
Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf

Institut für Sport- und Bewegungsmedizin e.V.

Universität Hamburg

Prof. Dr. Klaus-Michael Braumann

**Untersuchung des Zusammenhangs von chronisch
unspezifischen Rückenschmerzen der
Lendenwirbelsäule, lumbaler Beweglichkeit und
sensomotorischen Fähigkeiten**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

Vorgelegt von

Jannis Gauerke

aus Hamburg

Hamburg 2016

Angenommen von der

Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 29.07.2016

Veröffentlicht mit Genehmigung der

Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: Prof. Dr. Klaus-Michael Braumann

Prüfungsausschuss, zweite/r Gutachter/in: PD Dr. Timo Beil

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Ziele der Arbeit	2
1.2 Hypothesen	2
2. Wissenschaftlicher Hintergrund	3
2.1 Epidemiologie	3
2.2 Das sensomotorische System	5
2.3 Pathogenese des unspezifischen Rückenschmerzes	7
2.4 Therapie des unspezifischen lumbalen Rückenschmerzes	14
3. Material und Methoden	18
3.1.1 Probanden	18
3.1.2 Versuchsgruppen	18
3.1.3 Ablauf der Probandenakquise	20
3.2 Messverfahren	21
3.2.1 3-D-Ultraschalltopometrie	21
3.2.2 Winkelreproduktionstest	24
3.3 Studienablauf	25
3.3.1 Messung der Beweglichkeit der LWS im Stehen	25
3.3.2 Beweglichkeit der LWS im Vierfüßlerstand und Winkelreproduktionstest	27
3.4 Statistische Methoden	29
4. Ergebnisse	30
4.1 Beweglichkeit der LWS im Stehen	30
4.1.1 Flexion	30
4.1.2 Extension	32
4.1.3 Totaler sagittaler Bewegungsumfang	34
4.1.4 Anteile von Flexion und Extension an der totalen sagittalen ROM	36
4.2 Beweglichkeit der LWS im Vierfüßlerstand	38
4.2.1 Flexion	38

4.2.2	Extension	40
4.2.3	Totaler sagittaler Bewegungsumfang	42
4.2.4	Anteile von Flexion und Extension an der totalen sagittalen ROM	44
4.3	Winkelreproduktionstest im Vierfüßlerstand	46
5.	Diskussion	48
5.1	Methodenkritische Aspekte	48
5.1.1	Probanden	48
5.1.2	Messinstrumente	49
5.1.2.1	3-D-Ultraschalltopometrie	49
5.1.2.2	Winkelreproduktionstest	53
5.2	Diskussion der Ergebnisse	55
5.2.1	Winkelreproduktionsfähigkeit	55
5.2.2	Beweglichkeit der Lendenwirbelsäule	60
5.2.3	Konklusion	67
6.	Zusammenfassung	70
6.1	Zusammenfassung in englischer Sprache	72
7.	Abkürzungsverzeichnis	73
8.	Abbildungsverzeichnis	74
9.	Tabellenverzeichnis	75
10.	Literaturverzeichnis	77
11.	Anhang	95
12.	Danksagung	101
13.	Eidesstattliche Erklärung	102

1. Einleitung

Rückenschmerzen sind weit verbreitet und verursachen hohe Kosten (Bolten et al. 1998, Göbel 2001, Hildebrandt et al. 2005a). Dem Großteil dieser Schmerzen lässt sich keine bestimmte geschädigte anatomische Struktur zuordnen, sie werden als unspezifisch bezeichnet (Statistisches Bundesamt 2012). Über den Mechanismus der Schmerzentstehung gibt es verschiedene Theorien. Ein möglicher Ansatz ist die eingeschränkte Funktionsfähigkeit des sensomotorischen Systems. Als deren Folge ist eine optimale Bewegungskoordination nicht möglich, was zu Fehlbelastungen und Schädigungen der Gelenke führen kann (Freeman und Dean 1965, Ebenbichler 2012). Der Stellungssinn der Lendenwirbelsäule (LWS), als ein Teil des sensomotorischen Systems, war Forschungsgegenstand einiger Studien. Die eingeschränkte Funktion dieses Sinnes konnte mit chronischen lumbalen Rückenschmerzen (CLBP = chronic low back pain) in Verbindung gebracht werden, jedoch gab es diesbezüglich widersprüchliche Ergebnisse (Parkhurst und Burnett 1994, Gill und Callaghan 1998, Newcomer et al. 2000a, O'Sullivan et al. 2003). Des Weiteren assoziieren einige Autoren unspezifische Rückenschmerzen und Veränderungen der lumbalen Beweglichkeit (range of motion = ROM). Auch in dieser Beziehung ist die Forschungslage uneinheitlich (Biering-Sørensen 1984, Burton et al. 1989, Sullivan et al. 1994, Kujala et al. 1997, Johnson et al. 2013).

1.1 Ziele der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, den Zusammenhang von chronisch unspezifischen Rückenschmerzen (NSCLBP = nonspecific chronic low back pain), eingeschränkten sensomotorischen Fähigkeiten und einer verminderten ROM weiter zu untersuchen. Dadurch könnten sich Hinweise auf die Notwendigkeit eines sensomotorischen Trainings in der Rückenschmerztherapie ergeben. Um dies zu untersuchen, wurden Parameter von Probanden mit chronisch unspezifischen Rückenschmerzen mit denen gesunder Probanden verglichen. Mithilfe der 3D-Ultraschalltopometrie erfolgte die Messung der ROM und der Winkelreproduktionsfähigkeit.

1.2 Hypothesen

Aufgrund des bisherigen Forschungsstandes zu NSCLBP, lumbaler Beweglichkeit und sensomotorischen Fähigkeiten wurden folgende Hypothesen formuliert:

1. Patienten mit chronisch unspezifischen Rückenschmerzen weisen eine eingeschränkte Fähigkeit auf, den Winkelreproduktionstest korrekt durchzuführen, was für ein Defizit des Stellungssinns und eine eingeschränkte Funktion des sensomotorischen Systems spricht.
2. Patienten mit chronisch unspezifischen Rückenschmerzen sind im Vergleich zu gesunden Menschen in der Lendenwirbelsäule weniger beweglich.

2. Wissenschaftlicher Hintergrund

2.1 Epidemiologie

Schmerzerkrankungen der Lendenwirbelsäule sind besonders in Deutschland und anderen Industrienationen sehr verbreitet (Statistisches Bundesamt 1998a, Göbel 2001). Unterschieden werden spezifische und unspezifische Rückenschmerzen. Der Anteil spezifischer Rückenschmerzen beträgt 15 bis 20%. Bei den anderen 80 bis 85% ist die Ursache unspezifisch (Statistisches Bundesamt 1998a, Statistisches Bundesamt 1998b, Göbel 2001).

Große Teile der Bevölkerung leiden an Rückenschmerzen. Die Punktprävalenz, also die Anzahl erkrankter Menschen zum Zeitpunkt der Datenerhebung, liegt laut Hildebrandt et al. (2005a) zwischen 30 und 40%. Koes et al. (2006) geben Werte zwischen 12 und 30% in westlichen Ländern an. Die Jahresprävalenz beträgt 60-70%, die Lebenszeitprävalenz zwischen 49 und 85% (Statistisches Bundesamt 1998a, Hildebrandt et al. 2005a, Koes et al. 2006, Statistisches Bundesamt 2012). Das bedeutet, dass bis zu 65 Millionen Menschen in Deutschland mindestens einmal in ihrem Leben an Rückenschmerzen leiden und ein Großteil von ihnen medizinische Behandlung in Anspruch nimmt. Dadurch entstanden im Jahr 2006 Kosten in Höhe von etwa 15 Milliarden Euro. Diese Summe ergibt sich aus direkten Kosten für Arztbesuche, Medikation und Therapien, sowie indirekten Kosten für Krankenhausaufenthalte, Rehabilitation und Folgen von Arbeitsunfähigkeit (Fahland et al. 2012). Etwa 15% aller Arbeitsunfähigkeitstage lassen sich auf Rückenschmerzen zurückführen (Statistisches Bundesamt 1998a). Damit sind Rückenschmerzen der häufigste Grund für Arbeitsunfähigkeit (Fahland et al. 2012). Auch beim Thema Frühberentungen spielen Rückenschmerzen eine wichtige Rolle. Sie galten 2008 als Ursache von 8,5% der Frühberentungen wegen verminderter Erwerbsfähigkeit bei Männern und Frauen. Somit stellen Rückenschmerzen den vierthäufigsten Berentungsgrund dar (Hildebrandt et al. 2005a). Auffällig ist die

höhere Erkrankungsrate bei Frauen, sowohl in der Siebentages-, als auch in der Jahresprävalenz. Als Ursache wird eine Kombination von biologischen und psychosozialen Faktoren vermutet (Hildebrandt et al. 2005a, Schneider et al. 2006, Fahland et al. 2012).

Am häufigsten erkranken Menschen im Alter zwischen 50 und 60 Jahren. Die Jahresprävalenz liegt aber bereits in der Altersgruppe 20-29 Jahre bei etwa 60% und steigt dann nur leicht an. Jenseits des 60. Lebensjahres nimmt die Prävalenz wieder ab (Hildebrandt et al. 2005a).

Obwohl sich der Großteil der Rückenschmerzerkrankungen spontan zurückbildet, kommt es bei einem nicht unerheblichen Teil zur Chronifizierung (Casser 2012, Statistisches Bundesamt 2012). Die Therapie chronischer Schmerzzustände ist erheblich teurer als die akuter Schmerzen. 87,5% akute Fälle verursachen absolut gesehen zwar höhere Kosten, der Anteil der 12,5% chronischen Fälle an den Gesamtkosten liegt jedoch bei etwa einem Drittel (Bolten et al. 1998).

2.2 Das sensomotorische System

„Der Begriff Sensomotorik beschreibt die Summe der Regulations- und Kontrollsysteme, die den aufrechten Stand, Gang und Bewegung ermöglichen“ (Ebenbichler 2012).

Das sensomotorische System ist ein wichtiger Bestandteil der stabilisierenden Strukturen der Lendenwirbelsäule. Durch präzise Modulation der Aktivität der Rückenmuskulatur kann die Wirbelsäule optimal auf äußere Einflüsse, wie das Tragen von Lasten, reagieren. Kommt es zu einer Funktionsstörung des sensomotorischen Systems, kann dies eine Schädigung der Lendenwirbelsäule zur Folge haben (Panjabi 1992a).

