

**Medizinische Fakultät der
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg**

**Effekte unterschiedlicher sensomotorischer Trainingsformen auf die
posturale Kontrolle und den Funktionsstatus bei chronischem
Rückenschmerz**

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Medizin (Dr. med.)

von Alex Rüger

geboren am 22.04.1993 in Borna

1. Betreuer: Prof. Dr. med. Karl-Stefan Delank
2. Betreuerin: Prof. Dr. med. Dipl. Mus. Anke Steinmetz

Gutachter/-in: 1. Prof. Dr. med. Karl-Stefan Delank
2. Prof. Dr. med. Wilfried Mau
3. Prof. Dr. med. Philipp Drees (Mainz)

04.05.2021

04.10.2021

Referat

Chronische Rückenschmerzen sind sehr weit verbreitet und stellen mit ihren Ursachen und Folgen eine immense sozioökonomische Herausforderung für unsere industrialisierte Welt dar. Das leitliniengerechte Therapieregime folgt einem multimodalen Ansatz, bei dem aus verschiedenen Blickwinkeln eine Verbesserung der Schmerzsymptomatik und Funktion angestrebt wird. Es gibt eine Vielzahl von Therapie- und Trainingsformen, aus denen sich im Rahmen dieses multimodalen Ansatzes bei chronischen Rückenschmerzen bedient werden kann. Eine weit verbreitete Methode ist das sensomotorische Training. Rückenschmerzen sind häufig auch mit Störungen der posturalen Kontrolle vergesellschaftet, welche therapeutisch durch ein sensomotorisches Training adressiert werden können. Verschiedene Trainingsgeräte können dafür herangezogen werden.

Es stellt sich infolgedessen die Frage, ob es überlegene Therapie-/Trainingsformen zur Ausführung eines sensomotorischen Trainings gibt. Dies wurde im Rahmen einer 14-tägigen stationären multimodalen Schmerztherapie anhand von 75 Patienten/-innen mit chronischen Rückenschmerzen hinsichtlich dreier verschiedener Trainingsformen eines sensomotorischen Trainings untersucht. Es erfolgten über diese zwei Wochen insgesamt sechs Trainingseinheiten entweder einer sensomotorisch physiotherapeutischen Beübung, eines Trainings auf dem Galileo® oder auf dem Posturomed®. Die Messung des Effektes der einzelnen Trainingsformen erfolgte sowohl mittels prä- und postinterventioneller Posturographie als auch durch die Beantwortung des Oswestry-Disability-Index (ODI).

Gezeigt werden konnte über alle Gruppen eine Reduktion der schmerzbedingten Beeinträchtigung des alltäglichen Lebens im Anschluss an die zweiwöchige Interventionsphase. Die Darstellung einer Überlegenheit einer der drei untersuchten Trainingsformen wurde durch die Ergebnisse nicht gestützt. Des Weiteren konnte im Zeitverlauf zwar kein signifikanter Zugewinn in der Verbesserung der posturalen Kontrolle, jedoch eine Verbesserung der Insuffizienz des peripher vestibulären Anteils des Gleichgewichtssystems festgestellt werden. Aus den Ergebnissen kann geschlussfolgert werden, dass alle drei im Rahmen der vorliegenden Studie untersuchten sensomotorischen Trainingsformen als Bestandteil einer multimodalen Schmerztherapie geeignet sind, um die schmerzbedingte Beeinträchtigung bei Patienten/-innen mit chronischen Rückenschmerzen zu verringern. Es lässt sich im Rahmen der Posturographie eine Verbesserung der Insuffizienz des peripher vestibulären Systems, jedoch kein positiver Einfluss auf die Standsicherheit berichten. Dies hängt möglicherweise auch mit dem kurzen Beobachtungszeitraum von zwei Wochen zusammen.

Rüger, Alex: Effekte unterschiedlicher sensomotorischer Trainingsformen auf die posturale Kontrolle und den Funktionsstatus bei chronischem Rückenschmerz, Halle (Saale), Univ., Med. Fak., Diss., 48 Seiten, 2021

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
1. Einleitung	1
1.1 Sozioökonomische Bedeutung von Rückenschmerzen	1
1.2 Definition und Einteilung von Rückenschmerzen	3
1.3 Diagnostik bei Rückenschmerzen	3
1.4 Therapie von Rückenschmerzen	4
1.5 Tiefenstabilisationssystem und posturale Kontrolle	5
1.6 Sensomotorisches Training	7
1.6.1 Posturomed®	8
1.6.2 Galileo®	9
2. Zielstellung	10
3. Methoden und Material	11
3.1 Design/Studienablauf	11
3.2 Stichprobe	12
3.2.1 Probandenrekrutierung	12
3.2.2 Einschlusskriterien	12
3.2.3 Ausschlusskriterien	12
3.3 Untersuchungsmethoden	12
3.3.2 Oswestry-Disability-Index	12
3.3.4 Posturographie	13
3.4 Interventionen	15
3.4.1 Multimodale Schmerztherapie (MMST)	15
3.4.2 Krankengymnastik	15
3.4.3 Vibrationsplatte Galileo®	17
3.4.4 Posturomed®	18
3.5 Statistik	20
4. Ergebnisse	21
4.1 Studienpopulation	21
4.2 Oswestry-Disability-Index	23
4.3 Posturographie	26
5. Diskussion	29
5.1 Ergebnisdiskussion	29
5.1.1 anthropometrische Daten	29
5.1.2 Oswestry-Disability-Index	29

5.1.3 Posturographie	32
5.2 Methodendiskussion/Limitationen	36
5.2.1 Probandenkollektiv.....	36
5.2.2 Studiendesign	36
5.2.3 Interventionen.....	37
6. Zusammenfassung und Schlussfolgerung	39
7. Literaturverzeichnis.....	41
8. Thesen	48
Tabellenverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis.....	V
Anhang	VI
Selbstständigkeitserklärung	IX
Erklärung über frühere Promotionsversuche.....	X
Danksagung	XI

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	=Abbildung
Abk.	=Abkürzung
ALM	=allgemeines lineares Model
AWMF	=Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften
BMI	=Body Mass Index
d	=Effektstärke (Cohens d)
d.h.	=das heißt
F	=Frequenzparameter
Hz	=Hertz
J	=Jahre
IBS	=Interaktives Balance-System
KG	=konventionelle Krankengymnastik
kg	=Kilogramm
m	=männlich/Meter
M.	=musculus
Mm.	=musculi
mm	=Millimeter
ms	=Millisekunden
MMST	=Multimodale Schmerztherapie
MZP1 und 2	=Messzeitpunkt 1 und 2
n	=Anzahl
NSAR	=nichtsteroidale Antirheumatika
NVL-K	=nationale Versorgungsleitlinie Kreuzschmerzen
ODQ/ODI	=Oswestry-Disability Questionnaire/Index

OPS	= Operationen- und Prozedurenschlüssel
ÖMPSQ	=Örebro Musculoskeletal Pain Screening Questionnaire
Tab.	=Tabelle
TENS	=transkutane elektrische Nervenstimulation
u.a.	=unter anderem
w	=weiblich
Wdh.	=Wiederholungen
z.B.	=zum Beispiel

1. Einleitung

1.1 Sozioökonomische Bedeutung von Rückenschmerzen

Laut dem Gesundheitsreport der Deutschen Angestellten-Krankenkasse (DAK) von 2016 sind für das Jahr 2015 die „Rückenschmerzen“ nach „akuten Infektionen an mehreren oder nicht näher bezeichneten Lokalisationen der oberen Atemwege“ die zweithäufigste Einzeldiagnose mit einem Anteil an den Gesamtarbeitsunfähigkeitstagen in Höhe von 5,6% (Rebscher et al. 2016). Diese Daten gelten für beide Geschlechter. So rangieren die Rückenschmerzen in der geschlechtsspezifischen Betrachtung bei Männern auf dem zweiten (91,3 Arbeitsunfähigkeitstage/100 Versicherte), bei Frauen auf dem dritten Platz (75,2 Arbeitsunfähigkeitstage/100 Versicherte) (Rebscher et al. 2016). Bereits seit Jahren stehen Erkrankungen des Skeletts, der Muskeln und des Bindegewebes, unter deren Subsumtion auch der Rückenschmerz fällt, an der Spitze der Anteile bei ambulanten oder stationären rehabilitativen Leistungen (Dt. Rentenversicherung Bund 2019). Mehr als 50% der degenerativen Erkrankungen des Skeletts sind der Wirbelsäule zuzuordnen (Aumüller und Wurzinger 2010). Bis zu 85% der Bevölkerung gaben im Rahmen einer Studie an, bereits mindestens einmal in ihrem Leben Rückenschmerzen gehabt zu haben (Schmidt et al. 2007). Im Rahmen einer telefonischen Befragung des Robert-Koch-Institutes gab jede vierte Frau (25%) und etwa jeder sechste Mann (16,9 %) an, in den letzten zwölf Monaten unter chronischen Rückenschmerzen (mindestens für drei Monate und fast jeden Tag) gelitten zu haben. Außerdem konnte ein klarer Altersbezug aufgezeigt werden. Während 11% der unter 30-jährigen über chronische Rückenschmerzen klagten, waren es bei den über 65-jährigen 30% (Robert-Koch-Institut (Hrsg.) 2015). Im Jahr 2005 lagen die durch Rückenschmerzen verursachten direkten und indirekten Kosten in Deutschland bei 48,96 Milliarden Euro, was einem Anteil am Bruttoinlandsprodukt von 2,2% entsprach (Wenig et al. 2009). Sozioökonomische Faktoren spielen auch beim Rückenschmerz eine große Rolle. So gaben Personen mit einem niedrigen Sozialstatus, im Vergleich zu solchen mit mittlerem oder hohem Sozialstatus (Bildung/berufliche Stellung/Einkommen), über alle Altersgruppen hinweg häufiger eine Rückenschmerzsymptomatik an (Robert-Koch-Institut (Hrsg.) 2015). Außerdem gaben Patienten/-innen mit Rückenschmerzen, verglichen mit schmerzfreien, häufiger Komorbiditäten, wie vor allem Osteoarthritis, degenerative Gelenkerkrankungen sowie kardiovaskuläre und zerebrovaskuläre Erkrankungen an (Schneider et al. 2007). Eine Meta-Analyse zeigt die hohe Chronifizierungsgefahr und den damit verbundenen Übergang von akuten zu chronischen Schmerzen deutlich auf. So gab ein Drittel der Patienten/-innen mit akuten nicht-spezifischen Rückenschmerzen innerhalb der ersten drei Monate Schmerzfreiheit an, zwei Drittel berichteten jedoch noch ein Jahr nach Schmerzbeginn über Rückenschmerzen (Itz et al. 2013). Als wichtiger Faktor für eine Chronifizierung stellte sich die

Einstellung des Patienten/der Patientin und die positive oder negative Erwartungshaltung hinsichtlich der Schmerzentwicklung dar (Hallegraeff et al. 2012). Weitere Chronifizierungsfaktoren beruflicher, psychosozialer, iatrogener oder allgemeiner Natur sind in Tabelle 1: Chronifizierungsfaktoren nach der (Nationale Versorgungs Leitlinie Nicht-spezifischer Kreuzschmerz 2017) zusammengefasst.

Tabelle 1: Chronifizierungsfaktoren nach der (Nationale Versorgungs Leitlinie Nicht-spezifischer Kreuzschmerz 2017)

→ überwiegend körperliche Schwerarbeit, monotone Körperhaltung, Vibrationsexposition
→ geringe berufliche Qualifikation, soziale Unterstützung
→ geringer Einfluss auf die Arbeitsplatzgestaltung
→ berufliche Unzufriedenheit
→ Verlust des Arbeitsplatzes
→ Kränkungsverhältnisse am Arbeitsplatz (Mobbing)
→ eigene negative Erwartung hinsichtlich Rückkehr an den Arbeitsplatz
→ Angst vor erneuter Schädigung am Arbeitsplatz
→ Depressivität, Distress (negativer Stress)
→ schmerzbezogene Kognitionen: z.B. Katastrophisieren, Hilf-/Hoffnungslosigkeit, Angst-Vermeidungs-Überzeugungen (Fear-Avoidance-Beliefs)
→ passives Schmerzverhalten: z.B. ausgeprägtes Schon-/Vermeidungsverhalten
→ überaktives Schmerzverhalten: z.B. beharrliche Arbeitsamkeit (Task Persistence), suppressives Schmerzverhalten
→ schmerzbezogene Kognition: Gedankenunterdrückung (Thought Suppression)
→ Neigung zur Somatisierung
→ mangelhafte Respektierung der multikausalen Genese
→ Überbewertung somatischer/radiologischer Befunde bei nicht-spezifischen Schmerzen
→ Lange, schwer begründbare Krankschreibung
→ Förderung passiver Therapiekonzepte
→ übertriebener Einsatz diagnostischer Maßnahmen
→ Rauchen
→ Übergewicht
→ Alkohol
→ geringe körperliche Kondition

1.2 Definition und Einteilung von Rückenschmerzen

Rückenschmerzen können anatomisch nach dem Ort ihres Auftretens unterschieden werden. Dabei wird nach zervicalen, thorakalen und lumbalen Schmerzen differenziert. In zwei Dritteln der Fälle beziehen sich die Schmerzen dabei auf die lumbale Region. Diese Rückenschmerzen werden auch als Kreuzschmerzen oder im angelsächsischen Sprachraum low-back-pain bezeichnet (Banzer 2005). Diese sind laut Nationaler Versorgungsleitlinie Kreuzschmerz (NVL-K) definiert als „Schmerzen unterhalb des Rippenbogens und oberhalb der Gesäßfalten, mit oder ohne Ausstrahlung.“ (Nationale Versorgungs Leitlinie Nicht-spezifischer Kreuzschmerz 2017). Eine Klassifikation ist nach Ursache, Dauer sowie Schweregrad möglich. Es können unspezifische von spezifischen Ursachen unterschieden werden. Zu den spezifischen Ursachen zählen beispielsweise Frakturen, Infektionen, Neuropathien/Radikulopathien, Tumoren oder eine axiale Spondyloarthritis. Nach der Dauer lassen sich die chronischen von akuten und subakuten oder rezidivierenden Schmerzen abgrenzen. Von chronischen Schmerzen spricht man dabei, wenn die Symptome für mindestens 12 Wochen Bestand haben (Nationale Versorgungs Leitlinie Nicht-spezifischer Kreuzschmerz 2017). Nach von Korff et al. lassen sich bei chronischen Schmerzen anhand von Ausmaß der Schmerzintensität und der schmerzbedingten Alltagsbeeinträchtigung fünf Schweregrade einteilen (siehe Tabelle 2) (Korff et al. 1992).

Tabelle 2: Graduierung chronischer Schmerzen nach Korff et al.

Grad 0	Keine Schmerzen in den vergangenen 6 Monaten
Grad I	Schmerzen mit geringer schmerzbedingter Beeinträchtigung und niedriger Intensität.
Grad II	Schmerzen mit geringer schmerzbedingter Beeinträchtigung und hoher Intensität.
Grad III	Hohe schmerzbedingte Beeinträchtigung, mäßig limitierend.
Grad IV	Hohe schmerzbedingte Beeinträchtigung, stark limitierend.

1.3 Diagnostik bei Rückenschmerzen

Grundsätze der initialen Diagnostik bei Rückenschmerzen liegen in der Erkennung von Notfällen, potentiell gefährlichen Verläufen und schwerwiegenden spezifischen Pathologien. Der Ausschluss dieser kann oft schon mit einer gezielten Anamnese und klinischen Untersuchung auch ohne aufwändige bildgebende Verfahren erfolgen. Somit kann eine iatrogene Fixierung mit Förderung der Chronifizierung vermieden werden (Gilbert et al. 2004; Chou et al. 2009). Es konnte beispielsweise gezeigt werden, dass Patienten/-innen, die nach einer Beratung und Versorgung mit Schmerzmitteln zusätzlich ein Röntgen der Lendenwirbelsäule erhielten, deutlich zufriedener mit der Behandlung waren, als die Vergleichsgruppe ohne Röntgenuntersuchung. Allerdings stellte sich die Röntgen-

Gruppe im folgenden Jahr auch häufiger ärztlich vor (Kendrick et al. 2001). Das Chronifizierungsrisiko sollte von Beginn der Behandlung mit dem Patienten/der Patientin besprochen und entsprechende Risikofaktoren (siehe Tabelle 1) berücksichtigt werden. Ein gutes ambulantes Mittel zum Screening solcher Risikofaktoren stellt beispielsweise der Örebro Musculoskeletal Pain Screening Questionnaire (ÖMPSQ) in seiner deutschen Form dar (Schmidt et al. 2016). Im Stadium eines chronischen nicht spezifischen Kreuzschmerzes fehlt eine ausreichende Evidenz zur Durchführung einer routinemäßigen Magnetresonanztomographie (Chou et al. 2011). Es konnte gezeigt werden, dass auf der einen Seite bei schmerzfreien Patienten/-innen teils erhebliche Bandscheiben- und Wirbelkörperschädigungen vorliegen, während auf der anderen bei solchen mit starken Schmerzen die Bildbefunde diese nicht ausreichend erklären konnten. Es zeigt sich somit eine gute Sensitivität bei eher mäßiger bis schlechter Spezifität im Rahmen der Fragestellung bei chronischen Rückenschmerzen (Boden et al. 1990). Vor allem bei unveränderter Beschwerdesymptomatik wird daher von Verlaufsbildgebungen abgeraten (Nationale Versorgungs Leitlinie Nicht-spezifischer Kreuzschmerz 2017).

1.4 Therapie von Rückenschmerzen

Als grundsätzlich gilt für die Therapie nichtspezifischer Rückenschmerzen laut NVL-K die körperliche Aktivierung des Patienten/der Patientin vor allem bezogen auf das Beibehalten der Aktivitäten des täglichen Lebens. Unterstützt wird dies durch eine leitliniengerechte medikamentöse und nichtmedikamentöse Therapie und die Vermittlung von Kompetenzen hinsichtlich gesundheitsbewusstem Verhalten sowie dem biopsychosozialen Krankheitsmodell. Frühzeitig sollte, vor allem bei Chronifizierungsgefahr oder bereits stattgehabter Chronifizierung, mit der Einbeziehung multimodaler Behandlungskonzepte begonnen werden (Nationale Versorgungs Leitlinie Nicht-spezifischer Kreuzschmerz 2017). Diese sollten eine neue, unvoreingenommene, detaillierte Anamnese und klinische Untersuchung, aus verschiedenen Blickwinkeln als Ausgangspunkt haben. Neben dem somatisch-strukturellem und funktionellem zählen darunter eben auch der psychologische, psychotherapeutische und soziale Aspekt (Casser et al. 2013). Allein durch ein interdisziplinäres multimodales Assessment scheinen sich die Langzeitergebnisse bei Patienten/-innen mit chronischen Rückenschmerzen verbessern zu können (Rothman et al. 2013). Eine multimodale Schmerztherapie kann hierbei unter den zwei DRG's „Multimodale Schmerztherapie (OPS 8-918)“ sowie „Multimodal-nichtoperative Komplexbehandlung des Bewegungssystems (OPS 8-977)“ abgebildet werden.

Wichtige Voraussetzungen und Prädiktoren für das Gelingen einer multimodalen Schmerztherapie (MMST) sind der Ausschluss spezifischer Ursachen der Schmerzen, ein gutes Sprachverständnis, die

Motivation zur Verhaltensänderung sowie Therapie und das Verständnis der Krankheit als multifaktorielles Geschehen. Als negativ prädiktiv zu bewerten ist beispielsweise ein gleichzeitig laufendes Rentenbegehren oder Schmerzen, welche seit mehr als drei Jahren bestehen (Pfungsten et al. 1997; Mesrian et al. 2005).

