezüglich der Benutzung des Gerätes zum Vibrationstraining. Bitte **markieren Sie für jede Aussage ein Kästchen**, welches am besten Ihr aktuelles Empfinden im Bezug auf die jeweilige Frage widerspiegelt.

Bitte markieren Sie das Kästchen, welches Ihre aktuelle Empfindung am besten wiedergibt!

	stimme überhaupt nicht zu	stimme nicht zu	keine Meinung/ weder noch	stimme zu	stimme sehr zu
1. Die Länge des Trainings (ca. 10 Minuten) ist sinnvoll	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Mir macht es Spaß, das Vibrationstrainingsgerät regelmäßig zu nutzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Ich würde das Vibrationstrainingsgerät Freunden und Familienmitgliedern empfehlen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Ich bin mit meiner Nutzung des Vibrationstrainingsgerätes in der letzten Zeit zufrieden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Ich halte die Nutzung des Vibrationstrainingsgerätes für sicher	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bitte markieren Sie das Kästchen, welches Ihre Empfindung am besten wiedergibt!

	stimme überhaupt nicht zu	stimme nicht zu	keine Meinung/ weder noch	stimme zu	stimme sehr zu
6. Es ist langweilig das Vibrationstrainingsgerät zu benutzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Alles in Allem bin ich mit dem Vibrationstrainingsgerät zufrieden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Ich habe die nötigen Anweisungen für das Training mit dem Vibrationstrainingsgerät erhalten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Das Benutzen des Vibrationstrainingsgerätes ist unangenehm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Ich würde ein Vibrationstrainingsgerät viele Jahre nutzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

11. Wo würden sie am liebsten ein Vibrationstrainingsgerät für Ihr Training plazieren?

In Ihrer Wohnung oder Haus       in einem Bereich, der von einer Gruppe genutzt werden kann

12. Fällt Ihnen etwas ein, was man an der Benutzung des Vibrationstrainingsgerätes verbessern kann? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

13. Was erschien Ihnen als größtes Hindernis in der regelmäßigen Benutzung des Vibrationstrainingsgerätes? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

14. Wir sind an den besten und schlechtesten Eigenschaften des Vibrationstrainingsgerätes interessiert. Bitte listen Sie die Ihrer Meinung nach BESTEN 3 Eigenschaften bezüglich des Trainings mit dem Vibrationstrainingsgerät und die 3 SCHLECHTESTEN Eigenschaften auf.

<b>BESTE EIGENSCHAFTEN</b>	<b>SCHLECHTESTE EIGENSCHAFTEN</b>
1.	1.
2.	2.
3.	3.

Möchten Sie uns noch irgendetwas anderes mitteilen?

---

---

**VIELEN DANK FÜR IHRE ZEIT UND IHRE TEILNAHME !**

---

## Lebenslauf

Name: **Alexander Kiehl**  
Anschrift: Schulstraße 41  
32130 Enger  
Geburtsdatum: 26. September 1988  
Geburtsort: Bielefeld  
Staatsangehörigkeit: Deutsch

### Schulische Ausbildung

1995-1999 Grundsule Oldinghausen- Pödinghausen  
1999-2005 Städtische Realschule Enger  
2005-2008 Widukind-Gymnasium Enger  
**06/2008 Allgemeine Hochschulreife**

### Studium

10/2008-11/2014 Medizinische Hochschule Hannover  
Studium der Humanmedizin  
**11/20014 Erteilung der Approbation**

### Ärztliche Tätigkeit

**Seit 01/2015 Klinikum Herford**  
**Medizinischen Klinik III/Kardiologie**  
**Assistenzarzt**

Enger, den 16.10.2017

Alexander Kiehl

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich in den letzten Jahren unterstützt haben. Besonderer Dank gilt meiner Familie sowie den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Sportmedizin der Medizinischen Hochschule Hannover.

## **Originalitätsverpflichtung**

Ich erkläre, dass ich die der Medizinischen Hochschule Hannover zur Promotion eingereichte Dissertation mit dem Titel

**Sinusoidale mechanische versus stochastische Reize:**

**akute Effekte bei älteren Menschen mit erhöhtem Sturzrisiko**

Im Institut für Sportmedizin

unter Betreuung von Prof. Dr. med. Uwe Tegtbur

mit der Unterstützung durch Lothar Stein

ohne sonstige Hilfe durchgeführt und bei der Abfassung der Dissertation keine anderen als die dort aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Die Gelegenheit zur vorliegenden Promotionsverfahren ist mir nicht kommerziell vermittelt worden.

Insbesondere habe ich keine Organisation eingeschaltet, die gegen Entgelt Betreuerinnen und Betreuer für die Anfertigung von Dissertationen sucht oder die mir obliegenden Pflichten hinsichtlich der Prüfungsleistung für mich ganz oder teilweise erledigt.

Ich habe diese Dissertation bisher keiner in- oder ausländischen Hochschule zur Promotion eingereicht. Weiterhin versichere ich, dass ich den beantragten Titel bisher noch nicht erworben habe.

Enger, den 16.10.2017

Alexander Kiehl: \_\_\_\_\_