Das sensomotorische System ist komplex und umfasst verschiedene Ebenen des Nerven-, Muskel- und Skelettsystems. Die Planung und Vorbereitung von Bewegungen findet im motorischen Cortex des zentralen Nervensystems (ZNS) statt. Von dort kommen Signale, die zur Muskelaktivierung führen. Dieser Prozess wird als Motorik bezeichnet. Der menschliche Körper steht unter ständigem Einfluss von äußeren Faktoren wie z.B. beim Gang auf unebenem Boden. Um sich trotz dieser sich verändernden Umstände sicher bewegen zu können, ist es notwendig, Bewegungsplanung und -ausführung ständig zu modifizieren. Die Signale für diese Modifikation kommen vom sensorischen System. Hierzu zählen verschiedene Nozizeptoren, wie Sehnenrezeptoren und Muskelspindeln, deren Reiz die Längendehnung der Muskulatur ist. Neben diesen beiden Hauptgruppen von Rezeptoren gibt es zahlreiche freie Nervenendigungen und andere Mechanorezeptoren in tief liegenden Geweben, welche unter anderem an der Schmerzempfindung und dem Vibrations- oder Druckempfinden beteiligt sind (Klinke et al. 2005).

Das Zusammenspiel der motorischen und sensorischen Systeme wird als Sensomotorik bezeichnet (Riemann und Lephart 2002b, Klinke et al. 2005).

Die Begriffe „Sensomotorik“ und „Propriozeption“ werden häufig synonym verwendet oder verwechselt. Die Bezeichnung „sensomotorisches System“ stellt einen Überbegriff dar; „Propriozeption“ wird als Teil dieses übergeordneten Systems beschrieben (Riemann und Lephart 2002a).

Die Verwendung der Bezeichnung „Propriozeption“ ist insofern problematisch, als dass sich die Definitionen unterscheiden. Die erste Definition stammt von Sherrington (1906). Nach ihm ist Propriozeption ein Sammelbegriff für die afferenten Informationen, die von Rezeptoren eines bestimmten propriozeptiven Feldes stammen.

Laut dem Großteil der Autoren umfasst der Begriff Propriozeption den Gelenkstellungssinn, den Kraftsinn und den Bewegungssinn (Kinästhesie) (O’Sullivan et al. 2003, Deetjen et al. 2005, Klinker et al. 2005). Klinker und Mitarbeiter (2005) bezeichnen die Propriozeption auch als Tiefensensibilität, da sie nur tiefliegende und keine Hautrezeptoren einschließen. Im Gegensatz hierzu beschreiben Deetjen et al. (2005) zudem eine kutane Propriozeption, da oberflächliche Rezeptoren auch zur Tiefensensibilität beitragen. Auch Lephart et al. (1997) zählen Hautrezeptoren zum propriozeptiven System. Ihre Definition umfasst nur den Gelenkstellungssinn und die Kinästhesie.

Aufgrund der begrifflichen Unschärfe wird in dieser Arbeit von sensomotorischen und nicht von propriozeptiven Fähigkeiten gesprochen.

Der Stellungssinn wurde bereits von einigen Autoren im Zusammenhang mit LBP untersucht (Gill und Callaghan 1998, Lam et al. 1999, Brumagne et al. 2000, O’Sullivan et al. 2003, Sheeran et al. 2012, Astfalck et al. 2013, O’Sullivan et al. 2013). Zur Beurteilung dieses Sinns kann ein Winkelreproduktionstest verwendet werden. Hierbei wird dem Probanden eine bestimmte Körperposition vorgegeben, welche dieser sich einprägen und in der Folge wieder einnehmen soll. Gemessen wird die Abweichung von der vorgegebenen Position.

2.3 Pathogenese des unspezifischen Rückenschmerzes

Rückenschmerzen werden anhand unterschiedlicher Kriterien kategorisiert. Die Einteilung in spezifisch und unspezifisch erfolgt nach der Entstehungsursache. Teilt man nach zeitlichen Aspekten ein, unterscheidet man akute, subakute und chronische Rückenschmerzen.

Die Definitionen für die Einteilung von Rückenschmerzen nach einem zeitlichen Aspekt unterscheiden sich nur in Details. Frank (1993) teilt in akut (0-7 Tage), subakut (7 Tage bis 3 Monate) und chronisch (mehr als 3 Monate) ein. Kovacs et al. (2005) unterteilen nach akut (kürzer als 3 Monate) und chronisch (länger als 3 Monate). Diese Autoren unterscheiden zwischen akut und subakut, nennen jedoch keine konkrete Dauer. Subakute Rückenschmerzen seien Patienten erkrankt, bei denen das Risiko einer Chronifizierung erhöht ist (Kovacs et al. 2005). Laut Hildebrandt et al. (2005a) sind Schmerzen chronisch, wenn sie trotz Therapie mehr als 3 Monate bestehen. Pennekamp (2009) definiert Rückenschmerzen als chronisch, wenn sie an mehr als der Hälfte der Tage eines Jahres vorliegen. Göbel (2001) spricht ab einer Dauer von 7-12 Wochen von chronischen Schmerzen.

Als spezifisch werden Rückenschmerzen bezeichnet, denen sich eine erkennbar geschädigte anatomische Struktur oder ein anderer pathologischer Prozess zuordnen lässt. Desweiteren werden mechanische und nicht-mechanische Ursachen unterschieden. Zu den spezifischen nichtmechanischen Ursachen zählen Entzündungen, Primärtumoren und Metastasen, Infektionen sowie rheumatische Arthritiden. Bei spezifischen mechanischen Rückenschmerzen stellen Frakturen, Osteoporose, Bandscheibenvorfälle, Spinalkanalstenosen und Wirbelgleiten häufige Ursachen dar. Da bei spezifischen Rückenschmerzen die Ursache eindeutig zu benennen ist, gibt es in den meisten Fällen adäquate Therapien, mit denen man einem Großteil der Patienten helfen kann. Ihr Anteil an allen Rückenschmerzfällen beträgt jedoch

nur 15-20% (Statistisches Bundesamt 1998a). Die anderen 80-85% gehören zur Kategorie der unspezifischen Rückenschmerzen (Deyo et al 1992, Statistisches Bundesamt 1998a). Die Definition des unspezifischen Rückenschmerzes besagt, dass ihm keine geschädigte anatomische Struktur oder ein anderer pathologischer Prozess zugeordnet werden kann (Göbel 2001).

Patienten mit unspezifischen Rückenschmerzen leiden häufig auch unter anderen Beschwerden. Dazu gehören unter anderem Schmerzen in anderen Körperregionen, Abgeschlagenheit, Schwindel, Herzbeschwerden, Störungen des seelischen Befindens und sozialer Rückzug. Es kann also vermutet werden, dass die Ursache unspezifischer Rückenschmerzen nicht ausschließlich im Rücken liegt (Statistisches Bundesamt 1998a).

Die Grundlage der Schmerzentstehung liegt in der Reizung von Schmerzrezeptoren (Nozizeptoren), welche in fast jedem Körpergewebe vorkommen. Folglich kann die Ursache für Rückenschmerzen in verschiedenen Geweben liegen, beispielsweise in Muskeln, Bändern, Sehnen, Gelenkkapseln oder dem Periost (Schmidt 2013).

Mense (2005) beschreibt vier mögliche Entstehungsansätze für unspezifischen Rückenschmerz. Die erste Theorie beschreibt Veränderungen in Muskeln, Sehnen, Bandscheiben und Gelenkkapseln, die dazu führen, dass dort vorhandene Nozizeptoren erregt werden und so Schmerzen in dem betroffenen Gewebe entstehen, welche auch in andere Körperregionen ausstrahlen können. Seine zweite These lautet, dass durch krankhafte Zustände der Facettengelenke oder der Bandscheibe dort lokalisierte Nozizeptoren ein großes Reizangebot an die umgebende Muskulatur abgeben. Das kann zu einer permanenten Tonussteigerung der Muskulatur führen, wodurch diese nicht ausreichend mit Blut versorgt wird. Durch diesen ischämischen Zustand werden Nozizeptoren im Muskel erregt. Diese Erregung kann wiederum zu Rückenschmerzen führen. Eine dritte Möglichkeit ist die des übertragenen

Schmerzes. Hier liegt die Schmerzursache in einem anderen Organ, führt aber aufgrund komplexer Innervation dazu, dass der Schmerz im Rücken empfunden wird. Die vierte Theorie stützt sich auf das Konzept des zentralen Schmerzes. Durch Fehlregulierung von schmerzhemmenden Substanzen im zentralen Nervensystem kommt es zu einer Schmerzempfindung, obwohl die Nozizeptoren im Rücken nicht erregt werden (Mense 2005).

Laut Panjabi (1992a) gibt es drei Systeme, die für die Aufrechterhaltung der Wirbelsäulenstabilität und somit zur Vermeidung von Schmerzerkrankungen verantwortlich sind:

- das passive muskuloskelettale System, wozu die Wirbelkörper, die Bandscheiben und ligamentäre Strukturen zählen,
- das aktive muskuloskelettale System, zu welchem Muskeln und Sehnen gehören, sowie
- das sensomotorische System (s. Kapitel 2.2).

Kommt es zu einer Funktionsstörung oben beschriebener Systeme, kann dies eine Schädigung der anatomischen Strukturen der Wirbelsäule bedingen. Als Folge können Schmerzen entstehen und die Wirbelsäulenbeweglichkeit eingeschränkt werden (Pearcy et al. 1985, Dvořak et al. 1991, Panjabi 1992a, Kujala et al. 1997). Eine Übersicht über das Ausmaß lumbaler Beweglichkeit gesunder Menschen im Stehen findet sich in Tabelle 1.

Tabelle 1: Bewegungsausmaß (ROM) der Lendenwirbelsäule. Angaben verschiedener Autoren.

ROM	Flexion [°]	Extension [°]
Fitzgerald et al. (1983)	keine Angabe	24,9-42,7
Dvořak et al. (1995)	58-63,4	20,2-24,4
McGregor et al. (1995)	54,6-60,2	18,3-26,3
Ng et al. (2001)	52	19
Küster (2003)	65,4	13,3
Schünke et al. (2006)	50	35

Pearcy et al. (1985) konnten durch dreidimensionale Röntgenanalysen eine lumbale Minderbeweglichkeit bei männlichen Patienten mit Lendenwirbelsäulenschmerzen im Alter von 25-36 Jahren zeigen. Auch Kujala et al. (1997) wiesen einen Zusammenhang zwischen einer verminderten lumbalen Beweglichkeit und dem Auftreten von lumbalen Rückenschmerzen nach. Sie untersuchten 99 jugendliche Probanden, welche teilweise unter LBP litten. Dvořak et al. (1991) untersuchten 101 Patienten mit LBP und zeigten eine signifikante Einschränkung der Lendenwirbelsäulenbeweglichkeit.