Die nichtmedikamentösen aktivierungsbegleitenden Therapieansätze enthalten eine Reihe von Möglichkeiten. Die NVL-K empfiehlt so beispielsweise explizit die Bewegungstherapie, das Funktionstraining und eine Verhaltenstherapie. Ergotherapie, Rückenschule und Massagetherapie erhalten, unter andere Aufgrund ihres passiven Charakters, keine klare Empfehlung, sondern gelten als ergänzende Maßnahmen. Dies gilt insbesondere für das Erkennen von Chronifizierungsgefährdungen und der Schaffung eines gesundheitsbewussten Verhaltens, Arbeitens und Umfeldes mit Wiedererlangung der Arbeitsfähigkeit oder Vermeidung eines Rezidivs. Ablehnend stehen die Autoren der Leitlinie vielen, hauptsächlich passiven, Therapien gegenüber, die sich zu konventionellem oder abwartenden Verhalten nicht signifikant abheben konnten. Diese stehen mit ihrer Passivität dem primären Therapieziel einer Aktivierung entgegen. Darunter zählen beispielsweise die transkutane elektrische Nervenstimulation (TENS), therapeutischer Ultraschall und die Magnetfeldtherapie. Als medikamentös unterstützend werden nichtsteroidale Antirheumatika (NSAR) in der niedrigsten wirksamen Dosierung so kurzzeitig wie möglich mit prophylaktischer Protonenpumpenhemmer-Therapie empfohlen. Gegebenenfalls ergänzend ist eine Therapie mit Opioid-Analgetika möglich, welche jedoch regelmäßig (alle 4-12 Wochen) auf ihren Effekt und die Notwendigkeit reevaluiert werden sollte. Parenterale Medikamentengaben zum Beispiel intravenöse oder subkutane/wirbelsäulennahe Injektionen sollen nicht durchgeführt werden (Nationale Versorgungs Leitlinie Nicht-spezifischer Kreuzschmerz 2017). Dies steht teilweise im Gegensatz zur Therapie spezifischer Rückenschmerzen, wo abhängig vom jeweiligen Krankheitsbild unter anderem auch passivere Therapiemethoden und lokale Anästhetika-Applikationen indiziert sein können (S2k Leitlinie Spezifischer Kreuzschmerz 2018).

1.5 Tiefenstabilisationssystem und posturale Kontrolle

Der Mensch muss aufgrund seines bipedalen Standes und Ganges einen hohen Körperschwerpunkt auf einer kleinen Unterstützungsfläche ausbalancieren. Die Schwierigkeit dieser Aufgabe wird insbesondere ersichtlich, wenn man sich vor Augen hält, dass Kinder bis zum 7. Lebensjahr brauchen, um sich der posturalen Kontrolle von Erwachsenen anzunähern (Riach und Hayes 1987). Wesentlich für die muskuläre Stabilisierung der Lendenwirbelsäule und auch für die posturale Kontrolle ist das sogenannte Tiefenstabilisationssystem, bestehend aus den tiefen Musculi (Mm.) multifidi (medialer

Trakt der autochtonen Rückenmuskulatur), dem Musculus (M.) transversus abdominis sowie Zwerchfell und Beckenboden (Hodges und Moseley 2003). Die lumbalen Mm. multifidi haben für die dynamische Kontrolle der einzelnen Wirbelsegmente eine herausragende Bedeutung (Wilke et al. 1995). Aufgrund ihres Ursprungs an der Fascia thoracolumbalis üben die tiefen Bauchmuskeln, vor allem der M. transversus abdominis, über den Zug an selbiger und damit einer Kokontraktion mit den lumbalen Mm. multifidi einen stabilisierenden Effekt auf die Wirbelsäule aus (Tesh et al. 1987; Cresswell und Thorstensson 1994; Cresswell et al. 1994). Die neuromuskuläre Ansteuerbarkeit und Funktion des M. transversus abdominis und der tiefen Mm. multifidi zeigen sich bei Rückenschmerz (Hodges und Richardson 1996; Hides et al. 2008) und lumbaler Instabilität (Sihvonen und Partanen 1990; Lindgren et al. 1993) gestört. Verschiedene, auf das Tiefenstabilisationssystem und damit einem Effektor der posturale Kontrolle ausgerichtete Trainingsprogramme zeigen gute Therapieergebnisse bei chronischem Rückenschmerz (Smith et al. 2011; França et al. 2012). Dies trifft insbesondere auf in lumbaler Instabilität begründeten Rückenschmerz zu (Javadian et al. 2012). Das posturale System kennt einen Feedback- und Feedforward- Mechanismus. Der Feedback-Mechanismus beruht auf einer Reaktion auf den unerwarteten Verlust des Gleichgewichts mit dem Ziel dieses schnellstmöglich wiederherzustellen. Beim Feedforward, einem antizipativen Mechanismus, wird die Reaktion des posturalen Systems auf die erwartete Störung eingestellt. Es werden somit Anpassungen der möglichen Störung vorweggenommen. Eine definitive Einteilung aller Bewegungsformen in die eine oder andere Kategorie ist jedoch nicht immer möglich, da unter anderem auch Mischformen bestehen. Afferenzen werden aus dem visuellen, vestibulären und somatosensorischen System erhalten (Taube 2012). Dabei liegen die Defizite von Rückenschmerzpatienten verglichen mit den Werten gesunder Individuen vor allem im vestibulären System (Lauenroth et al. 2019). Die Effektorareale der posturalen Regulation sind das Rückenmark, subkortikale Regionen wie das Cerebellum, die Basalganglien und der Hirnstamm sowie der cerebrale Motorkortex (Taube et al. 2008a). Die einfachste Verschaltung erfolgt im Sinne eines monosynaptischen Reflexes über die Ia-Afferenzen der Muskelspindeln zum Rückenmark, wo eine Verschaltung auf das α -Motorneuron des homonymen Muskels mit Reflexantwort nach 40-50 ms erfolgt (Gollhofer und Rapp 1993). Supraspinale Regionen können dabei über eine präsynaptische Hemmung (Katz et al. 1988) eingreifen, um in postural anspruchsvollen Situationen das α -Motorneuron für eigene Erregungszuströme bereit zu halten (Llewellyn et al. 1990; Taube et al. 2008b). Die Reaktion erfolgt hier über transkortikale Reflexe mit einer Latenz von ca. 85-100 ms (Taube et al. 2006). Experimentell konnte die Änderung der Feedforward-Aktivierung der Rumpfmuskulatur auf einen akuten Schmerzreiz, vermittelt durch eine muskuläre Injektion von hypertoner Kochsalzlösung, auf Höhe des vierten Lendenwirbelkörpers nachgewiesen werden. Dabei konnte lediglich für den M. transversus abdominis eine signifikante schmerzbedingte Reduktion in der

Aktivierung und elektromyografischen Amplitude gemessen werden. Die weiteren Rumpfmuskeln wiesen in Zusammenschau der Ergebnisse variabelere Reaktionen auf (Hodges et al. 2003). Es lässt sich somit eine recht spezifische schmerzbedingte Beeinträchtigung dieses Effektors der posturalen Kontrolle und somit der Stabilisierung der Lendenwirbelsäule vermuten. Tsao und Hodges konnten an Patienten mit chronischem Rückenschmerz zeigen, dass ein isoliertes sensomotorisches Training, das in seiner elektromyographischen Aktivität verminderten M. transversus abdominis, eine direkte Verbesserungen in der Feedforward Aktivierung dieses Muskels auch in untrainierten komplexeren Situationen herbeiführen kann. Sie vermuteten, dass eine frühere Feedforward Aktivierung des M. transversus abdominis als Änderung in der Vorbereitungsweise des zentralen Nervensystems auf Körperhaltung und Bewegung zu verstehen sein kann (Tsao und Hodges 2007). Insgesamt wurde für Patienten/-innen mit chronischem Rückenschmerz im Vergleich zu gesunden Individuen aufgezeigt, dass sie über eine verringerte posturale Kontrolle verfügen. Dies gilt insbesondere für anspruchsvollere Balancetests (Tsigkanos et al. 2016; da Silva et al. 2018). Es wird davon ausgegangen, dass somit eher kritische Gelenkpositionen eingenommen werden, welche in der Folge Verletzungen auslösen könnten (Taube 2012). Es lässt sich somit auf die schmerzbedingte Reduktion der Muskelfunktionalität insbesondere des M. transversus abdominis schließen. Diese schmerzbedingte Einschränkung der Muskelfunktionalität und somit auch des Alltags von Rückenschmerzpatienten/-innen lässt sich über den Oswestry Disability Index (ODI) quantifizieren (Mannion et al. 2006). Schlussendlich wurde daraus gefolgert, dass sensomotorische Trainingsmethoden mit dem Ziel der Verbesserung der posturalen Kontrolle Teil rehabilitativer Programme bei chronischem Rückenschmerz sein sollten (da Silva et al. 2018).

1.6 Sensomotorisches Training

Der Begriff eines sensomotorischen Trainings ist sehr weit gefasst und kann in einem sehr breiten Feld im Bereich einer Interaktion von afferenten und efferenten Signalen liegen (Taube 2012). Je nach Autor lässt sich ein Training, welches eine Verbesserung der posturalen Kontrolle zum Ziel hat, synonym als „Gleichgewichtstraining“ („balance training“) (Bernier und Perrin 1998; Taube et al. 2008a), „sensomotorisches Training“ („sensorimotor training“) (Banaschewski et al. 2001; Gruber und Gollhofer 2004), „neuromuskuläres Training“ („neuromuscular training“) (Paterno et al. 2004) oder auch „propriozeptives Training“ („proprioceptive training“) (Chong et al. 2001) beschreiben. Ziel dieser Trainingsmethoden ist insbesondere die Verbesserung der posturalen Stabilisierung und Funktion der tiefen sowie eine Steigerung der intermuskulären Koordination mit den oberflächlichen Muskeln (Otte und Rašev 2010). Sensomotorische Trainingsmethoden zeigten sich insbesondere auch als geeignet,

um auch bei älteren Menschen Verbesserungen im posturalen System zu bewirken (Granacher et al. 2006). Bereits ein vierwöchiges Training kann laut Taube et al. eine Erhöhung des Beitrags subkortikaler Zentren zur posturalen Kontrolle bewirken (Taube et al. 2008a). Bei Menschen mit chronischen nicht spezifischen Rückenschmerzen konnte eine Beeinträchtigung der reflektorischen Aktivierung auch nicht schmerzassoziierter Bereiche anhand des M. gluteus medius gezeigt werden (Nötzel et al. 2011). Im Rahmen eines dreidimensionalen, reflektorischen Trainings konnten Müller et al. bei Patienten/-innen mit unspezifischem Rückenschmerz elektromyographisch und posturographisch nachweisen, dass es zu einer signifikanten Verbesserung der intermuskulären Koordination der Rumpfmuskulatur und posturalen Stabilität im Vergleich zu der passiven Vergleichsgruppe kam. In der Folge konnte auch eine signifikante Reduktion der Rückenschmerzen beobachtet werden. Diese positiven Ergebnisse waren jedoch nach einem Jahr ohne Training nicht mehr nachweisbar. Die Posturographie erfasst objektiv mittels Dehnungsmessstreifen auf zwei Kraftmessplattformen (jeweils mit einer Vor- und Rückfußplatte) eine Vielzahl von Parametern als Ausdruck der Körperschwankung und ordnet diese den einzelnen posturalen Subsystemen zu (Müller et al. 2001). Sie stellt daher auch wegen ihrer einfachen Anwendbarkeit und der Fähigkeit der Identifikation von sensomotorischen Trainingseffekten im Bereich des posturalen Systems ein ideales und objektives Messinstrument dar (Schwesig et al. 2014). Dies gilt insbesondere auch für die Anwendung bei Rückenschmerzpatienten/-innen (Lauenroth et al. 2019). Als sensomotorische Trainingsmethoden kommen eine Vielzahl von Möglichkeiten in Betracht. So unter anderem stabilisierende und koordinative Übungen im Rahmen der sensomotorischen Krankengymnastik. Diese werden, begleitet durch einen Therapeuten, meist am Boden und ggf. unter Einbeziehung von Hilfsmitteln (u.a. Wackelbrett, Pezziball, Matte, Theraband) mit koordinativen Reizen sowie über eine Haltungskontrolle durchgeführt. Weitere Therapieinstrumente, die im Rahmen dieser Arbeit betrachtet werden, sind das Posturomed® und der Galileo®.

1.6.1 Posturomed®

Ziel eines Trainings mit dem Posturomed® ist es während der Übungen die frei schwingende Fläche möglichst ruhig zu halten und so wenige Ausgleichsbewegungen wie möglich zu unternehmen (Müller O. et al. 2004; Otte C. 2014). Das physikalische Wirkungsprinzip besteht darin, dass sich das neuromuskuläre System in der Folge den entstehenden Schwingfrequenzen anpassen d.h. die eigenen Bewegungsimpulse abfangen muss (Feedforward-Mechanismus). Ziel ist die Leistungserhöhung des posturalen Systems und infolgedessen eine verbesserte Haltungs- und Gleichgewichtsregulation (Otte C. 2014). Diese erwartete Leistungsverbesserung des posturalen Systems konnte durch Boer et al. nachgewiesen werden (Boer et al. 2010). Es konnten im Übungsverlauf abfallende elektromyographische Messwerte in der Beinmuskulatur nach Erreichen eines stabilen Standes

gemessen werden. Dies deutet darauf hin, dass in diesem Zustand nur noch eine geringe sensomotorische Korrektur notwendig und der Trainingseffekt damit geringer ausgeprägt ist (Dohm-Acker et al. 2008). Wilke et al. konnten allerdings bei Zusatzaufgaben eine signifikant erhöhte Muskelaktivität nachweisen (Wilke und Froböse 2003). Dies lässt vermuten, dass im Rahmen der Übungen auf dem Posturomed® das Erreichen eines stabilen Standes und anschließendes zügiges Fortfahren mit der nächsten Aufgabe oder auch ablenkende Zusatzaufgaben (wie das Werfen und Fangen eines Balles) die sensomotorischen Anforderungen und damit Trainingseffekte steigern (Dohm-Acker et al. 2008).

1.6.2 Galileo®

Während des Trainings mit dem Galileo® erfolgen die Muskelkontraktionen ab einer Frequenz von 10 Hertz (Hz) reflexgesteuert über den Dehnreflex der Muskelspindeln und deren Ia-Afferenzen. Es kommt somit zu reflektorischen Kontraktionen, um die Haltung zu stabilisieren. Für die Wahrnehmung und Verarbeitung niederfrequenter Vibrationen sind die Meissner-Körperchen, für hochfrequente Vibrationen die Vater-Pacini-Körperchen verantwortlich. Gleichsam haben Vibrationsreize auch inhibitorische Auswirkungen auf das neuromuskuläre System (Bongiovanni et al. 1990). Gesteuert wird das Vibrationstraining über die Parameter Frequenz (5-30 Hz) und Amplitude (+/-4,5 mm). Rittweger et al. konnten positive Effekte infolge eines Vibrationstrainings für Rückenschmerzpatienten hinsichtlich Schmerzempfinden und schmerzbedingter Behinderung ermittelten (Rittweger et al. 2002). Eine signifikante Verbesserung der propriozeptiven Eigenschaften in der Lumbalregion (Fontana et al. 2005) sowie eine Verringerung der Schmerzintensität und Erhöhung der posturalen Stabilität bei Patienten/-innen mit chronischen Rückenschmerzen (del Pozo-Cruz et al. 2011; Yang und Seo 2015; Chow et al. 2018) konnte ebenfalls nachgewiesen werden. Der gute Trainingseffekt bei geringem Zeitaufwand sowie der geringere Grad an initialer Anforderung an das posturale System im Vergleich zu anderen sensomotorischen Trainingsformen stellen die Vorteile einer Vibrationstherapie dar (Marín und Rhea 2010).

2. Zielstellung

Ziel dieser Arbeit ist es, die Effekte eines sensomotorischen Trainings im Rahmen einer stationären multimodalen Schmerztherapie bei Patienten/-innen mit chronischen Rückenschmerzen durch ein Training auf dem Galileo® oder dem Posturomed® mit der sensomotorischen physiotherapeutischen Krankengymnastik zu vergleichen. Dies soll dazu dienen, weitere Therapieformen im Rahmen der MMST zu evaluieren und gegebenenfalls zu etablieren. Verglichen wurden drei Gruppen von Patienten/-innen mit chronischen Rückenschmerzen (je n=25) prä- und postinterventionell hinsichtlich der schmerzbedingten Beeinträchtigung des täglichen Lebens anhand des Oswestry-Disability-Index und der posturalen Kontrolle, dargestellt mittels der Posturographie.

Hypothesen:

H1: Das Training auf der Vibrationsplattform Galileo® ist der sensomotorischen Physiotherapie hinsichtlich der genannten Parameter überlegen.

H2: Das Training auf dem Posturomed® ist der sensomotorischen Physiotherapie hinsichtlich der genannten Parameter überlegen.

H3: Das Posturomed® und der Galileo® unterscheiden sich in ihren jeweiligen Effekten signifikant.

3. Methoden und Material

3.1 Design/Studienablauf

Es handelt sich bei der durchgeführten Studie um eine prospektive, randomisierte, konfirmatorische Interventionsstudie.

Die in die Studie eingeschlossenen Probanden/-innen (n=75) wurden randomisiert einer der drei Trainingsgruppen zugeteilt und zu den Messzeitpunkt (MZP) 1 präinterventionell und 2 postinterventionell mittels Oswestry-Fragebogen und Posturographie untersucht. Während des zweiwöchigen Aufenthaltes zur MMST wurden die Probanden/-innen mit sechs Einheiten eines sensomotorischen krankengymnastischen Trainings oder sechs Einheiten eines sensomotorischen Trainings auf dem Galileo® oder Posturomed® beübt. Anschließend erfolgte die Datenanalyse mit dem Statistikprogramm SPSS 22.0 für Windows (SPSS, Chicago, IL, USA) (siehe Abbildung 1).

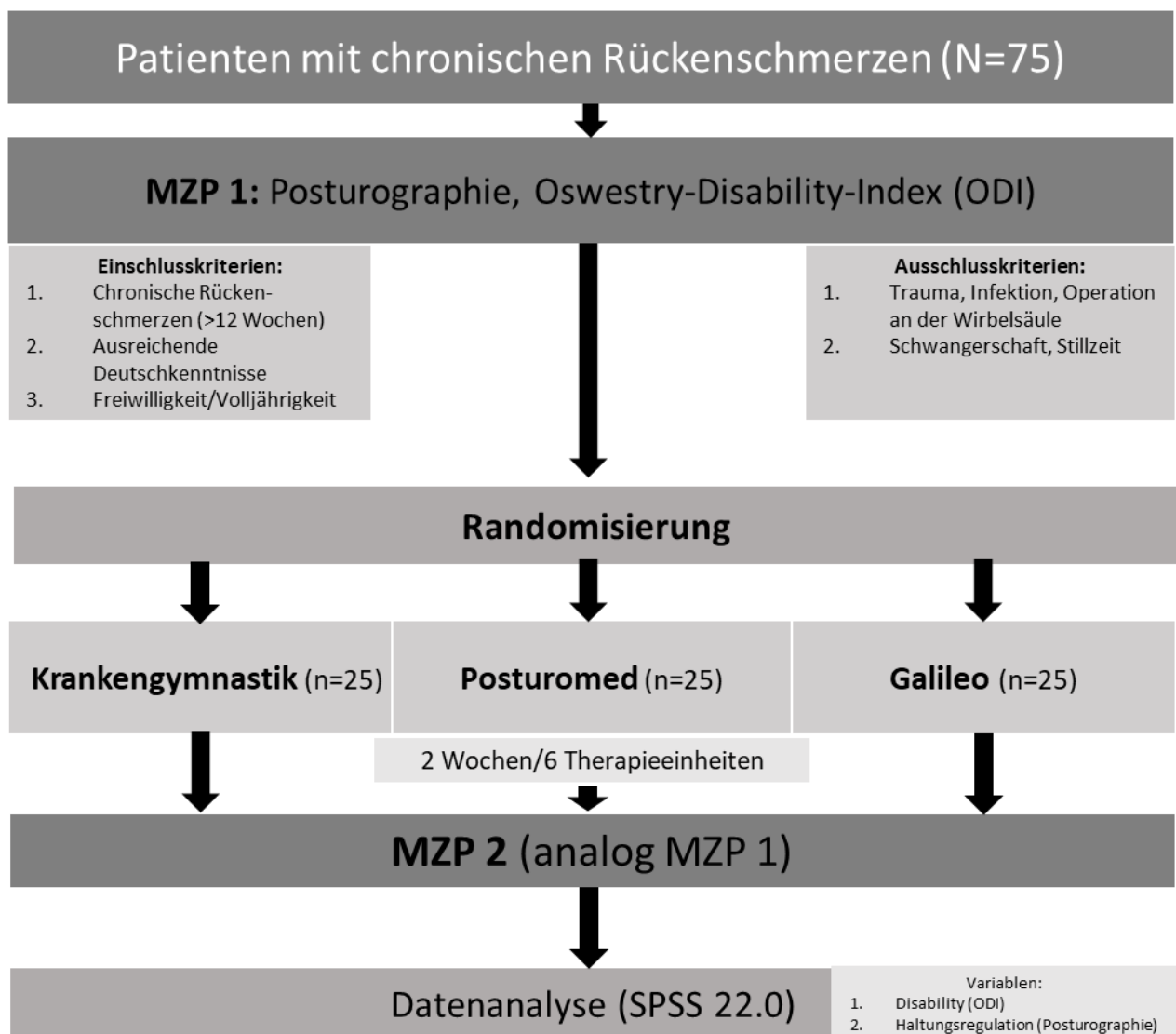


Abbildung 1: Studienablauf (Flow-Chart)

3.2 Stichprobe

3.2.1 Probandenrekrutierung

Die Probanden/-innen (n=75) wurden vom 14.07.2015-23.01.2017 aus dem Patientenkollektiv der konservativen orthopädischen Station 2 des Universitätsklinikums Halle (Saale) rekrutiert, welche sich zur 14-tägigen MMST (OPS 8-918) oder multimodal-nichtoperativen Komplexbehandlung des Bewegungssystems (OPS 8-977) vorstellten. Alle Probanden/-innen wiesen ein chronisches Rückenschmerzsyndrom auf. Für die Studie geeignete Probanden/-innen wurden umfassend aufgeklärt und nach ihrer Zustimmung in die Studie eingeschlossen. Anschließend wurden die Probanden/-innen randomisiert den einzelnen Trainingsgruppen (je n=25) zugewiesen.