Neben Studien, die eine verringerte lumbale Beweglichkeit mit LBP in Zusammenhang bringen konnten, gibt es auch solche, die eine Kausalität zwischen LBP und einer vergrößerten Lendenwirbelsäulenbeweglichkeit zeigen konnten (Biering-Sørensen 1984).

Burton et al. (1989) identifizierten sowohl eine verminderte, als auch eine vergrößerte lumbale Beweglichkeit als Risikofaktoren für das Auftreten von LBP. Johnson et al. (2013) fanden heraus, dass es keinen Zusammenhang von ROM-Veränderungen und Rückenschmerzen gibt.

Um den Zusammenhang von Veränderungen der lumbalen Beweglichkeit und dem Auftreten von LBP weiter zu untersuchen, wurden in dieser Arbeit Beweglichkeitsmessungen der Lendenwirbelsäule durchgeführt.

Der komplette Bewegungsumfang wird im Englischen als „range of motion“ bezeichnet und ROM abgekürzt. Die Verwendung dieser Abkürzung ist in der Literatur gängig und wird deswegen auch hier verwendet. Panjabi (1992b) unterteilt die ROM in eine Neutralzone und eine elastische Zone. Innerhalb der Neutralzone befindet sich die Neutralposition, in welcher muskuläre und ligamentäre Strukturen entspannt sind und ein minimaler Kraftaufwand notwendig ist, um die Position zu halten. Die Neutralzone wird um die Neutralposition herum gebildet und ist durch hohe Flexibilität gekennzeichnet, wogegen die elastische Zone sich an den Endpunkten des Bewegungsumfangs befindet und durch eine hohe Steifigkeit auszeichnet.

Laut Adams und Dolan (2012) können umliegende Strukturen wie Bänder, Gelenkkapseln oder Bandscheiben durch exzessive, das heißt über das physiologische Ausmaß hinausgehende Bewegungen der LWS geschädigt werden. Diese Schädigung kann wiederum zu Schmerzen führen. Bei gesunden Menschen werden exzessive Bewegungen durch Dehnungsreize von Rezeptoren des sensomotorischen Systems und nachfolgender Aktivierung der antagonistischen Muskulatur verhindert (Solomonow et al. 1998). Bei Beeinträchtigung des sensomotorischen Systems, zum Beispiel durch Entzündung, Verletzung oder Verschleiß, kann die Wahrnehmungsschwelle beteiligter Rezeptoren beeinflusst werden. Dies kann zur Abschwächung oder zum Ausfall des oben beschriebenen Schutzmechanismus und dadurch zu übermäßigen Bewegungsausmaßen führen (Ebenbichler 2012).

Parkhurst und Burnett (1994) beschreiben Gelenkinstabilitäten infolge von Fehlbelastungen als Schmerzursache. Da die Wirbelsäule sehr hohen Kräften ausgesetzt wird, ist sie besonders gefährdet, Verletzungen zu erleiden (Chaffin

und Anderson 1984). Dies kann eine Einschränkung der sensomotorischen Fähigkeiten zur Folge haben, wodurch eine optimale Bewegungskoordination nicht mehr gewährleistet ist (Freeman und Dean 1965). Die daraus resultierende Instabilität der betroffenen Gelenke führt zu Fehlbelastungen und degenerativen Veränderungen (Kirkaldy-Willis 1985).

Verschiedene Autoren konnten die Entstehung chronischer lumbaler Rückenschmerzen mit sensomotorischen Defiziten in Verbindung bringen (Parkhurst und Burnett 1994, Gill und Callaghan 1998, Brumagne et al. 2000, Newcomer et al. 2000a, O'Sullivan et al. 2003, Sheeran et al. 2012, Astfalck et al. 2013, O'Sullivan et al. 2013).

Parkhurst und Burnett (1994) untersuchten den Stellungssinn und den Bewegungssinn bei 88 männlichen Mitarbeitern der Feuerwehr und des Rettungsdienstes. Hierbei konnten sie eingeschränkte sensomotorische Fähigkeiten bei Probanden mit LBP zeigen. Gill und Callaghan (1998) verglichen den Stellungssinn gesunder Probanden und solcher mit LBP. Sie konnten zeigen, dass die Probanden mit LBP nicht in der Lage waren, einen vorgegebenen Winkel so exakt wie die gesunden Probanden der Kontrollgruppe zu reproduzieren. In der Arbeit von Brumagne et al. (2000) wurde die Rolle von Muskelspindeln, als Rezeptoren des sensomotorischen Systems, in der Entstehung von LBP untersucht. Die Probanden wurden während der Messungen teilweise Vibrationen ausgesetzt, womit Muskelspindeln erregt werden sollten. Die Autoren konnten auf diese Weise eine Einschränkung des Stellungssinns zeigen und vermuten eine Funktionsstörung der Muskelspindeln als Ursache. Newcomer et al. (2000a) verglichen ebenfalls gesunde und rüchenschmerzerkrankte Probanden bezüglich ihrer sensomotorischen Fähigkeiten. Hierbei wichen die Probanden mit LBP bei der Reproduktionsmessung in Flexion weiter von einem vorgegebenen Winkel ab als die Kontrollgruppe. In Extension zeigte sich jedoch ein umgekehrtes Bild. Die Autoren vermuten eine schmerzbedingte Aktivitätserhöhung von

Mechanorezeptoren in den Facettengelenken der Lendenwirbelsäule als Ursache für die verbesserte Winkelreproduktionsfähigkeit der LBP-Probanden in Extension.

Auch im Rahmen der Arbeiten von O'Sullivan et al. (2003), Sheeran et al. (2012), Astfalck et al. (2013) und O'Sullivan et al. (2013) wurden Winkelreproduktionstests zur Beurteilung der Funktionsminderung des Stellungssinns bei CLBP-Patienten durchgeführt. Alle diese Studien konnten signifikante Defizite der Winkelreproduktionsfähigkeit bei Rückenschmerzpatienten zeigen. Andere Studien zeigten keine Einschränkung sensorischer Fähigkeiten bei CLBP-Patienten (Lam et al. 1999, Newcomer et al. 2000b, Koumantakis et al. 2002, Åsell et al. 2006).

Es gibt Faktoren, die das Auftreten von Rückenschmerzen begünstigen. Hierzu zählen das weibliche Geschlecht (Kohlmann 2003), ein Alter zwischen 50 und 60 Jahren (Hildebrandt et al. 2005a), langes Sitzen (Pope et al. 2002) sowie die Exposition gegenüber Ganzkörpervibration und das Tragen schwerer Gegenstände (Palmer et al. 2002).

Zudem gibt es Risikofaktoren für die Chronifizierung unspezifischer Rückenschmerzen. Mangelnde körperliche Fitness kann zur Chronifizierung beitragen. Ein guter Trainingszustand trägt zwar nicht zur Vermeidung akuter Schmerzzustände bei, kann jedoch protektiv wirken, um eine Chronifizierung zu vermeiden (Sjölie und Ljunggren 2001). Zudem wurden psychologische Faktoren wie Stress (Truchon 2001) und Unzufriedenheit am Arbeitsplatz (Hoogendoorn et al. 2002) als Risikofaktoren für das Auftreten chronischer Rückenschmerzen identifiziert.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Entstehung des chronisch unspezifischen Rückenschmerzes meist multifaktorieller Genese ist (Pfingsten 2009).

2.4 Therapie des unspezifischen lumbalen Rückenschmerzes

In den letzten zwei Jahrzehnten hat sich der Behandlungsansatz unspezifischer lumbaler Rückenschmerzen verändert. Früher stand die körperliche Schonung im Vordergrund, wohingegen nach aktueller Empfehlung eher zur Beibehaltung körperlicher Aktivitäten, beziehungsweise deren kontrollierter Intensivierung geraten wird (Schröder et al. 2013). Der Einsatz von Analgetika sollte begrenzt und nach Zeitschema erfolgen. Zusätzlich sind die Verhaltensberatung und die Berücksichtigung psychosozialer Faktoren in den Fokus gerückt (Pfungsten 2009).

Die Therapie des Rückenschmerzes unterscheidet sich, je nachdem, ob es sich um akute oder chronische Schmerzen handelt.

Akute Rückenschmerzen sind oft innerhalb kurzer Zeit selbstlimitierend und sprechen gut auf Behandlung an. Allgemein akzeptierte Maßnahmen sind körperliche Aktivität, die Gabe von nichtsteroidalen Antirheumatika, sowie Paracetamol, Aufklärung des Patienten über sein Krankheitsbild und manuelle Therapie (van Tulder und Koes 2006, Dagenais et al. 2010, Balagué et al. 2012).

Seit 2004 gibt es eine europäische Leitlinie zum Umgang mit chronisch unspezifischen Rückenschmerzen (Airaksinen et al. 2004). 2010 folgte eine nationale Versorgungsleitlinie der Bundesärztekammer zum Thema Kreuzschmerz (Bundesärztekammer 2010).

Bewegung und Bewegungstherapie sind zentrale Empfehlungen beider Leitlinien. Unter Bewegungstherapie verstehen die Autoren Programme, im Rahmen welcher die Teilnehmer freiwillig, unter Aufsicht und nach Anordnung, wiederholt dynamische Bewegungen oder statische Muskelkontraktionen durchführen (Hildebrandt et al. 2005b). Wichtig ist hierbei der systematische

und stufenförmige, das heißt belastungssteigernde Therapieaufbau (Bundesärztekammer 2010).

Der Einsatz von Medikamenten zur Unterstützung von Bewegungstherapie wird grundsätzlich empfohlen. Nichtopioide Analgetika, wie nichtsteroidale Antirheumatika und Paracetamol dienen der Schmerzbekämpfung bei akuten Schüben und sollten, aufgrund der Nebenwirkungen, nicht länger als drei Monate eingesetzt werden (Airaksinen et al. 2004, Bundesärztekammer 2010).

Falls durch nichtopioide Schmerzmittel keine zufriedenstellende Schmerzreduktion erreicht wird, können in Ausnahmefällen leichte Opioid-Analgetika verschrieben werden. Dies sollte jedoch nur nach festem Zeitschema und unter Überwachung der Einnahme erfolgen (Airaksinen et al. 2004, Balagué et al. 2012, Bundesärztekammer 2010). Obwohl die transdermale Applikation von Opioiden bei Patienten mit spezifischer Schmerzursache gut wirksam ist, zeigt sich bei solchen mit unspezifischen Rückenschmerzen keine deutliche Schmerzlinderung (Ohtori et al. 2012).

Schmerzstillende Antidepressiva sind laut Leitlinien gut wirksam, haben jedoch weitreichende Nebenwirkungen und sollten daher nur mit Zurückhaltung angewendet werden (Airaksinen et al. 2004). White et al. (2011) fanden heraus, dass Antidepressiva gegenüber Placebo keinen entscheidenden Vorteil haben und empfehlen diese daher nicht.

Ähnlich vorsichtig sollten Muskelrelaxantien, insbesondere Benzodiazepine, angewendet werden. Die erheblichen Nebenwirkungen beschränken die Anwendungsdauer auf höchstens zwei Wochen. Die intravenöse oder intrakutane Gabe von Schmerzmitteln oder Glucocorticoiden sollte bei der Therapie des chronisch unspezifischen Rückenschmerzes nicht zur Anwendung kommen (Airaksinen et al. 2004, Bundesärztekammer 2010).

Indikationen für eine chirurgische Therapie können nur sehr selten gestellt werden, da es keine identifizierbare Schmerzursache gibt. In beiden Leitlinien wird die chirurgische Therapie nicht empfohlen. Trotzdem hat es in den letzten Jahren einen Anstieg der Operationszahlen bei Patienten mit unspezifischen Rückenschmerzen gegeben (Balagué et al. 2012). Dies kann mit verbesserten diagnostischen Möglichkeiten und deren häufigerem Einsatz zusammenhängen. Jedoch muss eine im bildgebenden Verfahren gefundene Pathologie nicht zwingend auch die Ursache für den Rückenschmerz sein (Endean et al. 2011). An diesem Punkt ist auch zu diskutieren, ob es sich noch um unspezifische Schmerzen handelt, wenn die Schmerzursache identifiziert werden kann.

Akupunktur, Massagen, Wärmetherapie, Elektrotherapie, sowie das Tragen von Orthesen werden von den Leitlinien nicht empfohlen (Airaksinen et al. 2004, Bundesärztekammer 2010). Kamali et al. (2014) konnten jedoch eine gute Wirksamkeit von Massagen bei chronisch unspezifischen Rückenschmerzen zeigen. Ein Cochrane-Review aus dem Jahr 2015 konnte nur kurzfristige positive Effekte einer Massagetherapie bei Rückenschmerzpatienten zeigen (Furlan et al. 2015).

Neben den in den Leitlinien empfohlenen Therapien, gibt es Hinweise, dass die Stärkung sensomotorischer Fähigkeiten bei Patienten mit CLBP zur Besserung der Symptomatik führt. Perich et al. (2011) konnten dies bei einer Untersuchung an jugendlichen Ruderinnen zeigen. Schröder et al. (2013) nennen sensomotorisches Training, wie das Sling-Exercise-Therapy-Konzept, als sinnvolle Maßnahme bei Patienten mit chronisch unspezifischen Rückenschmerzen. Hierbei wird besonders die tiefliegende, autochthone Rumpfmuskulatur gestärkt. Del Pozo-Cruz und Mitarbeiter (2011) behandelten NSCLBP-Patienten mit Vibration und zeigten eine Schmerzreduktion und eine Verbesserung der lumbalen Stabilität. McCaskey et al. (2014) konnten keinen Behandlungsvorteil sensomotorischer Therapiemethoden nachweisen.

Die Wirksamkeit osteopathischer Behandlungen in der Therapie chronisch unspezifischer Rückenschmerzen wurde von mehreren Autoren untersucht. Franke et al. (2014) führten eine Metaanalyse von 15 Studien zu diesem Thema durch und fanden heraus, dass Osteopathie eine gute Wirksamkeit bezüglich Schmerzreduktion und der Verbesserung funktioneller Fähigkeiten aufweist. Eine Literaturrecherche von Orrock und Myers (2013) konnte keine Überlegenheit von osteopathischen gegenüber physiotherapeutischen Behandlungen zeigen.

Natour et al. (2015) belegten die Wirksamkeit der Pilates-Methode in der Behandlung chronisch unspezifischer Rückenschmerzen. Einige Autoren konnten bessere Behandlungserfolge im Vergleich zu herkömmlicher Physiotherapie zeigen (Wells et al. 2014, Patti et al. 2015). Yamato et al. (2015) konnten diese Überlegenheit nicht nachweisen.

Da die Entstehung des chronisch unspezifischen Rückenschmerzes multifaktoriell ist, sollte auch der Therapieansatz multimodal sein und verhaltenstherapeutische Methoden einschließen (Pfungsten 2009). Gerade Rückenschmerzformen, bei denen andere Therapieformen versagen, sollten mit einem sinnvollen, interdisziplinären Gesamtkonzept behandelt werden (Balagué et al. 2012).

3. Material und Methoden

3.1.1 Probandenanzahl

Eine Power-Analyse mit einem Power-Wert von 90 und einem geschätzten Unterschied von 30% der Probanden mit Rückenschmerzen und den gesunden Probanden in Bezug auf das Ausmaß der Lendenwirbelsäulenflexion im Stehen ergab eine Probandenanzahl von 38. Bei einer angenommenen Drop-out-Quote von 5% wurden somit 40 Probanden in die Studie eingeschlossen (Lachin 1981).

3.1.2 Versuchsgruppen

Die Probanden wurden auf zwei Gruppen zu jeweils 20 Probanden aufgeteilt (siehe Abbildung 3). Die Probanden der NSCLBP-Gruppe litten unter chronisch unspezifischen Schmerzen der LWS, die anderen Probanden waren Teil der Kontrollgruppe und gaben keine Rückenschmerzen an. Die Ein- und Ausschlusskriterien für beide Gruppen sind in den Tabellen 2 und 3 dargestellt.

Tabelle 2: Ein- und Ausschlusskriterien der NSCLBP-Gruppe

Einschlusskriterien

Frauen und Männer im Alter zwischen 30 und 60 Jahren
Schmerzen im Bereich der LWS mit oder ohne Ausstrahlung und ohne neurologische Defizite
Schmerzen bestehen seit mehr als 6 Monaten

Ausschlusskriterien

Schmerzintensität $\geq 6/10$ auf der Numerischen Ratingskala zum Zeitpunkt der Messung
Gesicherte spezifische Schmerzursache
Operationen an der Wirbelsäule
Body-Mass-Index $> 30 \text{ kg/m}^2$
Akute oder chronische internistische oder orthopädische Erkrankungen

Tabelle 3: Ein- und Ausschlusskriterien der Kontrollgruppe

Einschlusskriterien

Frauen und Männer im Alter zwischen 30 und 60 Jahren

Ausschlusskriterien

Schmerzen im Bereich der LWS in den letzten 10 Jahren

Operationen an der Wirbelsäule

Body-Mass-Index > 30 kg/m²

Akute oder chronische internistische oder orthopädische Erkrankungen

Es erfolgte ein Matching der Probanden beider Gruppen bezüglich des Alters, der Körpergröße, des Körpergewichts und des Body-Mass-Index. Tabelle 4 bietet eine Übersicht über die anthropometrischen Daten der einzelnen Gruppen.

Tabelle 4: Darstellung der anthropometrischen Daten aller Probanden. Angegeben sind jeweils der Mittelwert und die Standardabweichung.

	NSCLBP n=20	Kontrolle n=20
Alter [Jahre]	48,2 ±7,6	47,35 ±6,4
Körpergröße [cm]	176,35 ±10,6	176,65 ±9,4
Gewicht [kg]	72,85 ±11,5	72,23 ±10,2
BMI [kg/m ²]	23,3 ±2,7	23,1 ±2,3

3.1.3 Ablauf der Probandenakquise

Die Probanden wurden in Physiotherapiepraxen und über Aushänge zur Teilnahme an den Messungen motiviert. Nachdem die möglichen Probanden ihr Interesse zur Teilnahme signalisiert hatten, wurden sie im Hinblick auf die Ein- und Ausschlusskriterien befragt und untersucht. Die Probanden wurden ausführlich über Ablauf und Ziel der Studie aufgeklärt. Bei fortbestehendem Interesse an einer Teilnahme wurde ein Termin zur Messung vereinbart (siehe Abbildung 1).