3.2.2 Einschlusskriterien

- Alter > 18 Jahre
- chronischer Rückenschmerz > 12 Wochen bei degenerativer Wirbelsäulenerkrankung oder nicht-spezifischer Ursache
- ausreichende Deutschkenntnisse
- schriftliche Einwilligung

3.2.3 Ausschlusskriterien

- Trauma, Infektion, Tumor, Operation an der Wirbelsäule
- Schwangerschaft, Stillzeit

3.3 Untersuchungsmethoden

3.3.2 Oswestry-Disability-Index

Den Probanden/-innen wurde jeweils zu den MZP 1 und 2 der Oswestry-Disability Questionnaire/Index (ODQ/ODI) zur aktuellen Schmerzsituation ausgehändigt (siehe Anhang 1). Die Probanden/-innen wurden instruiert zu jeder Frage nur die jeweils am besten auf die aktuelle Situation passende Beschreibung als Antwort auszuwählen und nach Möglichkeit jede Frage zu beantworten. Sie erhielten anschließend die Zeit zur selbstständigen Beantwortung der zehn Fragen mit je sechs Antwortmöglichkeiten. Dabei gab es keine Vorgaben über den zeitlichen Rahmen der Beantwortung zu den jeweiligen Messzeitpunkten.

Der ODI stellt, auch in der deutschen Übersetzung von 2006, ein etabliertes Instrument dar, um den Schmerz- und Funktionsstatus von Patienten mit chronischen Rückenschmerzen zu erfassen (Mannion et al. 2006; Gaul et al. 2008). Im Rahmen des ODI werden die schmerzbedingten Einschränkungen der

Probanden/-innen bei verschiedenen Alltagsaktivitäten wie zum Beispiel der Körperpflege, dem Sitzen, Schlafen oder Reisen erfragt. Der Einschränkungsgangrad des Probanden/der Probandin kann im Anschluss mittels folgender Formel in Prozent dargestellt werden:

$$\text{Einschränkungsgrad in Prozent} = \frac{\text{Gesamtpunktzahl}}{50} \times 100$$

Leichte Einschränkungen hat ein Proband/eine Probandin bei einem Einschränkungsgangrad von 0-20%, mäßige von 21-40%, schwere von 41-60%, invalidisierende von 61-80% und solche, die eine Bettlägerigkeit darstellen von 81-100%.

3.3.4 Posturographie

Die Posturographie ist ein etabliertes Verfahren zur Identifikation von Trainingseffekten im Bereich der Gleichgewichtsregulation im Rahmen von verschiedenen Settings, so auch z.B. der Rehabilitation (Schwesig et al. 2014). Zur Messung der posturalen Stabilität wurde das Interaktive Balance-System (IBS) (Fa. Neurodata) mit der dazugehörigen Software Tetrax genutzt. Dieses erfasst differenziert auf zwei Kraftmessplattformen (jeweils mit einer Vor- und Rückfußplatte) im nach anterior offenem Winkel von 30°, vertikale Kräfte im Vorfuß- und Rückfußbereich mittels Dehnungsmessstreifen (Schwesig et al. 2006a; Schwesig et al. 2009). Die Probanden/-innen absolvierten diese Untersuchung barfuß in einem Untersuchungsraum der experimentellen Orthopädie des Universitätsklinikums Halle unter Aufsicht und auf Anweisungen eines geübten Untersuchers. Die Probanden/-innen sollten während der gesamten Untersuchungsdauer ruhig und locker stehen. Es wurden acht standardisierte Testpositionen für jeweils 30 Sekunden eingenommen, die die Afferenzen des posturalen Systems reduzieren beziehungsweise reizen (siehe Tabelle 3) (Schwesig et al. 2006a; Schwesig et al. 2009). Als Reizantwort wird über unterschiedliche Parameter (siehe Tabelle 4) die Körperschwankung durch die Kraftmessplattformen ermittelt. Über den Stabilitätsindikator (ST) wird der Zustand der posturalen Stabilität angegeben. Die Berechnung erfolgt anhand zweier unmittelbar benachbarter Druckschwankungssignale. Somit stellt sich die Instabilität eines Probanden/ einer Probandin als umso größer dar, je größer der ST ist. Der Gewichtsverteilungsindex (WDI) zeigt, bezogen auf eine Konstante von 25% des Gesamtgewichts pro Platte, die Standardabweichung der Gewichtsverteilungsscores an. Mit der Synchronisation (Synch.) kann eine Aussage über die Schwingungsmuster der einzelnen Platten zueinander getroffen werden. Bei der Vorfuß-Rückfuß-Ratio (Heel) wird die prozentuale Lastverteilung unter Angabe der Fersenbelastung aufgezeigt, während die Seitigkeit (left) die prozentuale Lastverteilung der linken Seite darstellt. Die einzelnen Frequenzparameter F1-F8 (siehe Tabelle 4) lassen sich den posturalen Subsystemen zuordnen. Durch das Programm Tetrax wird mittels der Fast-Fourier-Transformation das Frequenzspektrum berechnet. Es lassen sich daraus acht Frequenzparameter (F1-F8) erstellen, die zu vier Frequenzbereichen subsumiert werden können. Das

eingeleitete Rohsignal ist als die Kraftwirkung an den vier Messpunkten in Abhängigkeit von der Zeit zu verstehen, während im Frequenzspektrum die Intensität der Kraftwirkung in Abhängigkeit von der Frequenz dargestellt wird (Schwesig et al. 2006a; Schwesig et al. 2009). Rückenschmerzpatienten/-innen fallen gegenüber einer Normalpopulation insbesondere mit höheren Werten im Stabilitätsindikator (ST), also einer größeren Instabilität und einem, im Vergleich insuffizienten peripher vestibulären System (F2-F4) auf (Lauenroth et al. 2019).

Table 3: Übungsablauf der Posturographie auf IBS (Schwesig et al. 2009)

Abk.	Position
1. NO	Augen offen, Kopf gerade.
2. NC	Augen geschlossen, Kopf gerade.
3. PO	Augen offen, Kopf gerade, auf Schaumstoffpolster stehend.
4. PC	Augen geschlossen, Kopf gerade, auf Schaumstoffpolster stehend.
5. HR	Augen geschlossen, Kopf 45° nach rechts rotiert.
6. HL	Augen geschlossen, Kopf 45° nach links rotiert.
7. HB	Augen geschlossen, Reklination des Kopfes.
8. HF	Augen geschlossen, Anteversion des Kopfes.

Table 4: Parameter des IBS nach Schwesig et al. 2006a, Schwesig et al. 2009

Parameter	Ausgabewert	Interpretationsbereich
Frequenzparameter (F):	F1 (0,03–0,1 Hz)	Visuelles System.
	F2-4 (0,1–0,5 Hz)	Peripher-vestibuläres System.
	F5-6 (0,5–1,0 Hz)	Somatosensorisches System.
	F7-8 (>1,0 Hz)	Zentrales, cerebelläres System.
Motorische Parameter:	Stabilitätsindikator (ST)	Zustand der posturalen Stabilität.
	Gewichtsverteilungsindex (WDI)	Standartabweichung der Gewichtsverteilungsscores der Platten.
	Synchronisation (Synch.)	Aussage der Schwingungsmuster der Platten zueinander (Kompensation/Koaktivität).
	Vor-/Rückfußratio (Heel)	Prozentuale Lastverteilung unter Angabe der Fersenbelastung.
	Seitigkeit (left)	Prozentuale Lastverteilung unter Angabe linksseitiger Belastung.

3.4 Interventionen

3.4.1 Multimodale Schmerztherapie (MMST)

Die MMST wird laut NVL-K definiert als „die gleichzeitige, inhaltlich, zeitlich und in der Vorgehensweise aufeinander abgestimmte umfassende Behandlung von Patienten/-innen mit chronifizierten Schmerzsyndromen, in die verschiedene somatische, körperlich und psychologisch übende sowie psychotherapeutische Verfahren nach vorgegebenem Behandlungsplan eingebunden sind.“ (Nationale Versorgungs Leitlinie Nicht-spezifischer Kreuzschmerz 2017). Gemeinsam mit dem Patienten/der Patientin werden individuelle Therapieziele festgelegt. Primär sollen dabei aktiv übende Verfahren und nur bei besonderer Indikation passive Maßnahmen eingesetzt werden. Als Therapieziel ist das Wiedererreichen der objektiven und subjektiven Funktionsfähigkeit („functional restoration“) formuliert (Nationale Versorgungs Leitlinie Nicht-spezifischer Kreuzschmerz 2017).

Die Besonderheit der MMST liegt in der regelmäßigen Evaluierung der Therapiefortschritte und gegebenenfalls individuellen Therapieanpassung durch die Therapeutinnen, im Rahmen der täglichen Visite (Nationale Versorgungs Leitlinie Nicht-spezifischer Kreuzschmerz 2017). Die Überlegenheit einer MMST im Vergleich zu anderen herkömmlichen Therapiekonzepten konnte im Rahmen verschiedener Studien dargelegt (van Middelkoop et al. 2011; Waterschoot et al. 2014) und auch in einer Übersichtsarbeit nachgewiesen werden (Kemper et al. 2014).

Die Therapieinhalte im Rahmen des stationären Aufenthaltes sind orientierend:

1. Befundorientierte interventionelle Schmerztherapie.
2. Manuelle Medizin und Krankengymnastik auf neurophysiologischer Basis.
3. Sensomotorisches Training.
4. Medizinische Trainingstherapie.
5. Psychoedukative Inhalte (Schmerzvortrag/Rückenschulvortrag).
6. Entspannungsverfahren.
7. Ggf. psychologische Inhalte.

Die Therapie erfolgt durch ein konstantes interdisziplinäres Team aus Ärzten/-innen, Psycho-, Physio- und Ergotherapeuten/-innen sowie Pflegekräften in Gruppen sowie Einzeltherapiesitzungen. In Abhängigkeit von der individuellen Befundkonstellation wurde im Rahmen der DRG's „Multimodale Schmerztherapie (OPS 8-918)“ oder „Multimodal-nichtoperative Komplexbehandlung des Bewegungssystems (OPS 8-977)“ behandelt.

3.4.2 Krankengymnastik

Im Rahmen der konventionellen Krankengymnastik (KG) wurden während des Aufenthaltes der Probanden/-innen der KG-Gruppe (n=25) insgesamt sechs Trainingseinheiten unter

physiotherapeutischer Anleitung durch je eine von zwei beteiligten erfahrenen Physiotherapeutinnen durchgeführt. Die Gesamttrainingszeit pro Einheit betrug 15 Minuten. Für die Trainingseinheiten wurde gemeinsam ein Übungsplan erarbeitet (siehe Tabelle 5). Falls eine Übung für den Probanden/die Probandin koordinativ zu schwierig sein sollte, sind bei Bedarf weitere Wiederholungen, bis zur sicheren und technisch richtigen Übungsausführung durchgeführt worden. Das Fortschreiten in den Übungen wurde aufgrund der Einschätzung der Physiotherapeutinnen hinsichtlich der Fähigkeiten des Probanden/der Probandin und korrekten Ausführung der Übung individuell entschieden.

Tabelle 5: Übungsprogramm der Krankengymnastik-Gruppe

Untergrund	Übungsauftrag	Dauer/Pause/ Wiederholungen
<u>Stabile Unterlage</u>	1. Aufrechter Stand auf beiden Beinen, Augen geöffnet.	10s/20s/3Wdh.
	2. Aufrechter Stand auf beiden Beinen, Augen geschlossen.	10s/20s/3Wdh.
	3. Aufrechter Einbeinstand, Augen geöffnet.	10s/20s/3Wdh.
	4. Aufrechter Einbeinstand, Augen geschlossen.	10s/20s/3Wdh.
	5. Aufrechter Stand auf beiden Beinen, Augen geöffnet, Ball auf Hüfthöhe (im und gegen den Uhrzeigersinn) um den Körper geben.	10s/20s/3Wdh.
	6. Aufrechter Stand auf beiden Beinen, Augen geschlossen, Ball auf Hüfthöhe (im und gegen den Uhrzeigersinn) um den Körper geben.	10s/20s/3Wdh.
	7. Aufrechter Einbeinstand, Augen offen, Ball auf Hüfthöhe (im und gegen den Uhrzeigersinn) um den Körper geben.	10s/20s/3Wdh.
	8. Aufrechter Stand auf beiden Beinen, Augen geöffnet, Ball in die Höhe werfen (ca. 30cm) und fangen.	8Wdh./20s/3Wdh.
	9. Aufrechter Einbeinstand, Augen offen, Ball in die Höhe werfen (ca. 30cm) und fangen.	8Wdh./20s/3Wdh.
<u>Instabile Unterlage</u>	10. Aufrechter Stand auf beiden Beinen, Augen geöffnet.	10s/20s/3Wdh.
	11. Aufrechter Stand auf beiden Beinen, Augen geschlossen.	10s/20s/3Wdh.

	12. Aufrechter Einbeinstand, Augen geöffnet.	10s/20s/3Wdh.
	13. Aufrechter Einbeinstand, Augen geschlossen.	10s/20s/3Wdh.
	14. Aufrechter Stand auf beiden Beinen, Augen geöffnet, Ball auf Hüfthöhe (im und gegen den Uhrzeigersinn) um den Körper geben.	10s/20s/3Wdh.
	15. Aufrechter Einbeinstand, Augen offen, Ball auf Hüfthöhe (im und gegen den Uhrzeigersinn) um den Körper geben.	10s/20s/3Wdh.
	16. Aufrechter Stand auf beiden Beinen, Augen geöffnet, Ball in die Höhe werfen (ca. 30cm) und fangen.	8Wdh./20s/3Wdh.

3.4.3 Vibrationsplatte Galileo®

Die Trainingsprogramme wurden mit einem Galileo® Med M (Novotec Medical GmbH) durchgeführt (siehe Anhang 2). Hierbei handelt es sich um eine Therapieplattform, die mit einer seitenalternierenden Bewegungsform wie eine Wippe mit veränderbarer Amplitude und Frequenz arbeitet. So wird über eine Kipp-Bewegung ein dem menschlichen Gang ähnliches Bewegungsmuster des Beckens, allerdings mit gesteigerter Frequenz, erzeugt. Der Körper reagiert ausgleichend mit rhythmischen Muskelkontraktionen, welche ab einer Frequenz von ca. 10 Hz reflexgesteuert erfolgen. Hierbei wird die Muskulatur in Beinen, Bauch und Rücken bis in den Rumpf aktiviert. Die Frequenz der Vibrationsplatte ist stufenlos zwischen 5-30 Hz einstellbar, ebenso die Amplitude von +/- 4,5 mm. Niedrige Frequenzen können zur Mobilisation, mittlere für Muskelfunktion und Koordination sowie hohe Frequenzen zur Steigerung der Muskelleistung und Ausdauer verwendet werden.

Die Übungen erfolgten während des Aufenthaltes der Probanden/-innen der Galileo®-Gruppe (n=25) in insgesamt sechs Trainingseinheiten unter Anleitung durch je eine von zwei beteiligten erfahrenen Physiotherapeutinnen. Die Gesamttrainingszeit pro Einheit betrug 15 Minuten. Es wurde für jede Trainingseinheit eine aufeinander aufbauende Reihenfolge von sieben sensomotorischer Übungen auf dem Galileo® erarbeitet (siehe Tabelle 6). Das Fortschreiten in den Übungen oder ggf. Auslassen einzelner Elemente wurde aufgrund der Einschätzung der Physiotherapeutinnen hinsichtlich der Fähigkeiten des Probanden/der Probandin und korrekten Ausführung der Elemente individuell entschieden.

Tabelle 6: Übungsprogramm der Galileo®-Gruppe

Übungsinhalt/-ziel	Position	Dauer/Frequenz/ Pause
1. Eingewöhnung	Aufrechter Stand mittig auf der Vibrationsplatte, Füße ca. auf Schulterbreite, Flexion in Hüft-/Kniegelenk ca 45° Extension Sprunggelenk ca. 45°. (Grundposition)	60s/5Hz/30s
2. Muskelspannung	Aufrechter Stand, Becken nach ventral bewegen.	30s/18Hz/30s
3. Muskelspannung	Grundposition.	30s/15-25Hz/30s
4. Muskelspannung	Anheben der Fersen.	30s/15-25Hz/60s
5. Muskelspannung	Arme hinter dem Kopf verschränkt, Beckenbewegung in der Ebene von dorsal nach ventral.	45s/15-25Hz/60s
6. Rücken-Koordination	Arme hinter dem Kopf verschränkt, Beckenbewegung in der Ebene von dorsal nach ventral.	60s/5-7Hz/60s
7. Entspannung	Grundposition, Abstützung über den Bügel.	30s/10Hz/30s

3.4.4 Posturomed®

Die Übungen wurden auf einem Bioswing Posturomed® 202 (Haider Bioswing GmbH) durchgeführt (siehe Anhang 3). Es ist ein sensomotorisches Therapie- und Trainingsgerät mit einer 60 x 60 cm messenden, gedämpft pendelnd, instabilen Fläche. Die an acht Stahlseilen aufgehängte Fläche ermöglicht progressiv gedämpfte (d.h. mit zunehmender Auslenkung der Therapiefläche erfolgt eine Erhöhung der Dämpfung/des Auslenkungswiderstandes) Ausweichbewegungen. Über die Entriegelung weiterer Seile werden unterschiedliche Schwingamplituden (max. Flächenauslenkung medio-lateral 25 mm (verriegelt) / 50 mm (entriegelt); max. Flächenauslenkung anterior-posterior 40 mm / 80 mm) und Schwingfrequenzen (1,0 bis 4,2 Hz) freigegeben. Dies ermöglicht eine ideale Schweregradanpassung der Übungen in drei Stufen an die neuromuskuläre Leistungsfähigkeit.

Die Übungen erfolgten während des Aufenthaltes der Probanden/-innen der Posturomed®-Gruppe (n=25) in insgesamt sechs Trainingseinheiten unter physiotherapeutischer Anleitung durch je eine von zwei beteiligten erfahrenen Physiotherapeutinnen. Die Gesamttrainingszeit pro Einheit betrug 15 Minuten. Es wurde für jede Trainingseinheit eine aufeinander aufbauende Reihenfolge von neun sensomotorischer Übungen auf dem Posturomed® erarbeitet (siehe Tabelle 7). Dabei sind pro Stufe je zweimal 30 Sekunden Übungszeit und 30 Sekunden Pause eingeplant. Das Fortschreiten in den Übungen oder ggf. Auslassen einzelner Elemente wurde aufgrund der Einschätzung der

Physiotherapeutinnen hinsichtlich der Fähigkeiten des Probanden/der Probandin und korrekten Ausführung der Elemente individuell entschieden.