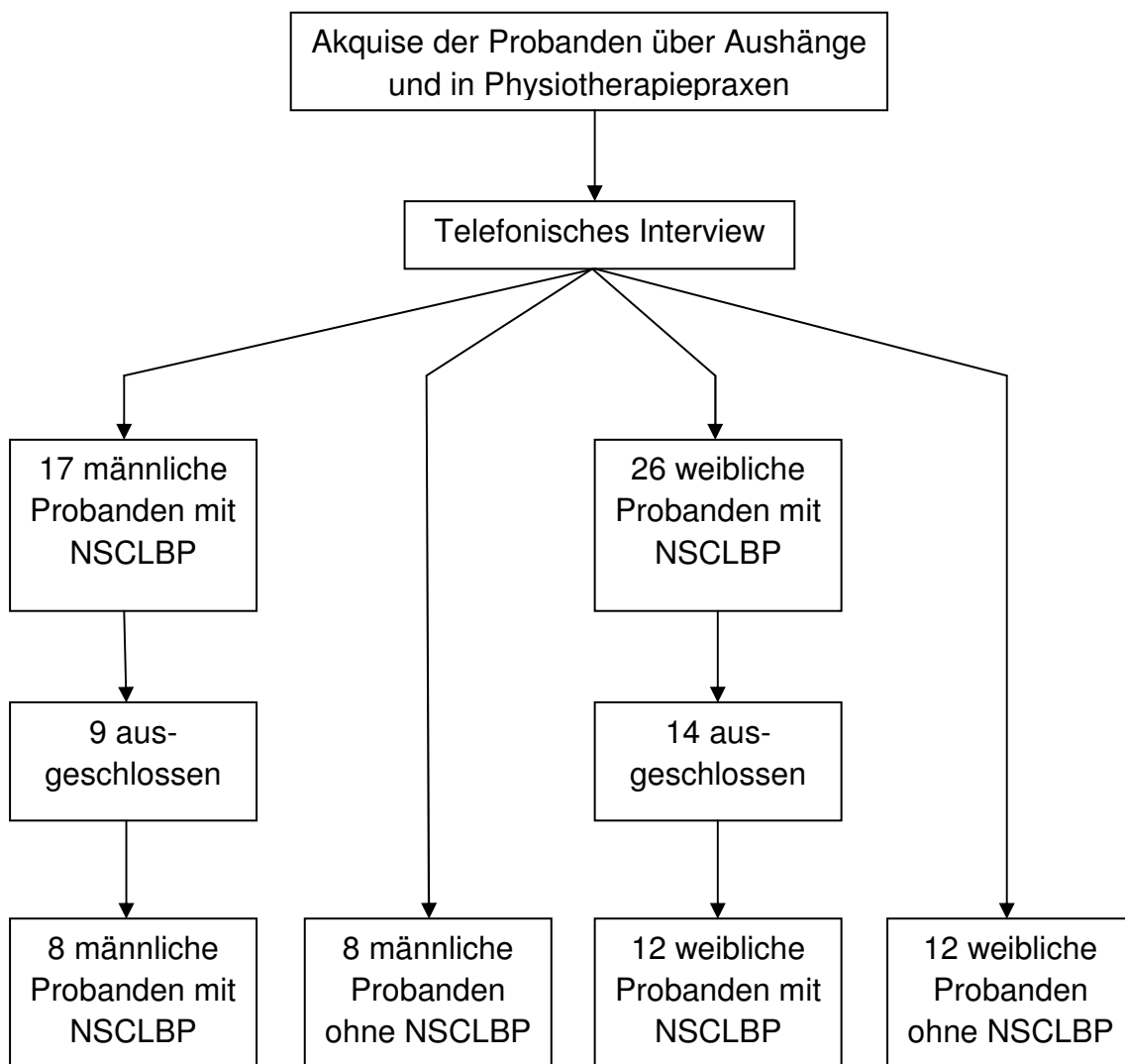


Abbildung 1: Flussdiagramm: Akquise der Probanden

3.2 Messverfahren

3.2.1 3-D-Ultraschalltopometrie

Zur Quantifizierung der lumbalen Bewegung wurde das Prinzip der dreidimensionalen Ultraschalltopometrie genutzt (Vogt und Banzer 1997, Schreiber et al. 1998, Asamoah et al. 2000, Dvir und Prushansky 2000, Portscher et al. 2000). Die Methode basiert auf der Laufzeitmessung von Ultraschallwellen und ermöglicht die Messung der Wirbelsäulenbeweglichkeit (Dvir und Prushansky 2000). Im Rahmen dieser Arbeit wurde das Gerät CMS-HS der Firma „zebris medical“ genutzt. Dieses besteht aus einer Sendeeinheit, zwei Dreifachmarkern mit jeweils drei Mikrofonen, sowie einem Grundgerät, über welches das System mit einem Computer verbunden ist (Asamoah et al. 2000) (siehe Abbildung 2).

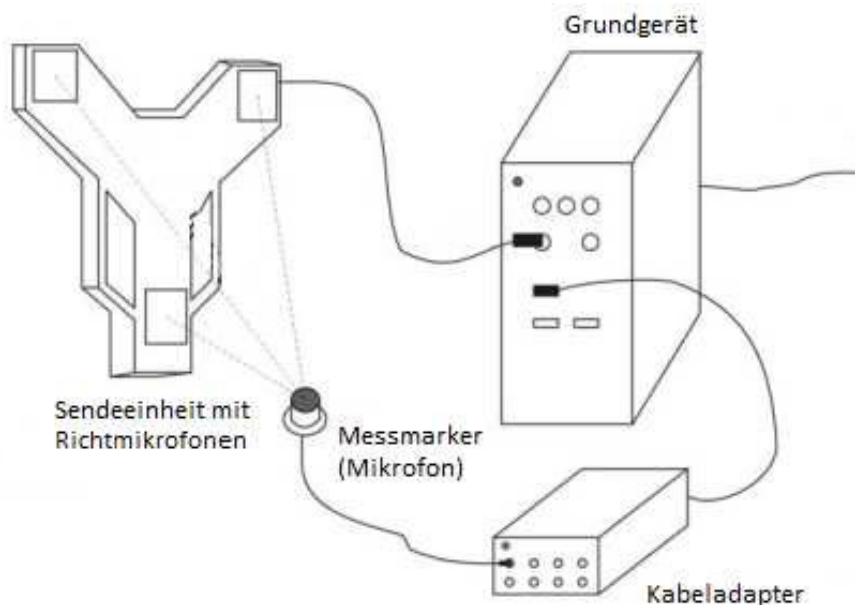


Abbildung 2: Aufbau des CMS-HS-Gerätes. Darstellung modifiziert nach Vogt und Banzer (1997)

Die Sendeeinheit enthält drei Richtmikrofone, welche mit einer Frequenz von bis zu 100 Hz arbeiten (Dalichau und Scheele 2000). Die von den Richtmikrofonen gesendeten Ultraschallimpulse werden von den sechs

Mikrofonen der am Probanden befestigten Dreifachmarker erfasst und zum Grundgerät gesendet. Gemessen wird die Laufzeit der Ultraschallwellen zwischen den Richt- und Messmikrofonen. Durch die Veränderungen der Laufzeit der Ultraschallwellen zwischen Mess- und Sendeeinheit bei Bewegung der Messmarker können absolute Winkel berechnet werden (Asamoah et al. 2000). Hierzu nutzt die mitgelieferte Software „WinData“ das Prinzip der Triangulation. Dabei handelt es sich um ein trigonometrisches Verfahren, welches die Vermessung von Oberflächen ermöglicht (Seitz et al. 1986). Die Berechnung des Bewegungsausmaßes und des Abweichungsgrades im Winkelreproduktionstest erfolgte mit der Software WinData, welche zum Zebris-System gehört.

Für die Messungen wurden zwei Dreifachmarker benutzt, an welchen jeweils drei Mikrofone befestigt waren (Benedetti et al. 1998). Die Marker wurden mithilfe von Klettverschlussgurten auf Höhe des zwölften Brustwirbelkörpers (Th12) und des ersten Kreuzbeinwirbels (S1) befestigt (siehe Abbildung 3 und 4). Somit lag die gesamte Lendenwirbelsäule im Messbereich zwischen den Dreifachmarkern (Dörflinger 2008). Zur korrekten Positionierung der Messmarker wurden die tastbaren Dornfortsätze der Wirbelkörper als orientierende Strukturen aufgesucht (Layher und Sander 1993). Der Übergang der Wirbelkörper LWK 4/5 diente als Orientierung, da dessen Position durch Palpation sicher zu ermitteln ist (Layher und Sander 1993). Analog zu Dörflinger (2008) wurde hierzu die Crista iliaca beidseits palpiert und eine virtuelle Linie dazwischen gebildet. An dem Punkt, an dem diese virtuelle Linie die Wirbelsäule kreuzt, befindet sich der Übergang der LWK 4/5. Ausgehend von LWK 4/5 erfolgte durch Palpation der Dornfortsätze nach kranial und kaudal die Ermittlung der Position der Wirbelkörper Th12 und S1. Diese beiden Positionen wurden markiert und die Messgurte auf Höhe der Markierungen befestigt.



Abbildung 3: Proband bei der ROM-Messung im Stehen



Abbildung 4: Proband bei der ROM-Messung im Vierfüßlerstand

3.2.3 Winkelreproduktionstest

Der Stellungssinn wurde mithilfe eines Winkelreproduktionstest untersucht. Diese Methode ist bereits als adäquates Mittel zur Beurteilung der Funktion des Stellungssinns beschrieben (Brumagne et al. 1999). Hierbei wird den Probanden eine Körperposition vorgegeben, welche diese sich einprägen sollen. Im Anschluss wird die vorgegebene Position verlassen. Nun werden die Probanden aufgefordert, sich an die vorgegebene Position zu erinnern und diese möglichst exakt wieder einzunehmen. Als Maß für den Stellungssinn gilt die Abweichung von der vorgegebenen Position. Die Abweichung wurde in dieser Arbeit mittels 3-D-Ultraschalltopometrie ermittelt und in Grad [°] angegeben. Eine geringe Differenz zwischen vorgegebenem und reproduziertem Winkel spricht für eine gute Winkelreproduktionsfähigkeit und somit für eine intakte Funktion des Stellungssinns.

Winkelreproduktionstests wurden bereits von zahlreichen anderen Autoren benutzt um Erkenntnisse über sensomotorische Fähigkeiten der Halswirbelsäule (Revel et al. 1991, Armstrong et al. 2008), der Schulter (Davies und Dickoff-Hoffmann 1993, Janwantanakul et al. 2001, Hung und Darling 2012) oder des Knies (Perlau et al. 1995, Boucher et al. 2015) zu erhalten. In einigen Studien wurde dies auch an der Lendenwirbelsäule und im Zusammenhang mit Schmerzen untersucht (Parkhurst und Burnett 1994, Gill und Callaghan 1998, Lam et al. 1999, O'Sullivan et al. 2003, Petersen und Rundquist 2009, Sheeran 2012, Astfalck et al. 2013, O'Sullivan et al. 2013).

Die Winkelreproduktionstests der Lendenwirbelsäule anderer Autoren wurden in verschiedenen Körperpositionen durchgeführt. Die meisten Autoren führten die Messung im Sitzen durch (Lam et al. 1999, O'Sullivan et al. 2003, Petersen und Rundquist 2009, Sheeran 2012, Astfalck et al. 2013, O'Sullivan et al. 2013), andere im Stehen (Newcomer et al. 2000 a). Parkhurst und Burnett (1994) maßen im Liegen und Sitzen, Gill und Callaghan (1998) im Stehen und im

Vierfüßlerstand. Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Winkelreproduktionstest im Vierfüßlerstand durchgeführt.

3.3 Studienablauf

Die Messungen wurden in den Räumen des Arbeitsbereichs Sport- und Bewegungsmedizin im Institut für Bewegungswissenschaft der Universität Hamburg im Zeitraum von Oktober bis November 2014 durchgeführt.

Zum vereinbarten Termin erschienen die Probanden in den Institutsräumen in Hamburg. Sie wurden begrüßt, es erfolgte ein ausführliches Gespräch, in welchem die Probanden erneut über die Ziele, den Versuchsablauf sowie über mögliche Risiken durch eine Teilnahme an der Studie aufgeklärt wurden. Die Probanden erhielten Gelegenheit, sich den Aufklärungsbogen durchzulesen.

Nach Klärung aller offenen Fragen erklärten sich die Probanden schriftlich mit der Teilnahme an der Studie, sowie der pseudonymisierten Nutzung der erhobenen Daten einverstanden. Die Probanden erhielten eine Kopie der unterschriebenen Einverständniserklärung.

Anschließend zogen sich die Probanden in einem separaten Raum um und begaben sich dann in den Raum, in welchem die Messungen durchgeführt wurden.

3.3.1 Messung der Beweglichkeit der Lendenwirbelsäule im Stehen

Die Probanden wurden instruiert, sich in einen lockeren Stand zu begeben. Die Knie sollten gestreckt, aber nicht überstreckt, die Füße in etwa schulterbreit voneinander entfernt sein. Die Bewegungsaufgabe bestand nun darin, sich aus dieser Ausgangsposition langsam so weit wie möglich nach vorne zu lehnen (Flexion). Nach Rückkehr in die Ausgangsposition folgte das maximale Zurücklehnen (Extension) (siehe Abbildung 5). Nun hatten die Probanden die Möglichkeit, den Bewegungsablauf dreimal zu üben. Anschließend wurden die

Gurte mit den Dreifachmarkern befestigt (siehe Abbildungen 3 und 4) und die Messung insgesamt dreimal durchgeführt.



Abbildung 5: Beweglichkeit der Lendenwirbelsäule im Stehen. Links: Flexion; Mitte: Neutralposition; Rechts: Extension. Aufgrund besserer Übersichtlichkeit wurde bei dieser Abbildung auf die Darstellung der Messapparatur verzichtet. Die abgebildete Person ist kein Proband der Studie.

3.3.2 Beweglichkeit der Lendenwirbelsäule im Vierfüßlerstand und Winkelreproduktionstest

Die Probanden wurden angewiesen, sich in den Vierfüßlerstand zu begeben und eine neutrale Position einzunehmen, das heißt die Lendenwirbelsäule weder zu beugen noch zu strecken. Im ersten Teil der Messung wurde die ROM der Lendenwirbelsäule im Vierfüßlerstand ermittelt (siehe Abbildung 6). Die Probanden sollten sich, ausgehend von der Neutralposition, dreimal zwischen maximaler Flexion und Extension bewegen. Sie wurden instruiert, die Arme nicht zu beugen und mit dem Becken nicht auszuweichen, sodass sich ein rechter Winkel zwischen Rumpf und Oberarmen bzw. Rumpf und Oberschenkel ergab. Im zweiten Teil der Messung erfolgte der Winkelreproduktionstest. Den Probanden wurde eine bestimmte Position vorgegeben, welche sich etwa mittig zwischen maximaler Flexion und Extension befand. Diese Position sollte für fünf Sekunden gehalten werden. Nun folgte eine zehn Sekunden andauernde Pause, während welcher die Probanden den Vierfüßlerstand nicht verlassen sollten. Die Aufgabe lautete, die vorgegebene Position insgesamt sechsmal exakt zu reproduzieren und fünf Sekunden zu halten, wobei die ersten drei Versuche als Probedurchgang galten und nur die letzten drei tatsächlich gemessen wurden. Während der Messung wurde keine Rückmeldung darüber gegeben, wie exakt die Position erreicht wurde.

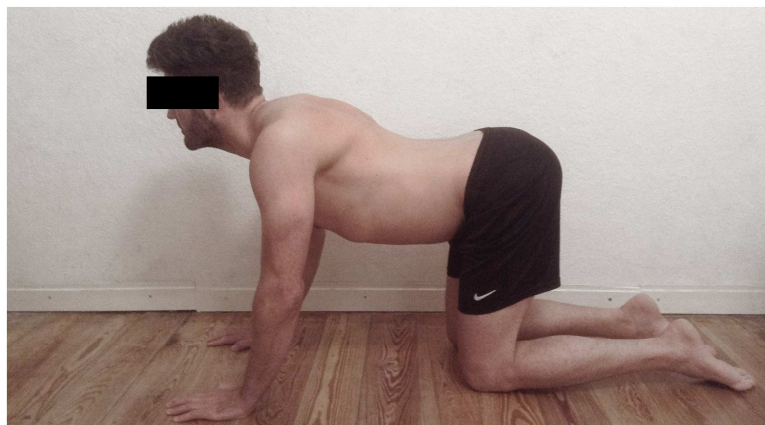


Abbildung 6: Beweglichkeit der Lendenwirbelsäule im Vierfüßlerstand. Oben: Flexion; Mitte: Neutralposition; Unten: Extension. Aufgrund besserer Übersichtlichkeit wurde bei dieser Abbildung auf die Darstellung der Messapparatur verzichtet. Die abgebildete Person ist kein Proband der Studie.

3.4 Statistische Methoden

Für jeden Probanden wurde für alle Messwerte ein Mittelwert aus drei Einzelversuchen gebildet. Für beide Gruppen erfolgte die Mittelwertbildung aus den Werten der jeweiligen Probanden. Neben dem Mittelwert wurde für alle Parameter die Standardabweichung, der Median, das Minimum und das Maximum berechnet.

Die Unterschiede zwischen der Gruppe mit Rückenschmerzen und der Gruppe ohne Rückenschmerzen wurden mittels T-Test für unabhängige Stichproben auf ihre Signifikanz untersucht.

Es galt folgendes Signifikanzniveau:

- Signifikant: $p = <0,05$ und $>0,01$
- Hoch signifikant: $p = <0,01$

Die Auswertung der gemessenen Daten erfolgte mit der Statistiksoftware IBM SPSS Statistics 20. Die Diagramme wurden mit Microsoft Excel 2007 und IBM SPSS Statistics 20 erstellt.

4. Ergebnisse

4.1 Beweglichkeit der Lendenwirbelsäule im Stehen

4.1.1 Flexion

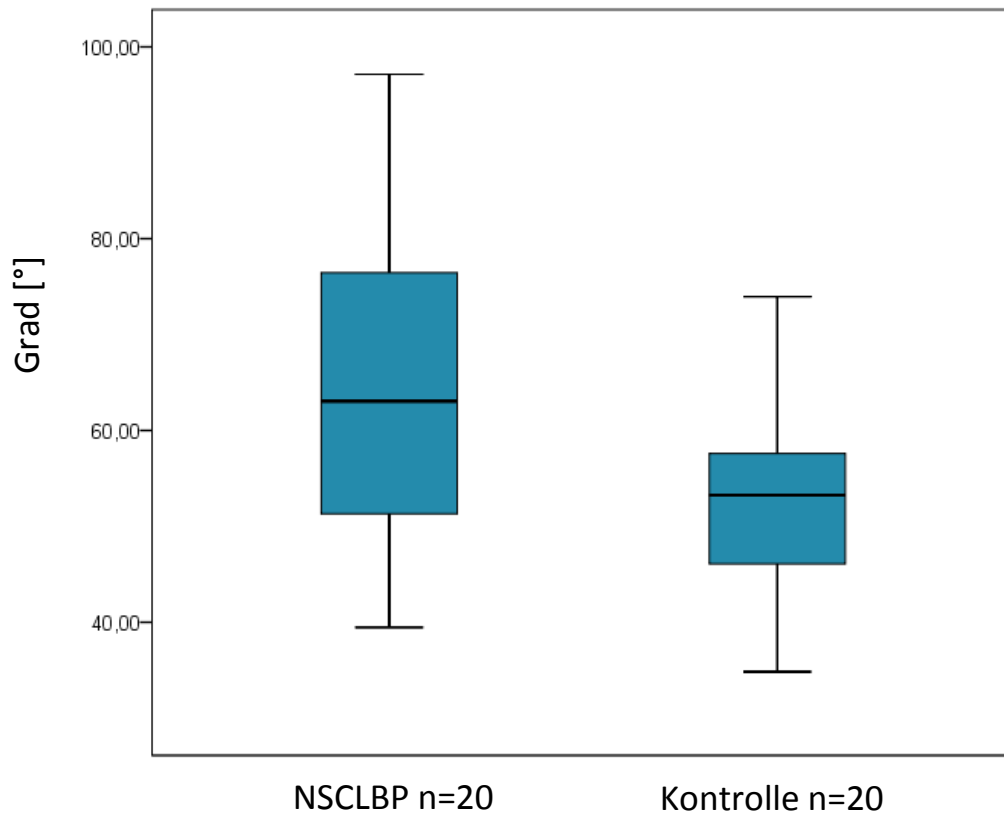


Abbildung 7: Boxplotdarstellung der Ergebnisse der Flexionsmessung der LWS im Stehen

Die Gruppe mit Rückenschmerzen erreichte bei der Messung der maximalen Flexion der Lendenwirbelsäule im Stehen eine durchschnittliche ROM von 63,6°. Bei der Kontrollgruppe betrug die ROM durchschnittlich 54,1°. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen ist statistisch signifikant ($p=0,04$) (siehe Abbildung 7 und Tabellen 5 und 6).

Tabelle 5: Übersicht der Werte der Flexionsmessung im Stehen

Gruppe	Mittelwert [°]	Standardabweichung [°]	Median [°]	Minimum [°]	Maximum [°]
NSCLBP	63,3	16,5	63,1	39,5	97,1
Kontrolle	54,1	10,6	53,3	34,8	78,9

*Tabelle 6: T-Test für die Mittelwertgleichheit bei unabhängigen Stichproben:
Flexion im Stehen*

T	df	Signifikanz (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standard- fehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
					Untere	Obere
2,18	32,37	0,04	9,57	4,40	0,62	18,52

4.1.2 Extension

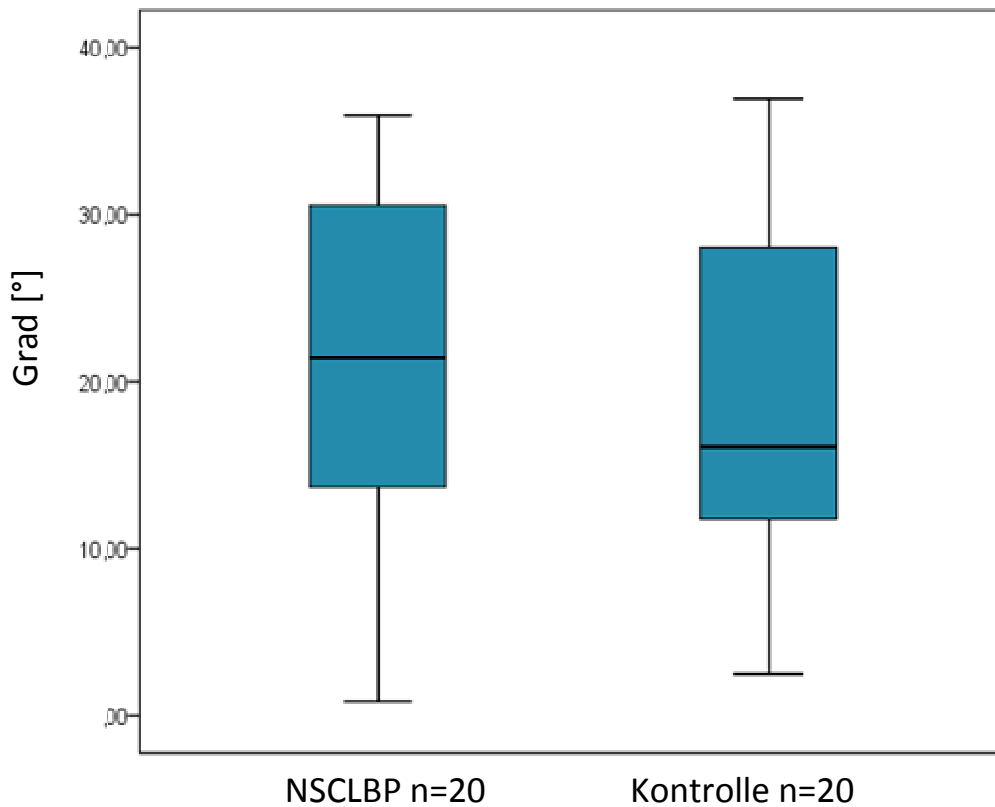


Abbildung 8: Boxplotdarstellung der Ergebnisse der Extensionsmessung der LWS im Stehen

Die Messung der Extension der Lendenwirbelsäule im Stehen (vgl. Abb. 6) ergab eine durchschnittliche ROM von 21,6° in der Schmerzgruppe. Die ROM in der Kontrollgruppe lag bei 19,3°. Der Unterschied ist statistisch nicht signifikant ($p=0,47$) (siehe Abbildung 8 sowie Tabellen 7 und 8).