Table 7: Übungsprogramm der Posturomed®-Gruppe

Stufe	Verriegelungen	Übung	Ausführung	Anzahl Würfe
1	beide geschlossen	Treten auf der Stelle, Einbeinstand.	Fuß im aufrechten Stand wechselseitig ca. 10-15cm anheben, alle 3 Wechsel ca. 2s im Einbeinstand halten.	0
2	beide geschlossen	Werfen und Fangen in der medialen sagittalen Ebene.	Wie in Stufe 1, beim Einbeinstand Wurf eines Balles aufsteigend 1-5x in ca. 60-80cm Höhe und beidhändiges Fangen.	1-5
3	beide geschlossen	Werfen und Fangen nach Rotation.	Wie Stufe 2, vor dem Wurf im Einbeinstand Rotation um 10-15 Grad in Becken-/Schulterlinie anschließend aufsteigend 2-6x Werfen und Fangen des Balls.	2-6
4	eine geöffnet	Treten auf der Stelle, Einbeinstand.	Fuß im aufrechten Stand wechselseitig ca. 10-15cm anheben, alle 3 Wechsel ca. 2s im Einbeinstand halten.	0
5	eine geöffnet	Werfen und Fangen in der medialen sagittalen Ebene.	Wie in Stufe 4, beim Einbeinstand Wurf eines Balles aufsteigend 1-5x in ca. 60-80cm Höhe und beidhändiges Fangen.	1-5
6	eine geöffnet	Werfen und Fangen nach Rotation.	Wie Stufe 5, vor dem Wurf im Einbeinstand Rotation um 10-15 Grad in Becken-/Schulterlinie anschließend aufsteigend 2-6x Werfen und Fangen des Balls.	2-6
7	beide geöffnet	Treten auf der Stelle, Einbeinstand.	Fuß im aufrechten Stand wechselseitig ca. 10-15cm anheben, alle 3 Wechsel ca. 2s im Einbeinstand halten.	0
8	beide geöffnet	Werfen und Fangen in der medialen sagittalen Ebene.	Wie in Stufe 7, beim Einbeinstand Wurf eines Balles aufsteigend 1-5x in ca. 60-80cm Höhe und beidhändiges Fangen.	1-5

9	beide geöffnet	Werfen und Fangen nach Rotation.	Wie Stufe 8, vor dem Wurf im Einbeinstand Rotation um 10-15 Grad in Becken-/Schulterlinie anschließend aufsteigend 2-6x Werfen und Fangen des Balls.	2-6
---	----------------	----------------------------------	--	-----

3.5 Statistik

Die Daten wurden mit dem Statistikprogramm SPSS 22.0 für Windows (SPSS, Chicago, IL, USA) ausgewertet. Für die statistischen Berechnungen wurden die Varianzanalyse, der Chi-Quadrat-Test und der t-Test verwendet. Die Literaturrecherche zur Darstellung des Forschungsstandes und Diskussion der Ergebnisse wurde über PubMed und Medline durchgeführt.

Hinsichtlich der Fallzahlschätzung (Poweranalyse) orientiert sich die Studie an Ergebnissen einer im Aufbau vergleichbaren Arbeit von del Pozo-Cruz et al.. Im Rahmen dieser Arbeit wurden zwei Gruppen mit je 24 bzw. 25 Probanden/-innen die an chronischem, nicht-spezifischem Rückenschmerz litten hinsichtlich eines Vibrationstrainings verglichen. Es konnte in dieser Arbeit eine Effektgröße für den Oswestry-Score von $d=0,72$ erzielt werden (del Pozo-Cruz et al. 2011). Ziel war es einen ähnlichen mittleren bis hohen Effekt für die einzelnen Gruppen und Parameter zu erzielen. Diesbezüglich sind laut Bortz bei einer Effektgröße von 0,7 ($\alpha=0,05$; $1-\beta=0,8$) 25 Probanden/-innen pro Gruppe erforderlich um ein signifikantes Ergebnis zu erhalten (Bortz 1984).

4. Ergebnisse

4.1 Studienpopulation

Die hier vorgestellte Studie wurde an der Universitätsklinik und Poliklinik für Orthopädie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg durchgeführt. Im Rahmen dieser Studie wurden 75 Probanden/-innen verteilt auf drei Gruppen (je n=25) getestet (siehe Tabelle 8). Die Geschlechterverteilung der insgesamt eingeschlossenen Probanden/-innen stellte sich als nicht ausgewogen dar, da 27 dem männlichen (m) und 48 dem weiblichen (w) Geschlecht angehörten (siehe Abbildung 2). Verglichen mit der Krankengymnastikgruppe (fünf Männer zu zwanzig Frauen) (siehe Abbildung 3), bot sich in den beiden weiteren Trainingsgruppen mit zehn Männern zu fünfzehn Frauen in der Galileo®- (siehe Abbildung 4) und zwölf Männer zu dreizehn Frauen in der Posturomed®-Gruppe (siehe Abbildung 5) eine ausgeglichene Verteilung. Die Ungleichverteilung des Geschlechts war jedoch im Chi-Quadrat-Test nicht statistisch signifikant ($p > 0,05$).

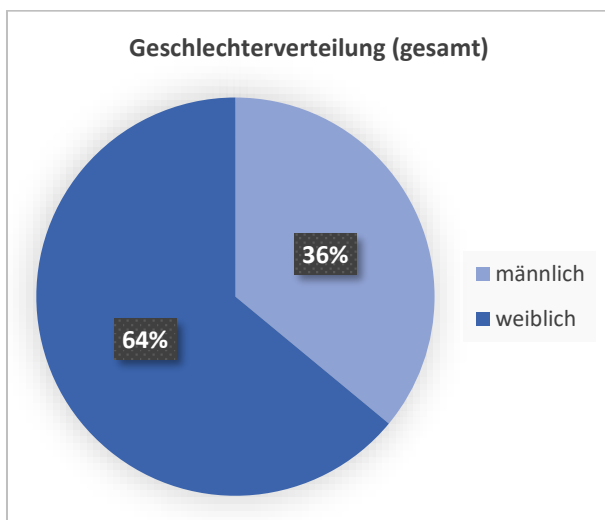


Abbildung 2: Prozentuale Geschlechterverteilung (gesamt)

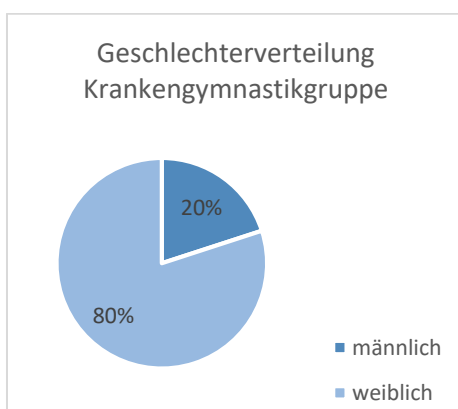


Abbildung 3: Geschlechterverteilung KG-Gruppe

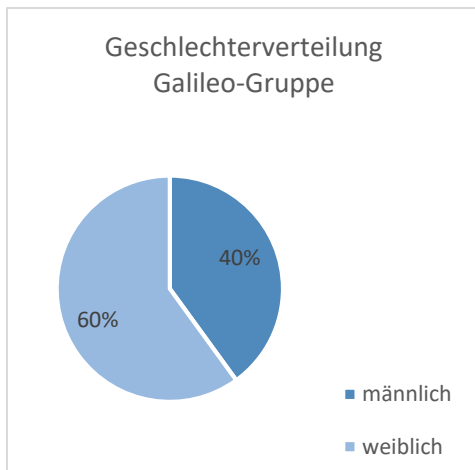


Abbildung 4: Geschlechterverteilung Galileo®-Gruppe

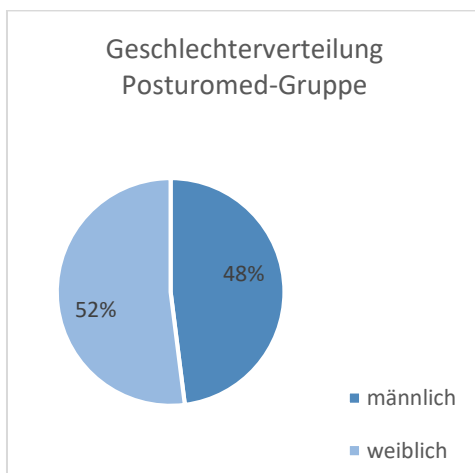


Abbildung 5: Geschlechterverteilung Posturomed®-Gruppe

Die übrigen anthropometrischen Parameter wie Alter, Größe und Gewicht sowie der aus letzteren berechnete Body-Mass-Index (BMI) zeigten ebenfalls keine signifikanten Abweichungen zwischen den Gruppen ($p > 0,05$) (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: anthropometrische Daten (Mittelwert mit Standardabweichung und Signifikanzniveau)

Gruppe	Größe in Meter	Alter in Jahren	Gewicht in kg	BMI in kg/m^2
KG	$1,68 \pm 0,07$ ($p > 0,05$)	$59,9 \pm 10,7$ ($p > 0,05$)	$81,7 \pm 15,6$ ($p > 0,05$)	$29,1 \pm 5,34$ ($p > 0,05$)
Galileo®	$1,70 \pm 0,10$ ($p > 0,05$)	$58,3 \pm 11,6$ ($p > 0,05$)	$79,6 \pm 19,2$ ($p > 0,05$)	$27,6 \pm 5,42$ ($p > 0,05$)
Posturomed®	$1,72 \pm 0,12$ ($p > 0,05$)	$62,0 \pm 11,8$ ($p > 0,05$)	$87,2 \pm 15,9$ ($p > 0,05$)	$29,5 \pm 4,76$ ($p > 0,05$)

4.2 Oswestry-Disability-Index

Die Auswertung des Oswestry-Disability-Index (ODI) zeigte für alle Gruppen eine deutliche Reduktion der schmerzbedingten Einschränkung im Anschluss an den zweiwöchigen stationären Aufenthalt. So verringerte sich die mittlere Gesamtpunktzahl der Probanden/-innen in dem ODI in der KG-Gruppe von $22,25 \pm 2,32$ auf $17,06 \pm 8,57$ ($d=0,95$). In der Galileo[®]-Gruppe sank sie von $17,31 \pm 7,10$ auf $11,69 \pm 7,72$ ($d=0,76$) und in der Posturomed[®]-Gruppe von $21,81 \pm 5,81$ auf $15,14 \pm 8,27$ ($d=0,95$) (siehe Abbildung 6). Dies bedeutet im ODI für die KG-Gruppe im Mittel eine Reduktion der Einschränkungen von 44,5% auf 34,13%, für die Galileo[®]-Gruppe von 34,62 auf 23,38% und in der Posturomed[®]-Gruppe von 43,62% auf 30,28%. Daran lässt sich für die KG- und Posturomed[®]-Gruppe eine Verbesserung der Stufe von einer schweren zu einer mäßigen schmerzbedingten Einschränkung zeigen. Die Galileo[®]-Gruppe bewegt sich von der oberen zur unteren Grenze einer mäßigen Einschränkung. Es konnten für alle drei Gruppen dabei große Effektgrößen für die Reduktion der schmerzbedingten Einschränkung bestimmt werden, wobei jene der KG- und Posturographie[®]-Gruppe die der Galileo[®]-Gruppe noch überstiegen. In der Varianzanalyse (allgemeines lineares Modell (ALM)) zeigte sich ein eindeutiger Zeit-Effekt ($p < 0,001$; $\eta^2 = 0,470$) für die Verringerung der schmerzbedingten Einschränkung von prä- zu postinterventionell. Es lagen dabei keine querschnittlichen Ausgangsunterschiede zwischen den Gruppen ($p = 0,086$; $\eta^2 = 0,094$) vor. Allerdings konnte auch keine Signifikanz für den Interaktionseffekt, also einen Unterschied in der zeitliche Entwicklung zwischen den Gruppen (Zeit x Gruppe) ($p = 0,763$; $\eta^2 = 0,011$) nachgewiesen werden (siehe Tabelle 9). Zu beachten ist, dass in der unten aufgeführten Tabelle 9 zwar die Einzelparameter des ODI mit dargestellt sind, diese jedoch in der Auswertung keine Relevanz haben, da der ODI als Gesamtfragebogen evaluiert ist und keine Evaluation der Einzelfragen unabhängig vom Gesamtergebnis stattgefunden hat. Betrachtet man jedoch die einzelnen prä-/postinterventionellen Entwicklungen so zeigen sich die größten Effektstärken im Bereich eines mittleren bzw. großen Effektes nach Cohens d (mittlerer Effekt $d = 0,5-0,8$, großer Effekt $d > 0,8$) vor allem in Bereichen, welche die Probanden/-innen während des stationären Aufenthaltes einfach erleben konnten. So zeigte sich für die Schmerzstärke über alle Gruppen im Zeitverlauf mittlere bis große Effektgrößen ($d = 0,65-1,61$) ($p < 0,001$; $\eta^2 = 0,415$) und ebenso für die Beeinträchtigung beim Stehen ($d = 0,64-0,75$) ($p < 0,001$, $\eta^2 = 0,338$). Jedoch konnten auch hier keine signifikanten Unterschiede im Querschnitt der einzelnen Gruppen oder der Gruppen im Zeitverlauf für die Schmerzstärke ($p = 0,937$; $\eta^2 = 0,002$) ($p = 0,053$; $\eta^2 = 0,078$) bzw. die Beeinträchtigung beim Stehen ($p = 0,287$; $\eta^2 = 0,034$) ($p = 1,000$; $\eta^2 = 0,000$) beobachtet werden (siehe Tabelle 9).

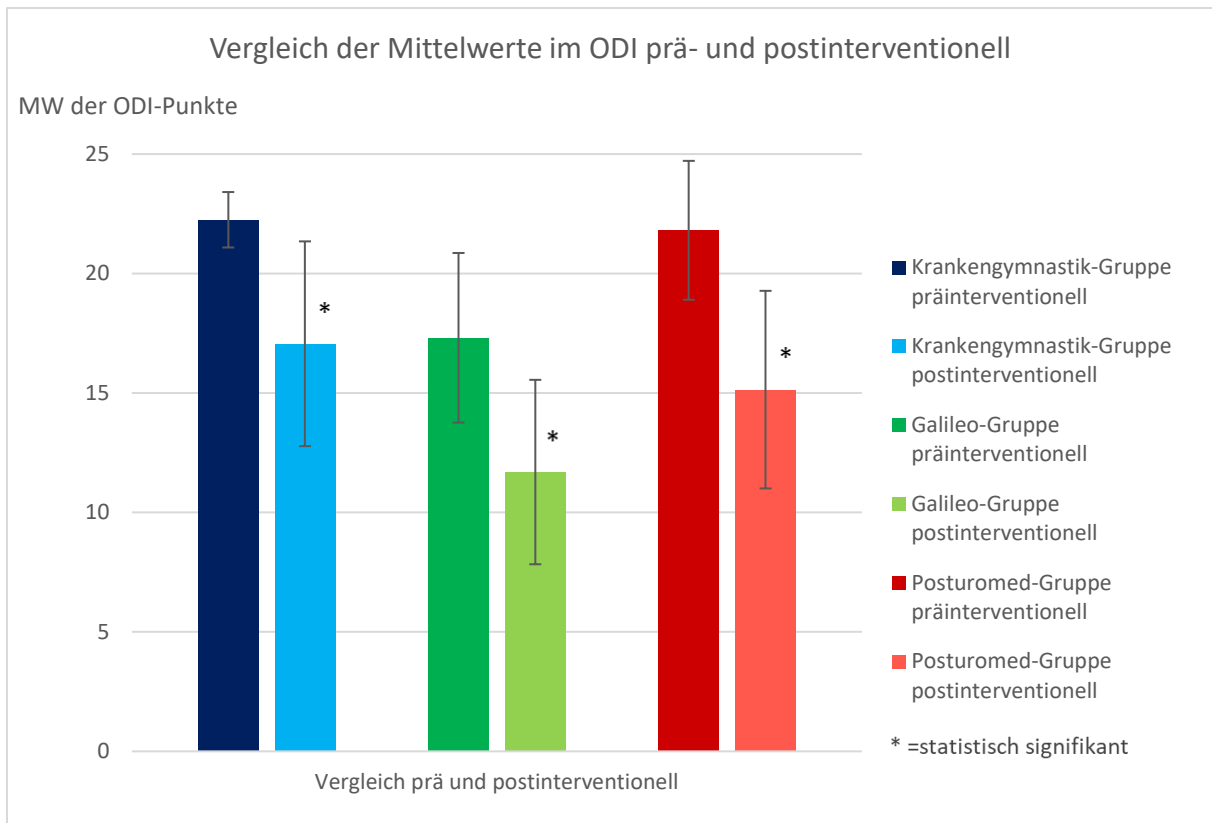


Abbildung 6: Punktwerte im ODI prä-/postinterventionell

Tabelle 9: Effekte einer zweiwöchigen Intervention mittels der untersuchten sensomotorischen Trainingsformen auf den ODI

Oswestry-Disability-Index															
Parameter	KG (MW±SD)			Galileo® (MW±SD)			Posturomed® (MW±SD)			Varianzanalyse (ALM)					
	Prä	Post		Prä	Post		Prä	Post		Gruppe		Zeit		Zeit x Gruppe	
			d			d			d	p	η²	p	η²	p	η²
Schmerzstärke	2.44±0.65	1.60±0.82	1.14	2.36±0.76	1.80±0.96	0.65	2.72±0.68	1.40±0.96	1.61	0.937	0.002	<0.001	0.415	0.053	0.078
Körperpflege	0.92±0.95	0.44±0.65	0.60	0.72±0.74	0.52±0.65	0.29	0.96±0.98	0.44±0.65	0.63	0.910	0.003	<0.001	0.212	0.298	0.033
Gehen	1.28±1.17	0.88±0.93	0.38	1.12±0.83	0.76±0.88	0.42	1.40±1.12	1.08±0.99	0.32	0.492	0.020	0.001	0.141	0.953	0.001
Sitzen	2.28±1.06	2.04±1.17	0.21	2.04±0.79	1.44±1.04	0.65	2.48±0.92	1.76±0.97	0.76	0.161	0.050	<0.001	0.199	0.259	0.037
Stehen	2.80±0.87	2.00±1.26	0.75	2.40±1.04	1.60±1.29	0.68	2.80±1.12	2.00±1.38	0.64	0.287	0.034	<0.001	0.338	1.000	0.000
Schlafen	1.68±1.03	1.20±0.91	0.49	1.72±1.02	1.40±1.04	0.31	1.80±0.91	1.04±0.68	0.95	0.798	0.006	<0.001	0.219	0.297	0.033
Sexualität	2.06±2.08	1.69±1.92	0.19	1.56±1.50	0.88±1.46	0.46	2.19±1.63	1.33±1.62	0.53	0.465	0.030	<0.001	0.245	0.451	0.031
Sozialleben	2.36±1.25	1.64±1.47	0.44	2.08±1.22	1.20±1.32	0.69	2.16±1.14	1.24±1.09	0.82	0.456	0.022	<0.001	0.310	0.843	0.005
Reisen	2.52±1.33	1.40±1.29	0.85	1.92±1.58	1.08±1.12	0.62	2.48±1.39	1.76±1.62	0.48	0.165	0.049	<0.001	0.276	0.619	0.013
Heben	2.76±1.20	2.28±1.49	0.36	1.96±1.24	1.72±1.40	0.18	2.80±1.16	2.20±1.53	0.45	0.084	0.066	0.002	0.128	0.545	0.017
Σ	22.25±2,32	17.06±8.57	0.95	17.31±7.10	11.69±7.72	0.76	21.81±5.81	15.14±8.27	0.95	0.086	0.094	<0.001	0.470	0.763	0.011
			∅				∅				∅				

Punktwerte der sensomotorischen Trainingsformen (Krankengymnastik (KG), Galileo® und Posturomed®) mit Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD) in den Einzelkategorien und der Summe (Σ) sowie der Varianzanalyse (mit Gruppen-, Zeit- und Zeit x Gruppen-Effekt) nach zweiwöchiger multimodaler Schmerztherapie. ALM: allgemeines lineares Modell; d: Effektstärke; p: Signifikanzwert; η²: Eta-Quadrat.

4.3 Posturographie

Posturographisch konnte keine signifikante Verbesserung der posturalen Kontrolle in einer der drei Gruppen über den Messzeitraum hinweg nachgewiesen werden. Der Stabilitätsindikator als Parameter der posturalen Kontrolle (je Größer desto höher die Instabilität) zeigte sich in der KG-Gruppe von $31,2 \pm 14,0$ auf $29,6 \pm 15,2$ ($d=0,11$), in der Galileo®-Gruppe von $30,2 \pm 11,8$ auf $30,05 \pm 10,1$ ($d=-0,01$) und in der Posturomed®-Gruppe von $27,7 \pm 10,4$ auf $30,6 \pm 12,6$ ($d=-0,26$) nicht signifikant verändert (siehe Abbildung 7). Dies gilt in der Varianzanalyse (ALM) bei vergleichbaren Ausgangswerten zwischen den Gruppen ohne signifikante Abweichungen ($p=0,927$; $\eta^2=0,002$), sowohl zeitlich prä- zu postinterventionell ($p=0,666$; $\eta^2=0,003$) und für den Interaktionseffekt zwischen den einzelnen Gruppen ($p=0,109$; $\eta^2=0,060$) (siehe Tabelle 10).