Tabelle 7: Übersicht der Werte der Extensionsmessung im Stehen

Gruppe	Mittelwert [°]	Standardabweichung [°]	Median [°]	Minimum [°]	Maximum [°]
NSCLBP	21,6	9,5	21,4	0,8	35,9
Kontrolle	19,3	10,5	16,0	2,5	36,97

*Tabelle 8: T-Test für die Mittelwertgleichheit bei unabhängigen Stichproben:
Extension im Stehen*

T	df	Signifikanz (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standard- fehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
					Untere	Obere
0,73	37,58	0,47	2,31	3,16	-4,09	8,71

4.1.3 Totaler sagittaler Bewegungsumfang

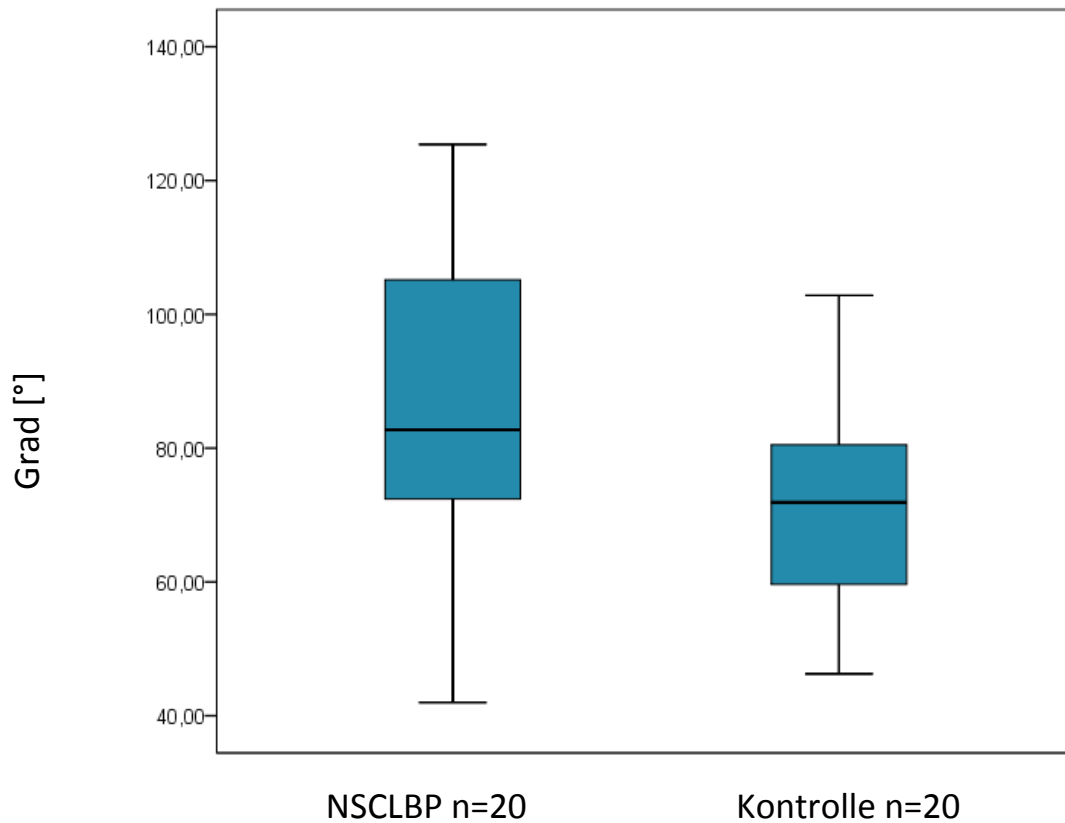


Abbildung 9: Boxplotdarstellung der Ergebnisse der Messung der totalen sagittalen ROM im Stehen

Die totale sagittale ROM im Stehen, also die Summe aus Flexion und Extension, beträgt in der NSCLBP-Gruppe 85,2°. Die Kontrollgruppe erreichte 73,3° (siehe Abbildung 9 und Tabelle 9). Dieser Unterschied ist bei einem Konfidenzintervall von 95% nicht signifikant ($p=0,07$, siehe Tabelle 10).

Tabelle 9: Übersicht der Messwerte: Totale sagittale ROM

Gruppe	Mittelwert [°]	Standardabweichung [°]	Median [°]	Minimum [°]	Maximum [°]
NSCLBP	85,2	22,6	82,7	41,99	125,4
Kontrolle	73,3	17,7	71,9	46,3	112,4

*Tabelle 10: T-Test für die Mittelwertgleichheit bei unabhängigen Stichproben:
Totale sagittale ROM im Stehen*

T	df	Signifikanz (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standard- fehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
					Untere	Obere
1,85	35,93	0,07	11,88	6,41	-1,12	24,87

4.1.4 Anteile von Flexion und Extension an der totalen sagittalen ROM

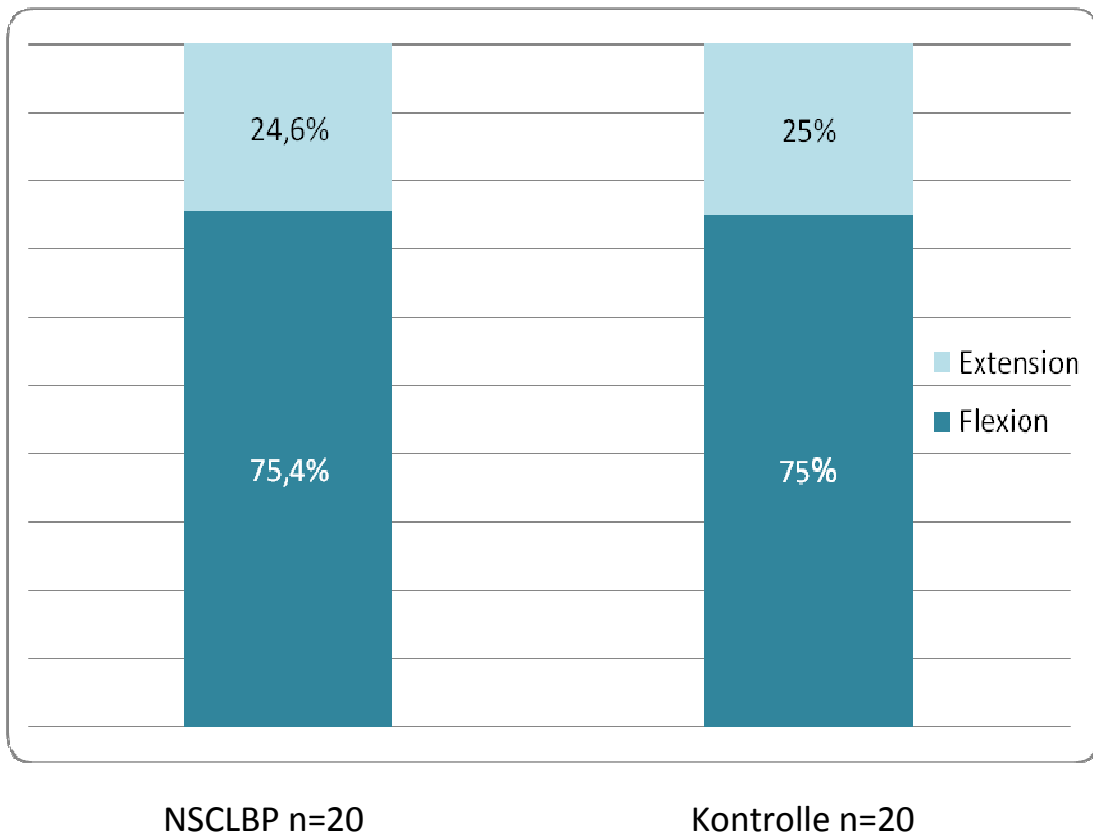


Abbildung 10: Sagittale ROM im Stehen. Anteile von Flexion und Extension an der totalen sagittalen ROM. Angaben in Prozent (%).

In der NSCLBP-Gruppe beträgt der Anteil der Flexion an der totalen sagittalen ROM im Stehen 75,4% und der Anteil der Extension 24,6% (siehe Tabellen 11 und 12). In der Kontrollgruppe machte die Flexion 75,0% und die Extension 25% (siehe Tabellen 11 und 12) der totalen sagittalen ROM aus (vgl. Abb. 10). Der Unterschied ist nicht signifikant ($p=0,91$, siehe Tabelle 13).

Tabelle 11: Übersicht der Anteile der Flexion an der totalen sagittalen ROM.

Gruppe	Mittelwert [%]	Standardabweichung [%]	Median [%]	Minimum [%]	Maximum [%]
NSCLBP	75,4	8,8	74,2	55,0	98,0
Kontrolle	75,0	10,1	74,1	60,0	95,0

Tabelle 12: Übersicht der Anteile der Extension an der totalen sagittalen ROM.