In den jeweiligen Frequenzbereichen eins bis acht bestand nur beim Bereich zwei bis vier, welcher das peripher vestibuläre System abbildet, ein signifikanter Zeiteffekt ($p=0,014$; $\eta^2=0,081$). Dies zeigte sich bei vergleichbarem Gruppenquerschnitt ohne signifikante Unterschiede ($p=0,723$; $\eta^2=0,009$) und ohne, dass ein Interaktionseffekt zwischen den Gruppen ($p=0,767$; $\eta^2=0,007$) festgestellt werden konnte. Ein weiterer signifikanter Effekt stellt der Interaktionseffekt im zeitlichen Verlauf bei der Fersenbelastung dar ($p=0,014$; $\eta^2=0,111$). Hier entwickelten sich die Probanden/-innen der KG-Gruppe mit $47,9\% \pm 5,51\%$ zu $45,5\% \pm 7,20\%$ ($d=0,32$) hin zu einer vermehrten Vorfußbelastung, während die der Posturomed®-Gruppe mit $46,7\% \pm 5,92\%$ zu $48,7\% \pm 7,35\%$ ($d=-0,30$) eher zu einer verstärkten Rückfußbelastung neigten. Die Probanden/-innen der Galileo®-Gruppe zeigten hinsichtlich der Fersenbelastung kaum eine Veränderung von $47,4\% \pm 7,73\%$ zu $47,2\% \pm 8,22\%$ ($d=0,02$) (siehe Tabelle 10).

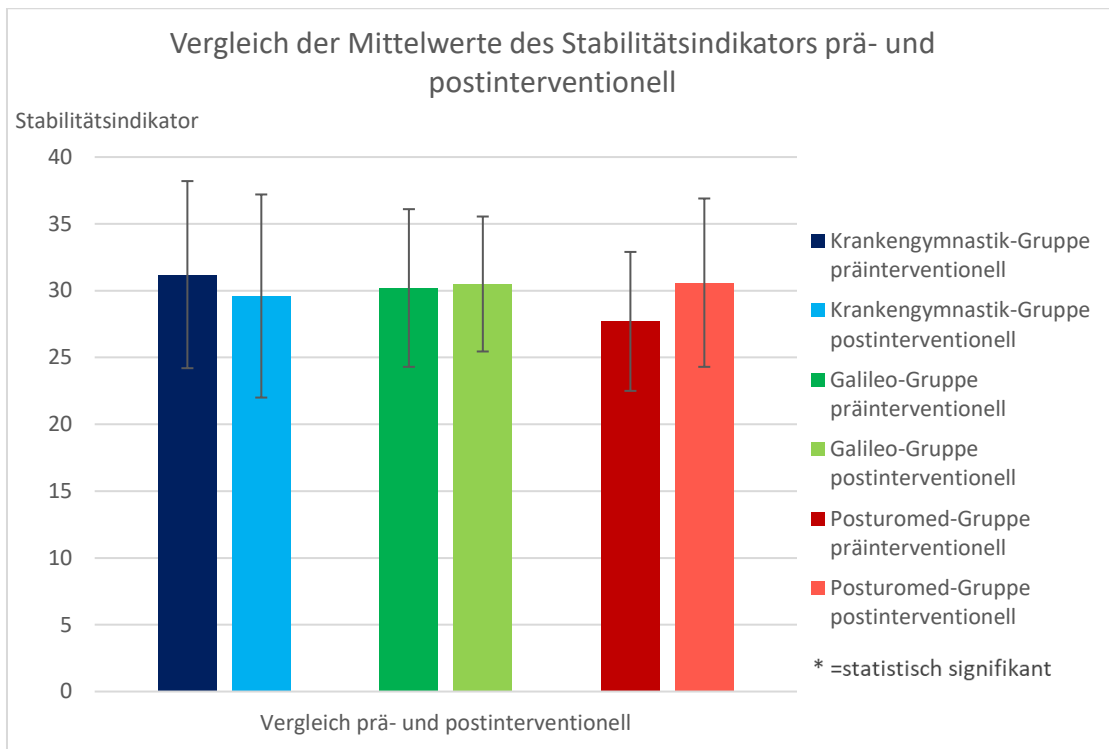


Abbildung 7: Werte des Stabilitätsindikators prä-/postinterventionell

Tabelle 10: Effekte einer zweiwöchigen Intervention mittels der untersuchten sensomotorischen Trainingsformen auf die Elemente der posturalen Kontrolle

Posturographie															
Parameter	KG (MW±SD)			Galileo® (MW±SD)			Posturomed® (MW±SD)			Varianzanalyse (ALM)					
	Prä	Post	d	Prä	Post	d	Prä	Post	d	Gruppe		Zeit		Zeit x Gruppe	
										p	η²	p	η²	p	η²
Frequenzb. 1	19.4±9.07	18.0±6.59	0.17	17.7±5.59	18.1±5.49	-0.08	18.4±6.61	23.6±25.6	-0.33	0.467	0.021	0.426	0.009	0.315	0.032
Frequenzb. 2-4	11.9±3.99	10.3±3.41	0.42	11.6±3.64	10.8±2.78	0.26	11.0±5.15	10.1±2.11	0.25	0.723	0.009	0.014	0.081	0.767	0.007
Frequenzb. 5-6	5.63±2.37	5.08±2.30	0.24	5.29±1.89	5.38±1.85	-0.05	4.80±1.69	5.17±1.92	-0.20	0.748	0.008	0.844	0.001	0.050	0.080
Frequenzb. 7-8	1.06±0.55	1.04±0.55	0.04	0.96±0.44	1.02±0.37	-0.15	0.92±0.37	1.07±0.53	-0.33	0.884	0.003	0.59	0.049	0.103	0.061
Stabilitäts-indikator (ST)	31.2±14.0	29.6±15.2	0.11	30.2±11.8	30.05±10.1	-0.01	27.7±10.4	30.6±12.6	-0.26	0.927	0.002	0.666	0.003	0.109	0.060
WDI	6.27±2.52	5.64±2.34	0.26	5.67±2.27	5.32±2.04	0.16	5.06±1.41	5.46±1.75	-0.25	0.424	0.024	0.341	0.013	0.103	0.061
Synch.	672±155	636±145	0.24	635±128	634±132	0.01	670±139	644±120	0.20	0.781	0.007	0.117	0.034	0.551	0.016
Seitigkeit	49.6±6.76	50.1±4.19	-0.09	51.5±4.74	50.9±3.88	0.13	50.5±4.67	49.0±5.48	0.30	0.468	0.021	0.226	0.020	0.174	0.047
Fersenbelastung	47.9±7.51	45.5±7.20	0.32	47.4±7.73	47.2±8.22	0.02	46.7±5.92	48.7±7.35	-0.30	0.886	0.003	0.781	0.001	0.014	0.111
	∅			∅			∅								

Prä- und Postinterventionelle Messwerte der sensomotorischen Trainingsformen (Krankengymnastik (KG), Galileo® und Posturomed®) mit Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD) in den einzelnen Frequenz- und motorischen Parametern der posturalen Kontrolle sowie deren Varianzanalyse (mit Gruppen-, Zeit- und Zeit x Gruppen-Effekt) nach zweiwöchiger multimodaler Schmerztherapie. ALM: allgemeines lineares Modell; d: Effektstärke; p: Signifikanzwert; η²: Eta-Quadrat; Frequenzb. 1: Frequenzbereich 1, visuelles System; Frequenzb. 2-4: Frequenzbereich 2-4, peripher-vestibuläres System; Frequenzb. 5-6: Frequenzbereich 5-6, somatosensorisches System; Frequenzb. 7-8: Frequenzbereich 7-8, zentrales, cerebelläres System; WDI: Gewichtsverteilungsindex; Synch.: Synchronisation.

5. Diskussion

5.1 Ergebnisdiskussion

5.1.1 anthropometrische Daten

Hinsichtlich der anthropometrischen Daten (Größe, Alter, Gewicht, BMI) stellt sich das Probandenkollektiv auch unter den einzelnen Gruppen als ausgewogen dar. Dies lässt eine gute Vergleichbarkeit der erhaltenen Daten erwarten.

Auffällig ist hier das durchschnittliche Alter von ca. 60 Jahren und der durchschnittliche BMI im Bereich der Präadipositas. Dies ist allerdings wenig verwunderlich, da es sich bei dem in die Studie eingeschlossenen Probandenkollektiv um Patienten/-innen handelte, welche mit chronischen Rückenschmerzen zur MMST aufgenommen wurden. Dies bestätigt die laut Leitlinie vorliegende Beteiligung von Übergewicht als einen Risikofaktor für die Chronifizierung von Rückenschmerzen. Was bereits durch verschiedene Studien belegt werden konnte (Leboeuf-Yde 2000; Dario et al. 2015). Außerdem bieten die gewonnenen Ergebnisse einen Hinweis auf das häufigere Auftreten von Rückenschmerzen im höheren Lebensalter. Dies konnte eine telefonische Befragung hinsichtlich des Vorhandenseins von chronischen Rückenschmerzen durch das Robert-Koch-Institut ebenfalls belegen (Robert-Koch-Institut (Hrsg.) 2015).

Die Geschlechterverteilung zugunsten des weiblichen Geschlechtes ist ebenso erwartbar gewesen, auch wenn sich hier keine statistische Signifikanz der Ungleichverteilung darstellen lässt. Über alle Altersgruppen hinweg sind Frauen häufiger von chronischen Rückenschmerzen betroffen, was somit auch zu einer erhöhten Vertretung im Rahmen von therapeutischen Programmen und damit zum Pool der Probanden/-innen Rekrutierung führt (Robert-Koch-Institut (Hrsg.) 2015).

5.1.2 Oswestry-Disability-Index

Die Reduktion des ODI-Wertes im Rahmen der Studie über alle Gruppen hinweg zeigt die Wirksamkeit der verschiedenen sensomotorischen Trainingsformen und mit ihr in Verbindung die der MMST für die Verringerung der schmerzbedingten Einschränkung der Probanden/-innen. Insbesondere zeigt sich unter vergleichbaren Ausgangswerten der Gruppen kein signifikanter Unterschied bezüglich der Reduktion der schmerzbedingten Einschränkung zwischen den einzelnen Gruppen. Daraus kann auf der einen Seite geschlossen werden, dass sensomotorische Trainingsmethoden im Rahmen einer physiotherapeutischen Beübung dem Training auf dem Galileo®/Posturomed® ebenbürtig sind. Auf der anderen Seite können somit diese Geräte aber auch eine Ergänzung für ein sensomotorisches Training darstellen, da sie ähnliche Effekte auf die Verringerung der schmerzbedingten Einschränkung bei chronischen Rückenschmerzen haben. Dies hat einerseits zur Folge, dass vergleichbare Ergebnisse für die Reduktion schmerzbedingter Einschränkungen auch ohne die Anschaffung neuer teurerer Geräte

allein durch ein sensomotorisches Training mit erfahrenen Physiotherapeuten/-innen möglich sind. Andererseits aber auch, dass durch die Verfügbarkeit dieser Trainingsgeräte Personaleinsparungen beziehungsweise Entlastungen und eine größere Eigenständigkeit oder Aktivierung der Patienten/-innen im sensomotorischen Training möglich werden kann.

Im Rahmen mehrerer Studien wurden bereits die Auswirkungen eines sensomotorischen Trainings auf die subjektive, schmerzbedingte Einschränkung der Probanden/-innen gemessen durch den ODI untersucht. Es zeigen sich in vielen durchgeführten Studien eine signifikante Reduktion der schmerzbedingten Einschränkung (del Pozo-Cruz et al. 2011; Brooks et al. 2012; Yang und Seo 2015; Kaeding et al. 2017).

Yang und Seo verglichen eine Gruppe mit ausschließlich sensomotorischem physiotherapeutischem Training und eine Gruppe kombiniert mit einem Vibrationstraining gegeneinander. Es zeigte sich dabei wie auch in der hier durchgeführten Studie eine signifikante Reduktion des ODI-Wertes für beide Gruppen, wobei ebenfalls keine Signifikanz für einen Effekt in der zeitlichen Entwicklung zueinander nachgewiesen werden konnte. Als mögliche Limitation wurde hier unter anderem genannt, dass der genaue Umfang der Vibrationstherapie, um optimale Ergebnisse zu erhalten, noch unklar war. Die Gesamtzahl der Interventionen lag in beiden Gruppen bei 18 Einheiten. Beim sensomotorisch-physiotherapeutischen Training lag die Übungszeit bei je 30 Minuten. In der Gruppe, welche das Vibrationstraining absolvierte lag dessen Dauer bei je 5 Minuten. Die restlichen 25 Minuten erfolgte ebenso ein sensomotorisch-physiotherapeutisches Training (Yang und Seo 2015). Dem gegenüber standen in der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Studie sechs Einheiten mit je 15 Minuten der jeweiligen Intervention. Es lässt sich somit vermuten, dass auch eine gesteigerte Trainingsfokussierung auf die Vibrationsübung keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen zu Tage bringt oder für die im Rahmen dieser Arbeit beschriebenen Studie die Gesamtanzahl an Übungen zu gering war.

Es gibt jedoch ebenso bereits Studienergebnisse, welche keine positiven Effekte eines sensomotorischen Trainings auf die Verringerung der schmerzbedingten Beeinträchtigung nachweisen konnten (McCaskey et al. 2018; Wegener et al. 2019). Dies steht konträr zu den in dieser Studie gewonnenen Ergebnissen.

So konnten McCaskey et al. keine signifikante Reduktion des ODI-Wertes bei einem vierwöchigen Training mit insgesamt neun Interventionen über je 45 Minuten weder für die Interventions- noch die Kontrollgruppe feststellen. In der Interventionsgruppe trainierten die Probanden/-innen für 30 Minuten unter physiotherapeutischer Betreuung im Sinne einer sensomotorischen Physiotherapie, anschließend erhielten sie noch jeweils eine 15-minütige Intervention auf dem Posturomed®. Die Kontrollgruppe wurde nach der 30-minütigen Physiotherapie für ebenfalls 15 Minuten mit einem

explizit nicht sensomotorischen, gering belastendem Herz-Kreislauf-Training beübt (McCaskey et al. 2018). Im Vergleich ähnelt diese Konstellation dem Übungsablauf sowohl vom Ablauf mit ergänzender Physiotherapie als auch der Interventionsdauer auf dem Posturomed[®] sowie der Gesamtübungszahl im einstelligen Bereich dem Aufbau der in dieser Studie durchgeführten Interventionen. Einen deutlichen Unterschied bei ähnlichen anthropometrischen Voraussetzungen in der Studienpopulation stellt jedoch der Ausgangswert des ODI dar. Bei McCaskey et al. bestand präinterventionell eine prozentuale Einschränkung der Probanden/-innen der Interventionsgruppe von 19,8% und denen der Kontrollgruppe von 17,6% (McCaskey et al. 2018). Demgegenüber stehen in der durchgeführten Studie Ausgangswerte bei der Krankengymnastik-Gruppe von 44,5%, bei der Posturomed[®]-Gruppe von 43,6% und bei der Galileo[®]-Gruppe von 34,6%. Wenn dahingehend die Ergebnisse von del Pozo-Cruz et al. mit betrachtet werden, hier lagen die Ausgangswerte für die Interventions- und Kontrollgruppe bei 26,5% bzw. 29,2% (del Pozo-Cruz et al. 2011), kann in Betracht gezogen werden, dass der im Vergleich niedrigere Ausgangswert einen signifikanten Effekt nicht ermöglicht hat. Dies lässt auch die Arbeit von Wegener et al. vermuten, da hier auch über einen längeren Interventionszeitraum von insgesamt 18 Wochen mit Trainingseinheiten zweimal pro Woche keine Signifikanz in der Reduktion des ODI erreicht werden konnte. Die ODI Ausgangswerte lagen bei 20,7% in der physiotherapeutischen Gruppe (im Sinne eines sensomotorischen Trainings) und 18,1% in der Vibrationstrainingsgruppe (Wegener et al. 2019).

Ein weiterer Einflussfaktor für die signifikante Reduktion der schmerzbedingten Beeinträchtigung könnte allerdings auch die Beantwortung der Fragen in einem, im Rahmen der durchgeführten Studie notwendigen, stationären Setting sein. Die Probanden/-innen verbrachten im Rahmen der MMST die gesamte Zeit ausgehend von der prä- bis zur postinterventionellen Messung auf der konservativen orthopädischen Station 2 des Universitätsklinikums Halle (Saale) mit dementsprechend eingeschränkten Möglichkeiten einer freien Freizeitgestaltung. Somit ist nachvollziehbarerweise auch die Beantwortbarkeit einzelner Fragen des ODI wie beispielsweise nach den Einschränkungen beim Reisen, des Sexuallebens oder auch des Schlafens (im Dreibettzimmer und einem „fremden“ Bett) für die Probanden/-innen im Rahmen dieses Settings schwieriger gewesen als bei längeren Zeiträumen zwischen den Befragungen mit ambulantem Charakter. Auf der einen Seite könnte vermutet werden, dass sich die Probanden/-innen bei der Beantwortung dieser Fragen, welche eine freiere Alltagsgestaltung oder mehr Privatsphäre erfordern, zum MZP 2 an bereits erlebtem und somit der Vergangenheit orientieren. Dabei würde man jedoch eben eher keine signifikante Verbesserung der schmerzbedingten Beeinträchtigung erleben. Es könnte somit auf der anderen Seite auch vermutet werden, dass Patienten bei der Beantwortung der Fragen des ODI beispielsweise auch auf positive Hoffnungen für die Zukunft zurückgriffen. Dies wäre auch von dem Standpunkt her interessant, dass mit einer solchen Überzeugung bereits einige der Chronifizierungsgefahren von Schmerzen wie

beispielsweise die negative Erwartungshaltung, schmerzbezogene Kognitionen oder auch das Schon-/Vermeidungsverhalten an therapiert sein könnten. Jedoch zeigte sich, wie bereits vorausgehend beschrieben, auch in den ambulanten Settings ein gemischtes Bild von positiven Entwicklungen (del Pozo-Cruz et al. 2011; Yang und Seo 2015; Kaeding et al. 2017) und unverändertem Befinden (McCaskey et al. 2018; Wegener et al. 2019). Eine Möglichkeit diese Fragestellung für ein stationäres Setting besser beantworten zu können wäre eine angepasste Version des ODI bzw. eine Validierung des ODI speziell auch für stationäre Aufenthalte.

5.1.3 Posturographie

Im Rahmen dieser Studie konnte durch die Posturographie weder für ein sensomotorisch-physiotherapeutisches Training, noch den Galileo® oder das Posturomed® ein signifikanter positiver Effekt auf die posturale Kontrolle nachgewiesen werden. Dies steht konträr zur Mehrheit der Studien, welche für ein sensomotorisch-physiotherapeutisches Training und für ein sensomotorisches Vibrationstraining signifikante posturale Verbesserungen aufzeigen konnten (Müller et al. 2001; Schwesig et al. 2006b; Granacher et al. 2006; Korsten et al. 2008; Granacher U. et al. 2009; del Pozo-Cruz et al. 2011; Giboin et al. 2015; Mikó et al. 2017; Chow et al. 2018; Wegener et al. 2019).

Die Ergebnisse dieser Studien in ein direktes Verhältnis mit der hier durchgeführten Studie zu stellen, ist jedoch schwierig. Dies liegt daran, dass die Messung der posturalen Kontrolle über die verschiedenen Studien hinweg durch verschiedene Messsysteme erfolgte. Nur in zwei Studien wurde das Interaktive Balance System (IBS) (Fa. Neurodata) mit der dazugehörigen Software Tetrax verwendet (Müller et al. 2001; Schwesig et al. 2006b). Im Großteil der weiteren Studien wurde die Fähigkeit des Ausgleichs eines definierten Störreizes durch den auf einem Posturomed® oder Gangband stehenden Probanden/-in gemessen und oder elektromyographische Ableitungen verwendet, um die posturale Kontrolle abzubilden (Granacher et al. 2006; Korsten et al. 2008; Granacher U. et al. 2009; McCaskey et al. 2018). Andere Untersuchungen nutzten dafür das Biodex Balancesystem® (del Pozo-Cruz et al. 2011), das Bretz Stabilometer® (Mikó et al. 2017), den Leonardo Mechanograph® (Kaeding et al. 2017) oder den MFT S3 Check® (Wegener et al. 2019). Obwohl in allen genannten Studien für die jeweils verwendeten Systeme die Prämisse angenommen wurde, dass diese eine valide Einschätzung des posturalen Systems vornehmen können, ist es verständlicherweise dadurch ungleich schwerer die vorliegenden Ergebnisse vergleichend zu betrachten.

Am besten zu vergleichen sind die Ergebnisse dieser Studie daher mit der von Schwesig et al. durchgeführten Untersuchung der Wirkung eines dreimonatigen sensomotorischen Trainings (15 Minuten pro Woche auf einer instabilen Matte) bei Osteoporose-Patienten/-innen im Rahmen ihres Osteoporose-Trainings. Diese wurde im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe gestellt, welche individuell zuhause ein tägliches sensomotorisches Training nach initialer Anleitung absolvierten. Es

wurde gezeigt, dass in beiden Gruppen dabei für 80% der Probanden/-innen in der Osteoporose- und 75% in der Kontrollgruppe die Leistungsfähigkeit des posturalen Systems gemessen am Stabilitätsindikator signifikant verbessert werden konnte (Schwesig et al. 2006b). Dies lässt die Vermutung zu, dass auch eine individuelle Fortsetzung eines sensomotorischen Trainings nach Anleitung zuhause mit positiven Ergebnissen möglich ist. Die Wichtigkeit dieser Annahme kann daraus geschlossen werden, dass Schwesig et al. für die Nachbeobachtung im dreimonatigen bzw. zwei-jährigen Follow-up ohne sensomotorische Trainingsintervention wieder eine deutliche Verschlechterung der posturalen Leistung aufzeigten, welche in der Osteoporose-Gruppe noch stärker als in der gesunden Kontrollgruppe war (Schwesig et al. 2006b). Dies kann auf der einen Seite auf die schlechteren körperlichen Voraussetzung von Osteoporose-Patienten/-innen gegenüber Gesunden bezogen werden. Auf der anderen Seite kann aber auch vermutet werden, dass die Schulung und kontinuierliche individuelle Übungsausführung ohne apparative Unterstützung zu einer Integration sensomotorischer Trainingsmethoden in einen individuellen Trainingsplan zumindest einiger an der Studie beteiligter Probanden/-innen geführt hat. Verglichen mit der hier durchgeführten Studie ist zu erwähnen, dass es sich hier um ein älteres (Durchschnitt 66,6 Jahren) und im Geschlechterverhältnis unausgewogeneres (Frauenanteil 96%) Probanden/-innenkollektiv handelte (Schwesig et al. 2006b). Es wurde bereits beschrieben, dass die Entwicklung der posturalen Kontrolle einem altersbedingten Einfluss unterliegt. So zeigt sich eine langsame Einschaltung des posturalen Systems in der Kindheit ebenso wie ein im Alter stattfindender Abbau (Taube 2012). Man kann daher zwei Überlegungen zum Vergleich der Studien anstellen. Einerseits kann das im Durchschnitt jüngere Alter des Probandenkollektivs im Vergleich zu Schwesig et al. einen Einfluss auf die Verbesserungsmöglichkeiten gehabt haben, andererseits kann auch die Interventionsdauer mit zwei Wochen gegenüber drei Monaten ausschlaggebend für die Unterschiede sein.

Zu ersterem kann gesagt werden, dass es sowohl bei Probandenkollektiven mit ähnlicher Altersstruktur wie jenem der hier durchgeführten Studie (del Pozo-Cruz et al. 2011; Wegener et al. 2019), als auch bei deutlich jüngeren Probandenkollektiven (Korsten et al. 2008; Chow et al. 2018) positive Effekte eines sensomotorischen Trainings zu berichten gibt. Daher ist ein primärer Einfluss des Alters auf die Verbesserung der posturalen Kontrolle im Rahmen der sensomotorischen Übungsprogramme als eher unwahrscheinlich zu werten. Auch die Interventionsdauer und Anzahl an Trainingseinheiten liegt in den genannten Studien weit auseinander. Sie reichen von einem einmaligen Training auf einer Vibrationsplattform (Chow et al. 2018) bis hin zu 36 Trainingseinheiten über 18 Wochen eines sensomotorisch-physiotherapeutischen bzw. Vibrations-Trainings (Wegener et al. 2019). Die Ergebnisse von Chow et al. scheinen dabei etwas fraglich, da hier bereits nach der einmaligen Intervention von fünf Minuten auf einer Vibrationsplatte eine signifikante Verbesserung der posturalen Leistung berichtet wurde (Chow et al. 2018). Diese Ergebnisse können durch die

posturographischen Messungen in der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Studie nicht gestützt werden. Möglicherweise hat auch das gesunde Probandenkollektiv und das Durchschnittsalter von 23,2 Jahren bei Chow et al. einen Einfluss auf die sehr beeindruckenden Ergebnisse in Anbetracht der geringen Gesamttrainingsdauer gehabt. Da abgesehen von dieser Einzelarbeit längere Trainingszeiträume als das zweiwöchige der in dieser Arbeit durchgeführten Studie gewählt wurden, kann davon ausgegangen werden, dass deutliche Veränderungen im posturalen System mehr Zeit als die zur Verfügung stehenden zwei Wochen benötigen. So konnten Giboin et al. an einer Gruppe junger und gesunder Probanden/-innen zwar zeigen, dass sich im Rahmen eines zweiwöchigen Trainings auf dem Kippbrett oder Posturomed® (mittels Perturbationen) die übungsspezifische Leistung auf dem jeweiligen Trainingsgerät verbessern lässt, jedoch noch keine Übertragung auf andere posturale Herausforderungen als die geübte stattgefunden hat (Giboin et al. 2015). Diese Ergebnisse stützen die Ausführungen zur neuronalen Komplexität des posturalen Systems (Taube 2012).

Als weiteres Beispiel für eine womöglich umfangreichere benötigte Trainingsdauer zum Erreichen eines messbaren Effekts im Bereich des posturalen Systems lässt sich die Studie von Müller et al. heranziehen. Im Rahmen dieser Studie konnte durch die Posturographie eine signifikante Verbesserung der posturalen Kontrolle der zwei aktiven Interventionsgruppen gemessen werden. Es handelte sich bei den eingeschlossenen Probanden/-innen um Pflegepersonal der Universitätsklinik Halle (Saale) mit nicht akuten Rückenschmerzen, welche je zwei aktiven und zwei passiven Gruppen zugeteilt wurden. Die aktiven Gruppen führten in 36 Trainingseinheiten zu je 30 Minuten ein- bis zweimal pro Woche ein sensomotorisches Training an einem Dreiaxstrainer durch. Die berichtete durchschnittliche Verbesserung der posturalen Kontrolle lag bei 36% im Vergleich zum Ausgangswert. Zum Messzeitpunkt ein Jahr nach Studienbeginn waren diese positiven Effekte jedoch bereits nicht mehr nachweisbar und hatten sich dem Ausgangswert wieder angeglichen (Müller et al. 2001). Da ein solcher Effektverlust nach Trainingsbeendigung auch bereits durch Schwesig et al. beschrieben wurde ist davon auszugehen, dass neben der Trainingsdauer auch deren kontinuierliche Fortführung und Integration in den Alltag wesentliche Aspekte für den Therapieerfolg sind (Schwesig et al. 2006b).

Im Rahmen dieser Arbeit kann für die posturale Kontrolle bei keiner der Interventionen über die beschriebene Übungsdauer eine Überlegenheit nachgewiesen werden. Ähnliche Ergebnisse konnten jedoch in einzelnen Studien bereits für das Posturomed® als Trainingsgerät mit neun Trainingseinheiten zu je 15 Minuten (McCaskey et al. 2018) und für eine Vibrationstherapie mit 30 Trainingseinheiten zu je 15 Minuten (Kaeding et al. 2017) an einem Probandenkollektiv mit chronischen Rückenschmerzen gezeigt werden. Da durch Kaeding et al. bereits eine deutlich größere Anzahl von Trainingseinheiten bei gleicher Dauer pro Einheit im Vergleich zu den im Rahmen dieser

Studie durchgeführten sensomotorischen Übungen vorgenommen wurde, ist die alleinige Betrachtung des Faktors Trainingszeit auch nur eingeschränkt möglich.

Es konnte allerdings eine signifikante Verbesserung über alle Gruppen für die Leistung des peripher vestibulären Systems gezeigt werden, ohne, dass es zwischen ihnen einen Effekt in der zeitlichen Entwicklung zueinander gegeben hat. Dies spricht für die, wie bereits in der Entwicklung der Punktwerte des ODI festgestellte Vergleichbarkeit der sensomotorischen Trainingsmethoden. Lauenroth et al. hatten bereits aufgezeigt, dass dieses posturale Subsystem bei Rückenschmerzpatienten/-innen im Vergleich zur Normalpopulation eine Insuffizienz aufweist (Lauenroth et al. 2019). Hierzu liegen aktuell jedoch leider keine Vergleichsdaten für ein sensomotorisches Training bei chronischen Rückenschmerzpatienten/-innen vor. Nichtsdestotrotz zeigt diese Entwicklung auf, dass mit dem absolvierten sensomotorischen Training das posturale System, wenn auch noch nicht mit direktem Einfluss auf den Stabilitätsindikator, zumindest stimuliert wurde. Somit lässt sich auch aus diesem Ergebnis heraus vermuten, dass eine höhere Trainingsanzahl und oder Intensität bzw. Gestaltung gegebenenfalls deutlichere Verbesserungen aufzeigen könnte.

Zusammenfassend kann daher gesagt werden, dass eine längere Trainingsdauer und Kombination verschiedener oder sehr abwechslungsreicher sensomotorischer Trainingsmethoden, um das posturale System mehr zu fordern, eher dazu geeignet wären, eine durch das IBS gemessene Verbesserung der posturalen Kontrolle herbeiführen zu können. Um eine erreichte Verbesserung anschließend auch zu konservieren und somit einen dauerhaften positiven Effekt in der posturalen Kontrolle von Patienten/-innen zu erreichen, scheint eine dauerhafte Durchführung der Übungen unerlässlich. Welche Trainingsmethoden oder Kombinationen mit den entsprechenden Trainingsintensitäten hier eine Überlegenheit darstellen können, gilt es im Rahmen zukünftiger Studien herauszufinden.

Zu einem ähnlichen Schluss kommen Jafarzadeh et al. die ein sensomotorisches Training gegen ein selbiges Training mit transkranieller Gleichstromstimulation des Motorkortex verglichen (Jafarzadeh et al. 2019). Diese Studie ähnelt in Dauer und Anzahl der Trainingseinheiten sowie der Grunderkrankung eines chronischen Rückenschmerzes der in dieser Arbeit betrachteten, unterscheidet sich allerdings deutlich im Alter des Probandenkollektivs. Eine Verbesserung der posturalen Kontrolle zeigte sich nur in der Gruppe, welche zusätzlich zu dem sensomotorischen Training eine transkranielle Gleichstromstimulation erhielt (Jafarzadeh et al. 2019). Auch zu diesem Punkt gilt es in der Zukunft herauszufinden, ob sich die Ergebnisse mit einem für chronischen Rückenschmerz typischeren Probandenkollektiv reproduzieren lassen.

5.2 Methodendiskussion/Limitationen

5.2.1 Probandenkollektiv

Es wurden für die Studie insgesamt 75 Probanden/-innen rekrutiert. Diese teilten sich gleichmäßig auf die jeweiligen Gruppen auf und stellten auch in ihren anthropometrischen Charakteristika ein gutes Abbild der zu untersuchenden Gruppe von Menschen mit chronischen Rückenschmerzen dar. Auch die Gruppengrößen mit jeweils 25 Probanden/-innen korrespondiert zu vorausgegangenen Studien, welche signifikante Effekte nachweisen konnten (Granacher U. et al. 2009; del Pozo-Cruz et al. 2011; Wegener et al. 2019).

Die Besonderheit stellt jedoch das vollständig stationäre Setting, aus dem das Probandenkollektiv in der in dieser Arbeit durchgeführten Studie stammte, dar. Da alle Probanden/-innen an einer stationären MMST teilnahmen, war für diese Rückenschmerzpatienten/-innen auch ein höherer Einschränkungsgang durch die Schmerzsymptomatik bzw. größerer Chronifizierungsgrad zu erwarten gewesen. Dies steht im Vergleich zu anderen Studien bei denen ambulant chronische Schmerzpatienten/-innen (del Pozo-Cruz et al. 2011; McCaskey et al. 2018) oder Probanden/-innen ohne Rückenschmerzanamnese (Granacher U. et al. 2009; Giboin et al. 2015) hinsichtlich der Effekte eines sensomotorischen Trainings untersucht wurden.

Des Weiteren erfolgte bei der Rekrutierung im Rahmen dieser Arbeit keine spezifische Befragung nach Erkrankungen, welche einen Einfluss auf das posturale System und seine Subsysteme (Taube 2012) haben können. Darunter zählen beispielsweise der Morbus Parkinson oder cerebelläre Erkrankungen (Schwesig et al. 2009). Ebenso stellten solche Erkrankungen kein Ausschlusskriterium für die Aufnahme in die Studie dar. Ein weiterer Faktor, der insbesondere die posturale Kontrolle beeinflusst, ist der Grad der körperlichen Aktivität der einzelnen Probanden/-innen (Taube 2012). Dieser wurde nicht mit erfragt.

5.2.2 Studiendesign

Es handelte sich bei der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Studie um eine prospektive, randomisierte, konfirmatorische Interventionsstudie. Eine doppelte Verblindung war aufgrund der initial feststehenden Randomisierungsliste nicht möglich, da sowohl für die Untersuchenden/Behandelnden als auch die Probanden/-innen die entsprechende Gruppenzuteilung durch die Intervention erkennbar war. Die Probanden/-innen wurden in Abhängigkeit ihres Einschusszeitpunktes nacheinander dem nächsten freien Platz in der Randomisierungsliste zugeteilt. Kam es zu einem loss-to-follow-up wurde der frei gewordene Platz in der Randomisierungsliste dem/der nächsten in die Studie eingeschlossenen Probanden/-in zugeteilt, ohne dass eine

Kategorisierung der Ursache des loss-to-follow-up oder der Anzahl von drop-outs pro Gruppe oder auch in der Gesamtheit erfolgte.

5.2.3 Interventionen

Verglichen wurden im Rahmen der in dieser Arbeit durchgeführten Studie drei Gruppen mit je einer Intervention eines sensomotorischen Trainings, entweder auf dem Galileo[®], dem Posturomed[®] oder als krankengymnastisches Training. Demzufolge gab es keine unbeübte Kontrollgruppe, was zu einer Ergebnisverzerrung durch eine intensivere bzw. additive Therapie eines zusätzlichen sensomotorischen Trainings der Interventionsgruppen hätte führen können. Somit ist es wahrscheinlich, dass es sich bei den festgestellten Effekten in Bezug auf die Verminderung der schmerzbedingten Beeinträchtigung mittels des ODI über die zwei-wöchige Interventionsphase zumindest teilweise um durch die MMST mitbedingte Effekte handelt. Dieser Punkt ist insbesondere wenig überraschend, da genau dieses ja auch ein Ziel der MMST ist.

Während es für eine Vibrationstherapie (del Pozo-Cruz et al. 2011; Kaeding et al. 2017; Wegener et al. 2019) und klassische Ansätze eines sensomotorischen Trainings (Schwesig et al. 2006b; Granacher U. et al. 2009; Mikó et al. 2017) in der Literatur bereits zahlreiche Betrachtungen gibt, finden sich zur Trainingstherapie auf dem Posturomed[®] (McCaskey et al. 2018) hinsichtlich der Verbesserung der posturalen Kontrolle und schmerzbedingten Einschränkungen kaum Studien. Dies schränkt die Diskussionsmöglichkeiten hinsichtlich verschiedener Stellschauben eines sensomotorischen Trainings auf dem Posturomed[®] im Vergleich zu der Galileo[®]- oder Krankengymnastikgruppe etwas ein.

Weiterhin ist auch zu erwähnen, dass die Übungen in der Krankengymnastikgruppe in der in dieser Arbeit durchgeführten Studie zwar genau definiert waren, sich aber hinsichtlich des Übungsablaufes und verwendeter Trainingsgeräte teils deutlich zu anderen Studien unterschieden. Es ist somit in der Betrachtung der sensomotorisch-physiotherapeutischen Trainingsmethoden im weitesten Sinne ein sensomotorisches Training ohne spezielle Therapiegeräte wie eben dem Posturomed[®] oder verschiedener Vibrationsplattformen gemeint. So wurden für sensomotorisch-physiotherapeutischen Trainingseinheiten beispielsweise ein Luftkissen (Schwesig et al. 2006b), Kippbretter und Kreisel (Granacher U. et al. 2009) oder an Pilates angenäherte Übungen (Brooks et al. 2012) verwendet.

Wie bereits unter der jeweiligen Methodik beschrieben, wurden für die Interventionen der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Studie jeweils dezidierte Therapiepläne aufgestellt, um die Homogenität der Interventionen zu gewährleisten. Es war jedoch nicht immer möglich, dass die Probanden/-innen alle diese Übungen in den dafür vorgeschriebenen Rahmenbedingungen durchführen konnten. Gründe dafür sind ein inkorrektes Ausführen der vorangehenden Übung, körperliche Erschöpfung oder die Angst vor einer der Übungen. Diesbezüglich wurde besprochen, dass die die Studie begleitenden

Physiotherapeutinnen je nach Bedarf einzelne Übungen wiederholen, auslassen oder auch Trainingseinheiten bei Erschöpfung abbrechen konnten, um die Sicherheit der Probanden/-innen zu gewährleisten und den Effekt der MMST sowie des sensomotorischen Trainings nicht durch Verletzungen oder ähnliches zu gefährden.

6. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Multimodale Therapieansätze stellen bei Chronifizierungsgefahr oder bereits stattgehabter Chronifizierung den leitliniengerechten Goldstandard in der Therapie chronischer Rückenschmerzen dar. Neben vielen weiteren Inhalten ist eine aktivierende muskelstimulierende Bewegungstherapie/Funktionstraining durch die nationale Versorgungsleitlinie für multimodale Konzepte empfohlen (Nationale Versorgungs Leitlinie Nicht-spezifischer Kreuzschmerz 2017).

Bei Rückenschmerzen zeigt sich die neuromuskuläre Ansteuerbarkeit und Funktion insbesondere des M. transversus abdominis und der tiefen Mm. multifidi gestört (Hodges und Richardson 1996; Hides et al. 2008). Weiterhin verfügen Patienten/-innen mit chronischem Rückenschmerz über eine verringerte posturale Kontrolle insbesondere bei anspruchsvolleren Balancetests (Tsigkanos et al. 2016; da Silva et al. 2018). Auf das Tiefenstabilisationssystem ausgerichtete Trainingsprogramme konnten gute Therapieergebnisse bei chronischem Rückenschmerz erbringen (Smith et al. 2011; França et al. 2012). Folglich wurde postuliert, dass Trainingsmethoden mit dem Ziel der Verbesserung der posturalen Kontrolle Teil therapeutischer Programme bei chronischem Rückenschmerz sein sollten (da Silva et al. 2018). Hierunter fällt unter anderem auch das sensomotorische Training (Taube 2012). Ziel sensomotorischer Trainingsformen ist insbesondere die Verbesserung der posturalen Stabilisierung und der Funktion der tiefen Muskeln sowie eine Steigerung der intermuskulären Koordination mit den oberflächlichen Muskeln (Otte und Rašev 2010).

Trainingsformen eines sensomotorischen Trainings können neben der sensomotorischen Physiotherapie, u.a. mit Hilfsmitteln wie unstabilen Unterlagen verschiedener Natur, auch eine Vibrationsstimulation über den Galileo® oder eine frei schwingende Fläche wie der Posturomed® sein.

Es war das Ziel der vorliegenden Arbeit, herauszufinden ob ein sensomotorisches Training auf dem Galileo® oder Posturomed® einem sensomotorisch-physiotherapeutischen Training im Rahmen einer multimodalen Schmerztherapie für das Outcome posturale Kontrolle und schmerzbedingte Beeinträchtigung des alltäglichen Lebens überlegen ist.

Dafür wurden 75 Patienten/-innen mit chronischen Rückenschmerzen im Rahmen einer 14-tägigen stationären multimodalen Schmerztherapie, welche auf je drei Gruppen (je n=25) aufgeteilt wurden, rekrutiert. Die einzelnen Gruppen erhielten über diese zwei Wochen jeweils insgesamt sechs Trainingseinheiten entweder einer sensomotorischen-physiotherapeutischen Beübung, eines Trainings auf dem Galileo® oder Posturomed®. Prä- und postinterventionell erfolgte eine Messung der posturalen Kontrolle mittels der Posturographie über das Interaktive Balance-System (IBS) (Fa. Neurodata) mit der dazugehörigen Software Tetrax. Weiterhin beantworteten die Probanden/-innen

jeweils den Oswestry-Disability-Index (ODI) zur Einschätzung der schmerzbedingten Beeinträchtigung des alltäglichen Lebens.

Gezeigt werden konnte postinterventionell über alle Gruppen eine Reduktion der schmerzbedingten Beeinträchtigung im alltäglichen Leben. Jedoch konnte für keine Trainingsform eine signifikante Überlegenheit festgestellt werden. Ebenso gab es über den Zeitverlauf keinen signifikanten Zugewinn im Bereich der posturalen Kontrolle allerdings eine signifikante Verbesserung der Insuffizienz des peripher vestibulären Systems.

Aus den Ergebnissen lässt sich in der Folge der Schluss ziehen, dass sowohl das Vibrationstraining auf dem Galileo®, als auch ein Training auf dem Posturomed® nach den im Rahmen dieser Studie vorliegenden Ergebnissen einem sensomotorisch-physiotherapeutischen Training für das Outcome der Reduktion der schmerzbedingten Beeinträchtigung zumindest gleichwertig sind. Dies bezieht sich jedoch auch auf die Umgebungsbedingung im Rahmen einer multimodalen Schmerztherapie und die Betreuung der einzelnen Übungen durch eine/-n erfahrene/-n Physiotherapeuten/-in. Sie stellen somit mögliche Ergänzungen/Alternativen zu der sensomotorischen Physiotherapie dar. Es konnte jedoch außer einer Aufarbeitung der Defizite im peripher vestibulären System keine signifikante Verbesserung der posturographisch messbaren posturalen Kontrolle erreicht werden, wie dies im Rahmen anderer Studien bereits gezeigt werden konnte. Dafür kommen eine Reihe möglicher Faktoren wie beispielsweise die Gesamtdauer des Trainings oder das Probandenkollektiv in seiner Beschaffenheit infrage. Dieses Ergebnis kann aber zumindest als Stimulation des posturalen Systems durch ein sensomotorisches Training gesehen werden. Welche Trainingsmethoden oder Kombinationen mit den entsprechenden Trainingsintensitäten hier eine Überlegenheit darstellen können, gilt es im Rahmen zukünftiger Studien, im Idealfall mit einem einheitlichen Messinstrument für die posturale Kontrolle, herauszufinden.

7. Literaturverzeichnis

Aumüller, G.; Wurzinger, L. J. (2010): Anatomie. 2. überarb. Aufl. Stuttgart: Thieme (Duale Reihe).

Banaschewski, T.; Besmens, F.; Zieger, H.; Rothenberger, A. (2001): Evaluation of sensorimotor training in children with ADHD. In: *Perceptual and motor skills* 92 (1), S. 137–149. DOI: 10.2466/pms.2001.92.1.137.

Banzer, D. (Hg.) (2005): Leitlinien-Clearingbericht "Chronischer Rückenschmerz". Niebüll: Verl. Videel (ÄZQ-Schriftenreihe, Bd. 19).

Bernier, J. N.; Perrin, D. H. (1998): Effect of coordination training on proprioception of the functionally unstable ankle. In: *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy* 27 (4), S. 264–275. DOI: 10.2519/jospt.1998.27.4.264.

Boden, S. D.; Davis, D. O.; Dina, T. S.; Patronas, N. J.; Wiesel, S. W. (1990): Abnormal magnetic-resonance scans of the lumbar spine in asymptomatic subjects. A prospective investigation. In: *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 72 (3), S. 403–408.

Boer, J.; Mueller, O.; Krauss, I.; Haupt, G.; Axmann, D.; Horstmann, T. (2010): Effects of a sensory-motor exercise program for older adults with osteoarthritis or prosthesis of the hip using measurements made by the Posturomed oscillatory platform. In: *Journal of geriatric physical therapy* (2001) 33 (1), S. 10–15.

Bongiovanni, L. G.; Hagbarth, K. E.; Stjernberg, L. (1990): Prolonged muscle vibration reducing motor output in maximal voluntary contractions in man. In: *The Journal of physiology* 423, S. 15–26. DOI: 10.1113/jphysiol.1990.sp018008.

Bortz, J. (1984): Lehrbuch der empirischen Forschung. Für Sozialwissenschaftler. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg.

Brooks, C.; Kennedy, S.; Marshall, P. W. M. (2012): Specific trunk and general exercise elicit similar changes in anticipatory postural adjustments in patients with chronic low back pain: a randomized controlled trial. In: *Spine* 37 (25), E1543-50. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318226feac0.

Casser, H-R; Arnold, B.; Brinkschmidt, T.; Gralow, I.; Irnich, D.; Klimczyk, K. et al. (2013): Interdisziplinäres Assessment zur multimodalen Schmerztherapie. Indikation und Leistungsumfang. In: *Schmerz (Berlin, Germany)* 27 (4), S. 363–370. DOI: 10.1007/s00482-013-1337-7.

Chong, R. K.; Ambrose, A.; Carzoli, J.; Hardison, L.; Jacobson, B. (2001): Source of improvement in balance control after a training program for ankle proprioception. In: *Perceptual and motor skills* 92 (1), S. 265–272. DOI: 10.2466/pms.2001.92.1.265.

Chou, D.; Samartzis, D.; Bellabarba, C.; Patel, A.; Luk, K. D. K.; Kisser, J. M. S.; Skelly, A. C. (2011): Degenerative magnetic resonance imaging changes in patients with chronic low back pain: a systematic review. In: *Spine* 36 (21 Suppl), S43-53. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31822ef700.

Chou, R.; Fu, R.; Carrino, J. A.; Deyo, R. A. (2009): Imaging strategies for low-back pain: systematic review and meta-analysis. In: *The Lancet* 373 (9662), S. 463–472. DOI: 10.1016/S0140-6736(09)60172-0.

Chow, D. H. K.; Lee, T. Y.; Pope, M. H. (2018): Effects of whole body vibration on spinal proprioception in healthy individuals. In: *Work (Reading, Mass.)* 61 (3), S. 403–411. DOI: 10.3233/WOR-182816.

- Cresswell, A. G.; Oddsson, L.; Thorstensson, A. (1994): The influence of sudden perturbations on trunk muscle activity and intra-abdominal pressure while standing. In: *Experimental brain research* 98 (2), S. 336–341. DOI: 10.1007/bf00228421.
- Cresswell, A. G.; Thorstensson, A. (1994): Changes in intra-abdominal pressure, trunk muscle activation and force during isokinetic lifting and lowering. In: *European journal of applied physiology and occupational physiology* 68 (4), S. 315–321. DOI: 10.1007/bf00571450.
- da Silva, R. A.; Vieira, E. R.; Fernandes, K. B. P.; Andraus, R. A.; Oliveira, M. R.; Sturion, L. A.; Calderon, M. G. (2018): People with chronic low back pain have poorer balance than controls in challenging tasks. In: *Disability and rehabilitation* 40 (11), S. 1294–1300. DOI: 10.1080/09638288.2017.1294627.
- Dario, A. B.; Ferreira, M. L.; Refshauge, K. M.; Lima, T. S.; Ordoñana, J. R.; Ferreira, P. H. (2015): The relationship between obesity, low back pain, and lumbar disc degeneration when genetics and the environment are considered: a systematic review of twin studies. In: *The spine journal : official journal of the North American Spine Society* 15 (5), S. 1106–1117. DOI: 10.1016/j.spinee.2015.02.001.
- del Pozo-Cruz, B.; Hernández Mocholí, M. A.; Adsuar, J. C.; Parraca, J. A.; Muro, I.; Gusi, N. (2011): Effects of whole body vibration therapy on main outcome measures for chronic non-specific low back pain: a single-blind randomized controlled trial. In: *Journal of rehabilitation medicine* 43 (8), S. 689–694. DOI: 10.2340/16501977-0830.
- Dohm-Acker, M.; Spitzenpfeil, P.; Hartmann, U. (2008): Auswirkung propriozeptiver Trainingsgeräte auf beteiligte Muskulatur im Einbeinstand. In: *Sportverletzung Sportschaden : Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin* 22 (1), S. 52–57. DOI: 10.1055/s-2007-963614.
- Dt. Rentenversicherung Bund (2019): Rehabericht. Die medizinische und berufliche Rehabilitation der Rentenversicherung im Licht der Statistik. Berlin: Dt. Rentenversicherung Bund.
- Fontana, T. L.; Richardson, C. A.; Stanton, W. R. (2005): The effect of weightbearing exercise with low frequency, whole body vibration on lumbosacral proprioception: A pilot study on normal subjects. In: *Australian Journal of Physiotherapy* 51 (4), S. 259–263. DOI: 10.1016/S0004-9514(05)70007-6.
- França, F. R.; Burke, T. N.; Caffaro, R. R.; Ramos, L. A.; Marques, A. P. (2012): Effects of muscular stretching and segmental stabilization on functional disability and pain in patients with chronic low back pain: a randomized, controlled trial. In: *Journal of manipulative and physiological therapeutics* 35 (4), S. 279–285. DOI: 10.1016/j.jmpt.2012.04.012.
- Gaul, C.; Mette, E.; Schmidt, T.; Grond, S. (2008): Praxistauglichkeit einer deutschen Version des "Oswestry Low Back Pain Disability Questionnaire". Ein Fragebogen zur Beeinträchtigung durch Rückenschmerzen. In: *Schmerz (Berlin, Germany)* 22 (1), S. 51–58. DOI: 10.1007/s00482-007-0566-z.
- Giboin, L-S.; Gruber, M.; Kramer, A. (2015): Task-specificity of balance training. In: *Human movement science* 44, S. 22–31. DOI: 10.1016/j.humov.2015.08.012.
- Gilbert, F. J.; Grant, A. M.; Gillan, M. G. C.; Vale, L. D.; Campbell, M. K.; Scott, N. W. et al. (2004): Low back pain: influence of early MR imaging or CT on treatment and outcome--multicenter randomized trial. In: *Radiology* 231 (2), S. 343–351. DOI: 10.1148/radiol.2312030886.
- Gollhofer, A.; Rapp, W. (1993): Recovery of stretch reflex responses following mechanical stimulation. In: *European journal of applied physiology and occupational physiology* 66 (5), S. 415–420. DOI: 10.1007/bf00599614.
- Granacher, U.; Gollhofer, A.; Strass, D. (2006): Training induced adaptations in characteristics of postural reflexes in elderly men. In: *Gait & posture* 24 (4), S. 459–466. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2005.12.007.

- Granacher U.; Gruber M.; Gollhofer A. (2009): Auswirkungen von sensomotorischem Training auf die posturale Kontrolle älterer Männer. In: *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 60 (12), S. 387–393.
- Gruber, M.; Gollhofer, A. (2004): Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. In: *European journal of applied physiology* 92 (1-2), S. 98–105. DOI: 10.1007/s00421-004-1080-y.
- Hallegraeff, J.; Joannes, M.; Krijnen, W. P.; van der Schans, C. P.; Greef, M. H. G. de (2012): Expectations about recovery from acute non-specific low back pain predict absence from usual work due to chronic low back pain: a systematic review. In: *Journal of Physiotherapy* 58 (3), S. 165–172. DOI: 10.1016/S1836-9553(12)70107-8.
- Hides, J. A.; Stanton, W. R.; McMahon, S.; Sims, K.; Richardson, C. A. (2008): Effect of stabilization training on multifidus muscle cross-sectional area among young elite cricketers with low back pain. In: *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy* 38 (3), S. 101–108. DOI: 10.2519/jospt.2008.2658.
- Hodges, P. W.; Moseley, G. L. (2003): Pain and motor control of the lumbopelvic region: effect and possible mechanisms. In: *Journal of Electromyography and Kinesiology* 13 (4), S. 361–370. DOI: 10.1016/S1050-6411(03)00042-7.
- Hodges, P. W.; Moseley, G. L.; Gabrielsson, A.; Gandevia, S. C. (2003): Experimental muscle pain changes feedforward postural responses of the trunk muscles. In: *Experimental brain research* 151 (2), S. 262–271. DOI: 10.1007/s00221-003-1457-x.
- Hodges, P. W.; Richardson, C. A. (1996): Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. A motor control evaluation of transversus abdominis. In: *Spine* 21 (22), S. 2640–2650. DOI: 10.1097/00007632-199611150-00014.
- Itz, C. J.; Geurts, J. W.; van Kleef, M.; Nelemans, P. (2013): Clinical course of non-specific low back pain: a systematic review of prospective cohort studies set in primary care. In: *European journal of pain (London, England)* 17 (1), S. 5–15. DOI: 10.1002/j.1532-2149.2012.00170.x.
- Jafarzadeh, A.; Ehsani, F.; Yosephi, M. H.; Zoghi, M.; Jaberzadeh, S. (2019): Concurrent postural training and M1 anodal transcranial direct current stimulation improve postural impairment in patients with chronic low back pain. In: *Journal of clinical neuroscience : official journal of the Neurosurgical Society of Australasia* 68, S. 224–234. DOI: 10.1016/j.jocn.2019.07.017.
- Javadian, Y.; Behtash, H.; Akbari, M.; Taghipour-Darzi, M.; Zekavat, H. (2012): The effects of stabilizing exercises on pain and disability of patients with lumbar segmental instability. In: *Journal of back and musculoskeletal rehabilitation* 25 (3), S. 149–155. DOI: 10.3233/BMR-2012-0321.
- Kaeding, T. S.; Karch, A.; Schwarz, R.; Flor, T.; Wittke, T-C; Kück, M. et al. (2017): Whole-body vibration training as a workplace-based sports activity for employees with chronic low-back pain. In: *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 27 (12), S. 2027–2039. DOI: 10.1111/sms.12852.
- Kamper, S. J.; Apeldoorn, A. T.; Chiarotto, A.; Smeets, R. J. E. M.; Ostelo, R. W. J. G.; Guzman, J.; van Tulder, M. W. (2014): Multidisciplinary biopsychosocial rehabilitation for chronic low back pain. In: *The Cochrane database of systematic reviews* (9), CD000963. DOI: 10.1002/14651858.CD000963.pub3.
- Katz, R.; Meunier, S.; Pierrot-Deseilligny, E. (1988): Changes in presynaptic inhibition of Ia fibres in man while standing. In: *Brain : a journal of neurology* 111 (Pt 2), S. 417–437. DOI: 10.1093/brain/111.2.417.

- Kendrick, D.; Fielding, K.; Bentley, E.; Kerslake, R.; Miller, P.; Pringle, M. (2001): Radiography of the lumbar spine in primary care patients with low back pain: randomised controlled trial. In: *BMJ (Clinical research ed.)* 322 (7283), S. 400–405. DOI: 10.1136/bmj.322.7283.400.
- Korff, M. von; Ormel, J.; Keefe, F. J.; Dworkin, S. F. (1992): Grading the severity of chronic pain. In: *Pain* 50 (2), S. 133–149. DOI: 10.1016/0304-3959(92)90154-4.
- Korsten, K.; Mornieux G.; Walter, N.; Gollhofer, A. (2008): Gibt es Alternativen zum sensomotorischen Training? In: *Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie»* 56 (4), S. 150–155.
- Lauenroth, A.; Reinhardt, L.; Schulze, S.; Laudner, K. G.; Delank, K-S.; Schwesig, R. (2019): Does low back pain affect the reliability of postural regulation? In: *Somatosensory & motor research* 36 (2), S. 116–121. DOI: 10.1080/08990220.2019.1615427.
- Leboeuf-Yde, C. (2000): Body weight and low back pain. A systematic literature review of 56 journal articles reporting on 65 epidemiologic studies. In: *Spine* 25 (2), S. 226–237. DOI: 10.1097/00007632-200001150-00015.
- Lindgren, K. A.; Sihvonen, T.; Leino, E.; Pitkänen, M.; Manninen, H. (1993): Exercise therapy effects on functional radiographic findings and segmental electromyographic activity in lumbar spine instability. In: *Archives of physical medicine and rehabilitation* 74 (9), S. 933–939.
- Llewellyn, M.; Yang, J. F.; Prochazka, A. (1990): Human H-reflexes are smaller in difficult beam walking than in normal treadmill walking. In: *Experimental brain research* 83 (1), S. 22–28. DOI: 10.1007/bf00232189.
- Mannion, A. F.; Junge, A.; Fairbank, J. C. T.; Dvorak, J.; Grob, D. (2006): Development of a German version of the Oswestry Disability Index. Part 1: cross-cultural adaptation, reliability, and validity. In: *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 15 (1), S. 55–65. DOI: 10.1007/s00586-004-0815-0.
- Marín, P. J.; Rhea, M. R. (2010): Effects of vibration training on muscle power: a meta-analysis. In: *Journal of strength and conditioning research* 24 (3), S. 871–878. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181c7c6f0.
- McCaskey, M. A.; Wirth, B.; Schuster-Amft, C.; Bruin, E. D. de (2018): Postural sensorimotor training versus sham exercise in physiotherapy of patients with chronic non-specific low back pain: An exploratory randomised controlled trial. In: *PLoS one* 13 (3), e0193358. DOI: 10.1371/journal.pone.0193358.
- Mesrian, A.; Neubauer, E.; Pirron, P.; Schiltenswolf, M. (2005): Multimodale Schmerztherapie bei chronischen und chronifizierenden Rückenschmerzen. In: *Manuelle Medizin* 43 (2), S. 85–92. DOI: 10.1007/s00337-005-0341-0.
- Mikó, I.; Szerb, I.; Szerb, A.; Poor, G. (2017): Effectiveness of balance training programme in reducing the frequency of falling in established osteoporotic women: a randomized controlled trial. In: *Clinical rehabilitation* 31 (2), S. 217–224. DOI: 10.1177/0269215516628616.
- Müller, K.; Schwesig, R.; Leuchte, S.; Riede, D. (2001): Koordinationstraining und Lebensqualität - Eine Längsschnittuntersuchung bei Pflegepersonal mit Rückenschmerzen. In: *Gesundheitswesen (Bundesverband der Ärzte des Öffentlichen Gesundheitsdienstes (Germany))* 63 (10), S. 609–618. DOI: 10.1055/s-2001-17872.

- Müller O.; Günther M.; Krauß I.; Horstmann T. (2004): Physikalische Charakterisierung des Therapiegerätes Posturomed als Meßgerät – Vorstellung eines Verfahrens zur Quantifizierung des Balancevermögens. In: *Biomedizinische Technik. Biomedical engineering* 3/2004 (Band 49), S. 56–60.
- Nationale Versorgungs Leitlinie Nicht-spezifischer Kreuzschmerz (2017): – Langfassung, 2. Auflage. Version 1. Unter Mitarbeit von Bundesärztekammer (BÄK), Kassenärztliche Bundesvereinigung (KBV), Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF). [cited: 2020.03.18]. DOI:10.6101/AZQ/000353. www.kreuzschmerz.versorgungsleitlinien.de.
- Nötzel, D.; Puta, C.; Wagner, H.; Anders, C.; Petrovich, A.; Gabriel, H. H. W. (2011): Veränderte Beckenmuskelaktivierung bei Patienten mit chronischem nichtspezifischem Rückenschmerz. In: *Schmerz (Berlin, Germany)* 25 (2), 199-204, 206. DOI: 10.1007/s00482-010-1010-3.
- Otte, C.; Rašev, E. (2010): Posturale Aspekte der Schmerztherapie des Bewegungssystems. In: *Manuelle Medizin* 48 (4), S. 267–274. DOI: 10.1007/s00337-010-0770-2.
- Otte C. (2014): Therapieanleitung-Bioswing Posturomed®. Pullenreuth: HAIDER BIOSWING GmbH.
- Paterno, M. V.; Myer, G. D.; Ford, K. R.; Hewett, T. E. (2004): Neuromuscular training improves single-limb stability in young female athletes. In: *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy* 34 (6), S. 305–316. DOI: 10.2519/jospt.2004.34.6.305.
- Pfingsten, M.; Hildebrandt, J.; Saur, P.; Franz, C.; Seeger, D. (1997): Das Göttinger Rücken Intensiv Programm (GRIP) Ein multimodales Behandlungsprogramm für Patienten mit chronischen Rückenschmerzen, Teil 4. Prognostik und Fazit. In: *Schmerz (Berlin, Germany)* 11 (1), S. 30–41. DOI: 10.1007/s004829700015.
- Rebscher, H.; Marschall, J.; Hildebrandt-Heene, S.; Sydow, H.; Nolting, H-D. (2016): Schwerpunkt: Gender und Gesundheit. Heidelberg: medhochzwei Verlag GmbH (Band 13).
- Riach, C. L.; Hayes, K. C. (1987): Maturation of postural sway in young children. In: *Developmental medicine and child neurology* 29 (5), S. 650–658. DOI: 10.1111/j.1469-8749.1987.tb08507.x.
- Rittweger, J.; Just, K.; Kautzsch, K.; Reeg, P.; Felsenberg, D. (2002): Treatment of chronic lower back pain with lumbar extension and whole-body vibration exercise: a randomized controlled trial. In: *Spine* 27 (17), S. 1829–1834. DOI: 10.1097/00007632-200209010-00003.
- Robert-Koch-Institut (Hrsg.) (2015): Gesundheit in Deutschland. Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Gemeinsam getragen von RKI und Destatis. RKI, Berlin.
- Rothman, M. G.; Ortendahl, M.; Rosenblad, A.; Johansson, A-C. (2013): Improved quality of life, working ability, and patient satisfaction after a pretreatment multimodal assessment method in patients with mixed chronic muscular pain: a randomized-controlled study. In: *The Clinical journal of pain* 29 (3), S. 195–204. DOI: 10.1097/AJP.0b013e318250e544.
- S2k Leitlinie Spezifischer Kreuzschmerz (2018). Unter Mitarbeit von Halder A. Kroppenstedt S. Online verfügbar unter [cited: 2021.03.27] https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/033-051l_S2k_Spezifischer_Kreuzschmerz_2018-02.pdf.
- Schmidt, C. O.; Kohlmann, T.; Pfingsten, M.; Lindena, G.; Marnitz, U.; Pfeifer, K.; Chenot, J. F. (2016): Construct and predictive validity of the German Örebro questionnaire short form for psychosocial risk factor screening of patients with low back pain. In: *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 25 (1), S. 325–332. DOI: 10.1007/s00586-015-4196-3.

- Schmidt, C. O.; Raspe, H.; Pfingsten, M.; Hasenbring, M.; Basler, H. D.; Eich, W.; Kohlmann, T. (2007): Back pain in the German adult population: prevalence, severity, and sociodemographic correlates in a multiregional survey. In: *Spine* 32 (18), S. 2005–2011. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318133fad8.
- Schneider, S.; Mohnen, S. M.; Schiltenswolf, M.; Rau, C. (2007): Comorbidity of low back pain: representative outcomes of a national health study in the Federal Republic of Germany. In: *European journal of pain (London, England)* 11 (4), S. 387–397. DOI: 10.1016/j.ejpain.2006.05.005.
- Schwesig, R.; Becker, S.; Fischer, D. (2014): Intraobserver reliability of posturography in healthy subjects. In: *Somatosensory & motor research* 31 (1), S. 16–22. DOI: 10.3109/08990220.2013.819797.
- Schwesig, R.; Becker, S.; Lauenroth, A.; Kluttig, A.; Leuchte, S.; Esperer, H. D. (2009): Neue posturographische Methode zur Differentialdiagnostik von Patienten mit Morbus Parkinson und Kleinhirnstörungen. In: *Biomedizinische Technik. Biomedical engineering* 54 (6), S. 347–356. DOI: 10.1515/BMT.2009.041.
- Schwesig, R.; Lauenroth, A.; Müller, A.; Becker, S.; Hottenrott, K. (2006a): Parametrisierung posturaler Subsysteme mit Posturografie. In: *Manuelle Medizin* 44 (5), S. 376–384. DOI: 10.1007/s00337-006-0457-x.
- Schwesig, R.; Müller, K.; Becker, S.; Kreuzfeldt, A.; Hottenrott, K. (2006b): Sensomotorisches Training im Alter und bei Osteoporose. In: *Akt Rheumatol* 31 (4), S. 196–203. DOI: 10.1055/s-2006-927049.
- Sihvonen, T.; Partanen, J. (1990): Segmental hypermobility in lumbar spine and entrapment of dorsal rami. In: *Electromyography and clinical neurophysiology* 30 (3), S. 175–180.
- Smith, D.; Bissell, G.; Bruce-Low, S.; Wakefield, C. (2011): The effect of lumbar extension training with and without pelvic stabilization on lumbar strength and low back pain. In: *Journal of back and musculoskeletal rehabilitation* 24 (4), S. 241–249. DOI: 10.3233/BMR-2011-0301.
- Taube, W. (2012): Neuronale Mechanismen der posturalen Kontrolle und der Einfluss von Gleichgewichtstraining. In: *Journal für Neurologie Neurochirurgie und Psychiatrie* 2013 (14 (2)), S. 55–63.
- Taube, W.; Gruber, M.; Gollhofer, A. (2008a): Spinal and supraspinal adaptations associated with balance training and their functional relevance. In: *Acta physiologica (Oxford, England)* 193 (2), S. 101–116. DOI: 10.1111/j.1748-1716.2008.01850.x.
- Taube, W.; Leukel, C.; Gollhofer, A. (2008b): Influence of enhanced visual feedback on postural control and spinal reflex modulation during stance. In: *Experimental brain research* 188 (3), S. 353–361. DOI: 10.1007/s00221-008-1370-4.
- Taube, W.; Schubert, M.; Gruber, M.; Beck, S.; Faist, M.; Gollhofer, A. (2006): Direct corticospinal pathways contribute to neuromuscular control of perturbed stance. In: *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)* 101 (2), S. 420–429. DOI: 10.1152/jappphysiol.01447.2005.
- Tesh, K. M.; Dunn, J. S.; Evans, J. H. (1987): The abdominal muscles and vertebral stability. In: *Spine* 12 (5), S. 501–508. DOI: 10.1097/00007632-198706000-00014.
- Tsao, H.; Hodges, P. W. (2007): Immediate changes in feedforward postural adjustments following voluntary motor training. In: *Experimental brain research* 181 (4), S. 537–546. DOI: 10.1007/s00221-007-0950-z.
- Tsigkanos, C.; Gaskell, L.; Smirniotou, A.; Tsigkanos, G. (2016): Static and dynamic balance deficiencies in chronic low back pain. In: *Journal of back and musculoskeletal rehabilitation* 29 (4), S. 887–893. DOI: 10.3233/BMR-160721.

- van Middelkoop, M.; Rubinstein, S. M.; Kuijpers, T.; Verhagen, A. P.; Ostelo, R.; Koes, B. W.; van Tulder, M. W. (2011): A systematic review on the effectiveness of physical and rehabilitation interventions for chronic non-specific low back pain. In: *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 20 (1), S. 19–39. DOI: 10.1007/s00586-010-1518-3.
- Waterschoot, F. P. C.; Dijkstra, P. U.; Hollak, N.; Vries, H. J. de; Geertzen, J. H. B.; Reneman, M. F. (2014): Dose or content? Effectiveness of pain rehabilitation programs for patients with chronic low back pain: a systematic review. In: *Pain* 155 (1), S. 179–189. DOI: 10.1016/j.pain.2013.10.006.
- Wegener, V.; Rarack, S.; Tiffe, T.; Grill, E.; Melcher, C.; Birkenmaier, C. et al. (2019): Effects of Whole Body Vibration Therapy and Classic Physiotherapy on Postural Stability in People With Back Pain: A Randomized Trial. In: *Clinical spine surgery* 32 (4), E214-E220. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000777.
- Wenig, C. M.; Schmidt, C. O.; Kohlmann, T.; Schweikert, B. (2009): Costs of back pain in Germany. In: *European journal of pain (London, England)* 13 (3), S. 280–286. DOI: 10.1016/j.ejpain.2008.04.005.
- Wilke, C.; Froböse, I. (2003): Quantifizierung propriozeptiver Leistungen von Kniegelenken. In: *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 54 (2), S. 49–54.
- Wilke, H. J.; Wolf, S.; Claes, L. E.; Arand, M.; Wiesend, A. (1995): Stability increase of the lumbar spine with different muscle groups. A biomechanical in vitro study. In: *Spine* 20 (2), S. 192–198. DOI: 10.1097/00007632-199501150-00011.
- Yang, J.; Seo, D. (2015): The effects of whole body vibration on static balance, spinal curvature, pain, and disability of patients with low back pain. In: *Journal of physical therapy science* 27 (3), S. 805–808. DOI: 10.1589/jpts.27.805.

8. Thesen

1. Ein sensomotorisches Training auf dem Galileo® ist, in dem im Rahmen dieser Arbeit beschriebenen Setting, für die Reduktion der schmerzbedingten Beeinträchtigung bei Patienten/-innen mit chronischen Rückenschmerzen einer sensomotorischen Krankengymnastik gleichwertig.
2. Ein sensomotorisches Training auf dem Posturomed® ist für die Reduktion der schmerzbedingten Beeinträchtigung bei Patienten/-innen mit chronischen Rückenschmerzen einer sensomotorischen Krankengymnastik gleichwertig.
3. Es besteht für die Reduktion der schmerzbedingten Beeinträchtigung bei Patienten/-innen mit chronischen Rückenschmerzen kein Unterschied zwischen den sensomotorischen Trainingsformen Galileo® und Posturomed®.
4. Mit keiner der drei sensomotorischen Trainingsformen lässt sich eine Verbesserung des posturalen Stabilität dargestellt durch den Stabilitätsindikator nach der zweiwöchigen Intervention feststellen.
5. Über alle drei sensomotorischen Trainingsformen zeigt sich eine Verbesserung der Insuffizienz des peripher vestibulären Systems.
6. Hinsichtlich der Beurteilung der schmerzbedingten Beeinträchtigung für stationäre Settings ist eine Überarbeitung des ODI notwendig.
7. Hinsichtlich der Posturographie ist die Etablierung einer einheitlichen Messmethodik für die Vergleichbarkeit der einzelnen Studienergebnisse wünschenswert.
8. Im Rahmen der multimodalen Schmerztherapie wird bereits nach zwei Wochen eine Veränderung der Kognitionsstruktur weg von chronifizierungsfördernden, hin zu aktivierenden Einstellungen erreicht.
9. Ein Sensomotorisches Training kann effektiv sowohl personalsparend mithilfe von Trainingsgeräten, als auch simpel ohne Einsatz zusätzlicher Geräte gleichwertig durchgeführt werden.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Chronifizierungsfaktoren nach (Nationale Versorgungs Leitlinie Nicht-spezifischer Kreuzschmerz 2017)	2
Tabelle 2: Graduierung chronischer Schmerzen nach Korff et al.....	3
Tabelle 3: Übungsablauf der Posturographie auf IBS (Schwesig et al. 2009).....	14
Tabelle 4: Parameter des IBS nach Schwesig et al. 2006a, Schwesig et al. 2009.....	14
Tabelle 5: Übungsprogramm der Krankengymnastik-Gruppe	16
Tabelle 6: Übungsprogramm der Galileo®-Gruppe	18
Tabelle 7: Übungsprogramm der Posturomed®-Gruppe	19
Tabelle 8: anthropometrische Daten (Mittelwert mit Standardabweichung und Signifikanzniveau) ...	22
Tabelle 9: Effekte einer zweiwöchigen Intervention mittels der untersuchten sensomotorischen Trainingsformen auf den ODI	25
Tabelle 10: Effekte einer zweiwöchigen Intervention mittels der untersuchten sensomotorischen Trainingsformen auf die Elemente der posturalen Kontrolle	28

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Studienablauf (Flow-Chart).....	11
Abbildung 2: Prozentuale Geschlechterverteilung (gesamt)	21
Abbildung 3: Geschlechterverteilung KG-Gruppe	21
Abbildung 4: Geschlechterverteilung Galileo®-Gruppe	22
Abbildung 5: Geschlechterverteilung Posturomed®-Gruppe.....	22
Abbildung 6: Punktwerte im ODI prä-/postinterventionell.....	24
Abbildung 7: Werte des Stabilitätsindikators prä-/postinterventionell.....	27

Anhang

Fragebogen zur Ihrer Schmerzsituation

(Oswestry-Disability Questionnaire)

Bitte füllen Sie diesen Fragebogen aus. Er soll uns darüber informieren wie Ihre Rücken- (oder Bein-)probleme Ihre Fähigkeit beeinflussen, den Alltag zu bewältigen. Wir bitten Sie jeden Abschnitt zu beantworten. Kreuzen Sie in jedem Abschnitt nur die Aussage an die Sie heute am besten beschreibt.

1. Schmerzstärke

- 0 Ich habe momentan keine Schmerzen
- 1 Die Schmerzen sind momentan sehr schwach.
- 2 Die Schmerzen sind momentan mäßig
- 3 Die Schmerzen sind momentan ziemlich stark.
- 4 Die Schmerzen sind momentan sehr stark.
- 5 Die Schmerzen sind momentan so schlimm wie nur vorstellbar.

2. Körperpflege (Waschen, Anziehen)

- 0 Ich kann meine Körperpflege normal durchführen, ohne dass die Schmerzen dadurch stärker werden.
- 1 Ich kann meine Körperpflege normal durchführen, aber es ist schmerzhaft.
- 2 Meine Körperpflege durchzuführen ist schmerzhaft, und ich bin langsam und vorsichtig.
- 3 Ich brauche bei der Körperpflege etwas Hilfe, bewältige das meiste aber selbst.
- 4 Ich brauche täglich Hilfe bei den meisten Aspekten der Körperpflege.
- 5 Ich kann mich nicht selbst anziehen, wasche mich mit Mühe und bleibe im Bett.

3. Heben

- 0 Ich kann schwere Gegenstände heben, ohne dass die Schmerzen dadurch stärker werden.
- 1 Ich kann schwere Gegenstände heben, aber die Schmerzen werden dadurch stärker.
- 2 Schmerzen hindern mich daran, schwere Gegenstände zu heben, aber es geht wenn sie geeignet stehen (z.B. auf einem Tisch).
- 3 Schmerzen hindern mich daran, schwere Gegenstände zu heben, aber ich kann leichte bis mittelschwere Gegenstände heben, wenn sie geeignet stehen.
- 4 Ich kann nur sehr leichte Gegenstände heben.
- 5 Ich kann überhaupt nichts heben oder tragen.

4. Gehen

- 0 Schmerzen hindern mich nicht daran so weit zu gehen wie ich möchte.
- 1 Schmerzen hindern mich daran, mehr als 1-2 km zu gehen.
- 2 Schmerzen hindern mich daran, mehr als 0,5 km zu gehen.
- 3 Schmerzen hindern mich daran, mehr als 100m zu gehen.
- 4 Ich kann nur mit einem Stock oder Krücken gehen.
- 5 Ich bin die meiste Zeit im Bett und muss mich zur Toilette schleppen.

5. Sitzen

- 0 Ich kann auf jedem Stuhl so lange sitzen wie ich möchte.
- 1 Ich kann auf meinem Lieblingsstuhl so lange sitzen wie ich möchte.
- 2 Schmerzen hindern mich daran länger als 1 Stunde zu sitzen.
- 3 Schmerzen hindern mich daran länger als eine halbe Stunde zu sitzen.
- 4 Schmerzen hindern mich daran länger als 10 Minuten zu sitzen.
- 5 Schmerzen hindern mich daran überhaupt zu sitzen.

6. Stehen

- 0 Ich kann so lange stehen wie ich möchte, ohne dass die Schmerzen dadurch stärker werden.
- 1 Ich kann so lange stehen wie ich möchte, aber die Schmerzen werden dadurch stärker.
- 2 Schmerzen hindern mich daran, länger als 1 Stunde zu stehen.
- 3 Schmerzen hindern mich daran, länger als eine halbe Stunde zu stehen.
- 4 Schmerzen hindern mich daran, länger als 10 Minuten zu stehen.
- 5 Schmerzen hindern mich daran überhaupt zu stehen.

7. Schlafen

- 0 Mein Schlaf ist nie durch Schmerzen gestört.
- 1 Mein Schlaf ist gelegentlich durch Schmerzen gestört.
- 2 Ich schlafe aufgrund von Schmerzen weniger als 6 Stunden.
- 3 Ich schlafe aufgrund von Schmerzen weniger als 4 Stunden.
- 4 Ich schlafe aufgrund von Schmerzen weniger als 2 Stunden.
- 5 Schmerzen hindern mich daran, überhaupt zu schlafen.

8. Sexualleben (falls zutreffend)

- 0 Mein Sexualleben ist normal und die Schmerzen werden dadurch nicht stärker.
- 1 Mein Sexualleben ist normal, aber die Schmerzen werden dadurch stärker.
- 2 Mein Sexualleben ist nahezu normal, aber sehr schmerzhaft.
- 3 Mein Sexualleben ist durch Schmerzen stark eingeschränkt.
- 4 Ich habe aufgrund von Schmerzen fast kein Sexualleben.
- 5 Schmerzen verhindern jegliches Sexualleben.

9. Sozialleben

- 0 Mein Sozialleben ist normal und die Schmerzen werden dadurch nicht stärker.
- 1 Mein Sozialleben ist normal, aber die Schmerzen werden dadurch stärker.
- 2 Schmerzen haben keinen wesentlichen Einfluss auf mein Sozialleben, außer dass sie meine eher aktiven Interessen (z.B. Sport) einschränken.
- 3 Schmerzen schränken mein Sozialleben ein und ich gehe nicht mehr so oft aus.
- 4 Schmerzen schränken mein Sozialleben auf mein Zuhause ein.
- 5 Ich habe aufgrund von Schmerzen kein Sozialleben.

10. Reisen

- 0 Ich kann überall hin reisen und die Schmerzen werden dadurch nicht mehr stärker.
- 1 Ich kann überallhin reisen, aber die Schmerzen werden dadurch stärker.
- 2 Trotz starker Schmerzen kann ich länger als 2 Stunden unterwegs sein.
- 3 Ich kann aufgrund von Schmerzen höchstens 1 Stunde unterwegs sein.
- 4 Ich kann aufgrund von Schmerzen nur kurze notwendige Fahrten unter 30 Minuten machen.
- 5 Schmerzen hindern mich daran, Fahrten zu machen, außer zur medizinischen Behandlung.

Anhang 1: Fragebogen zur Schmerzsituation (Oswestry-Questionnaire-Index) (Mannion et al. 2006)



Anhang 2: Galileo®-Vibrationsplattform



Anhang 3: Posturomed®

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen verwendet habe.

Insbesondere versichere ich, dass ich alle wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen aus anderen Werken als solche kenntlich gemacht habe.

Halle (Saale), den 14.05.2021

Alex Rüger

Erklärung über frühere Promotionsversuche

Ich erkläre, dass ich mich an keiner anderen Hochschule als der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg einem Promotionsverfahren unterzogen bzw. eine Promotion begonnen habe.

Ich versichere, die wissenschaftliche Arbeit an keiner anderen wissenschaftlichen Einrichtung zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht zu haben.

Halle (Saale), den 14.05.2021

Alex Rüger

Danksagung

Zu Beginn möchte ich mich bei meinen Betreuern Frau Prof. Dr. med. Dipl. Mus. Anke Steinmetz und Herrn Prof. Dr. med. Karl-Stefan Delank für die hervorragende Betreuung und Unterstützung bei der Themenfindung, Studienausarbeitung, Rekrutierung der Probanden-/innen sowie Verschriftlichung dieser Promotion vielmals bedanken. Dies alles auch vor dem Hintergrund einiger Unwägbarkeiten in der Umsetzung und der im Verlauf entstandenen räumlichen Entfernung. Des Weiteren möchte ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Universitätsklinik Halle Saale, welche an der MMST beteiligt sind und somit die Betreuung/Beübung und Versorgung der Probanden-/innen gewährleisten haben und auch für alle Patienten/-innen in Zukunft jeden Tag ihr Bestes geben werden, auch im Namen dieser herzlich für ihren Einsatz bedanken. Auch eben jenen Patienten, die sich den im Rahmen dieser Arbeit notwendigen Untersuchungen trotz ihrer Beschwerden und Schmerzen gestellt haben, gilt mein Dank. Weiterhin danke ich Herrn apl. Prof. Dr. phil. Rene Schwesig für seinen unermüdlichen Einsatz zur Unterstützung der posturographischen Messungen und statistischen Auswertung. Auch meinem Kameraden in vielen dunklen, aber auch lichten Stunden dieser Studie Herrn Felix Marchand möchte ich für die gemeinsamen Untersuchungen, Auswertungen und Diskussionen herzlichst danken, auch wenn das ein oder andere Mal die Zweifel oder Resignation Überhand zu gewinnen schienen. Zum Schluss möchte ich mich noch bei all jenen bedanken, die diese Arbeit durch ihre Unterstützung direkter oder indirekterer Natur möglich gemacht haben. Meinen Freunden und meiner Familie, die mich motiviert, wertvolle Ratschläge und Hinweise gegeben und auch für die notwendigen Ablenkungen und Freuden des Lebens gesorgt haben, sodass ich diese Arbeit in der Form überhaupt ausfertigen konnte. Besonders herausheben möchte ich dabei meine größte Stütze und quasi Freundin und Familie in einem: Christiane. Ohne deinen unerschöpflichen Zuspruch, deine unermüdliche Motivation, deine teils auch sehr direkten aber von mir dankend angenommenen Kritiken und einfach deine mein Leben bereichernde und ausfüllende Freundschaft und Liebe würde ich heute nicht stehen wo ich bin. Ich danke dir aus tiefstem Herzen.