Gruppe	Mittelwert [%]	Standardabweichung [%]	Median [%]	Minimum [%]	Maximum [%]
NSCLBP	24,6	8,8	25,8	2,0	45,0
Kontrolle	25,0	10,1	25,9	5,0	40,0

Tabelle 13: T-Test für die Mittelwertgleichheit bei unabhängigen Stichproben. Anteile von Flexion und Extension an der totalen sagittalen ROM im Stehen

T	df	Signifikanz (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standard- fehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
					Untere	Obere
0,11	37,27	0,91	0,00	0,03	-0,06	0,06

4.2 Beweglichkeit der Lendenwirbelsäule im Vierfüßlerstand

4.2.1 Flexion

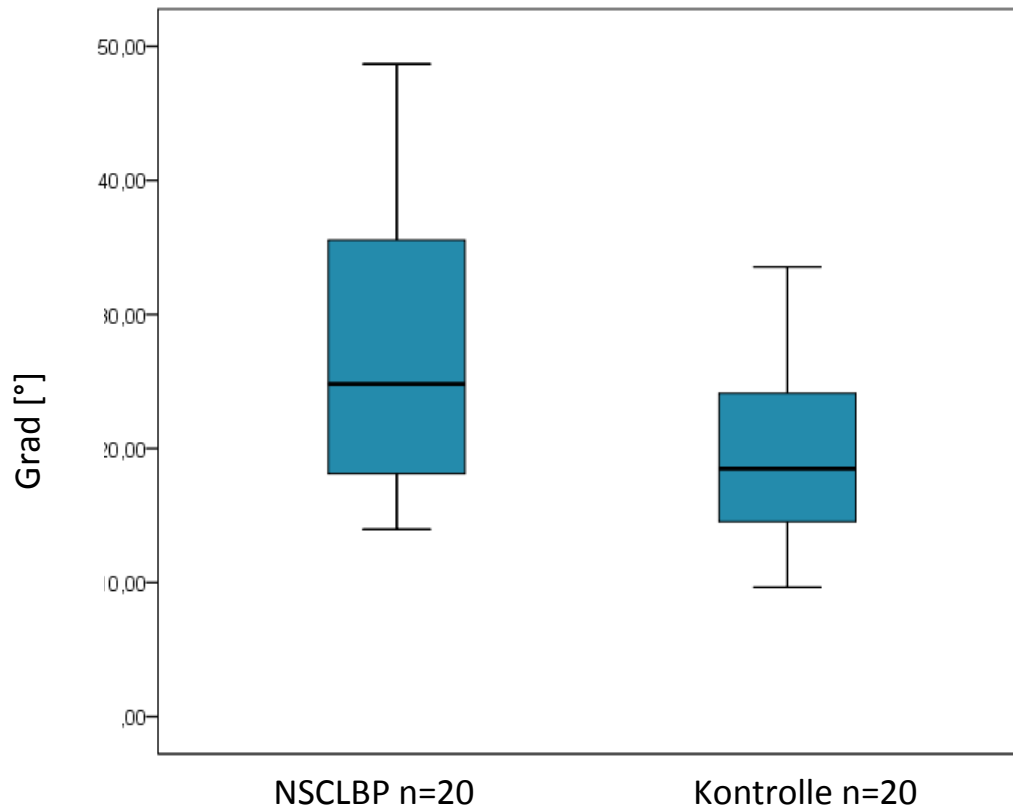


Abbildung 11: Boxplotdarstellung der Ergebnisse der Flexionsmessung der LWS im Vierfüßlerstand

Die Ermittlung der ROM für die Flexion im Vierfüßlerstand ergab einen Mittelwert von 27,1° in der Rückenschmerzgruppe. In der Kontrollgruppe liegt der Mittelwert bei 19,6° (siehe Abbildung 11 und Tabellen 14 und 15). Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen ist hoch signifikant ($p=0,01$).

Tabelle 14: Übersicht der Werte der Flexionsmessung im Vierfüßlerstand

Gruppe	Mittelwert [°]	Standardabweichung [°]	Median [°]	Minimum [°]	Maximum [°]
NSCLBP	27,1	10,5	24,8	13,97	48,7
Kontrolle	19,6	6,5	18,5	9,7	33,5

*Tabelle 15: T-Test für die Mittelwertgleichheit bei unabhängigen Stichproben:
Flexion im Vierfüßlerstand*

T	df	Signifikanz (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standard- fehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
					Untere	Obere
2,71	31,63	0,01	7,49	2,77	1,85	13,13

4.2.2 Extension

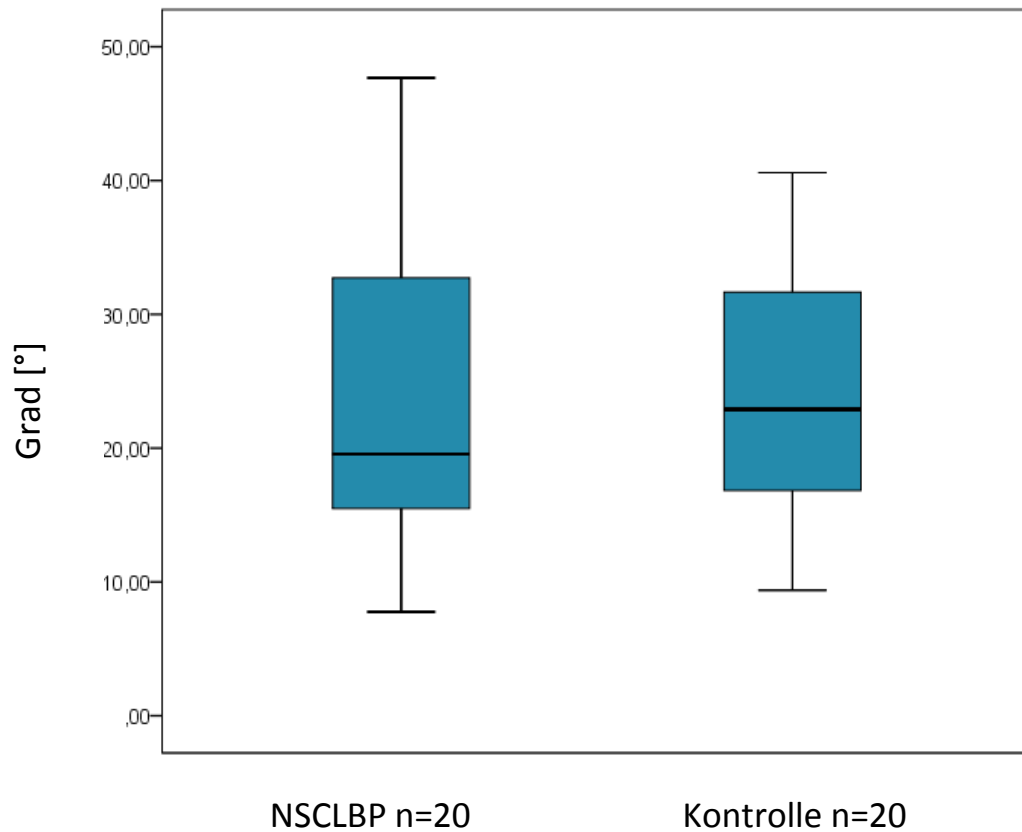


Abbildung 12: Boxplotdarstellung der Ergebnisse der Extensionsmessung der LWS im Vierfüßlerstand

Für die Extension der Lendenwirbelsäule im Vierfüßlerstand ergab sich in der Gruppe mit NSCLBP eine mittlere ROM von 23,4°, in der Kontrollgruppe eine mittlere ROM von 24,3° (siehe Abbildung 12 und Tabellen 16 und 17). Dieser Unterschied ist nicht signifikant ($p=0,78$).

Tabelle 16: Übersicht der Werte der Extensionsmessung im Vierfüßlerstand

Gruppe	Mittelwert [°]	Standardabweichung [°]	Median [°]	Minimum [°]	Maximum [°]
NSCLBP	23,4	10,4	19,6	7,8	47,7
Kontrolle	24,3	9,5	22,9	9,3	40,6

*Tabelle 17: T-Test für die Mittelwertgleichheit bei unabhängigen Stichproben:
Extension im Vierfüßlerstand*

T	df	Signifikanz (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standard- fehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
					Untere	Obere
-0,28	37,68	0,78	-0,88	3,16	-7,28	5,52

4.2.3 Totaler sagittaler Bewegungsumfang

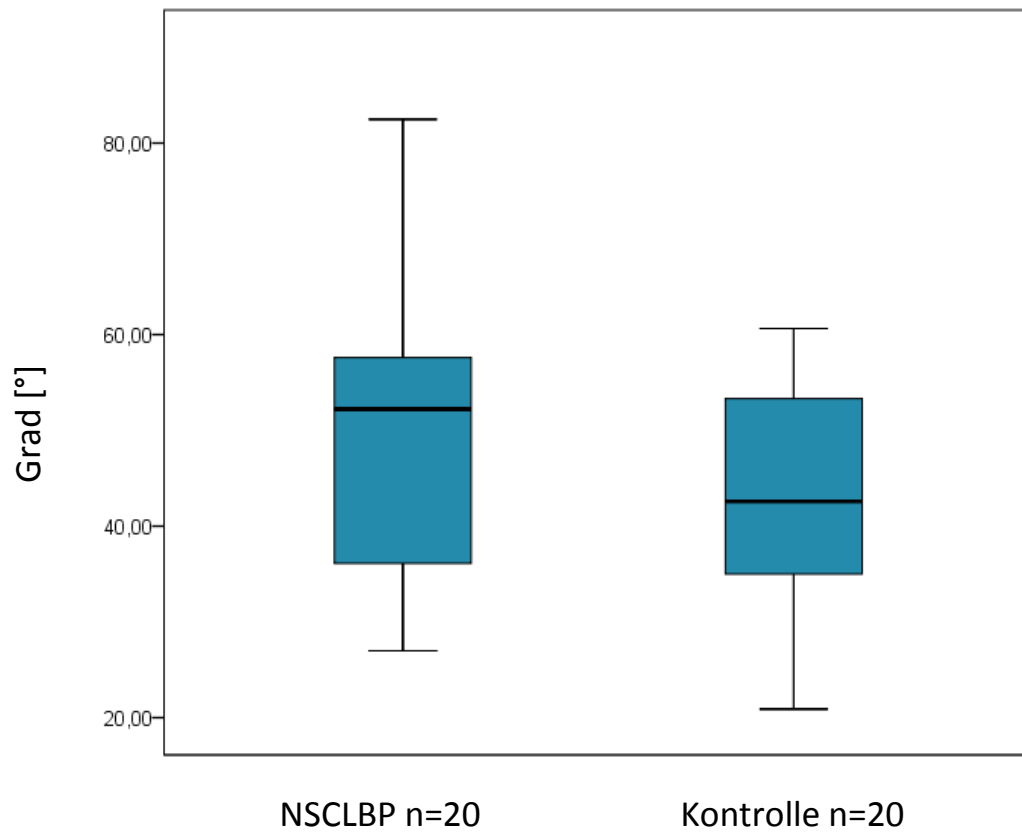


Abbildung 13: Boxplotdarstellung der Ergebnisse der totalen sagittalen ROM der LWS im Vierfüßlerstand

Die Messung der totalen sagittalen ROM im Vierfüßlerstand zeigte einen Wert von 50,54° in der NSCLBP-Gruppe und 43,93° in der Kontrollgruppe (siehe Abbildung 13 und Tabellen 18 und 19). Dieser Unterschied ist statistisch nicht signifikant ($p=0,12$).

Tabelle 18: Übersicht der Werte der totalen sagittalen ROM im Vierfüßlerstand

Gruppe	Mittelwert [°]	Standardabweichung [°]	Median [°]	Minimum [°]	Maximum [°]
NSCLBP	50,5	15,1	52,2	26,99	82,5
Kontrolle	43,9	10,97	42,6	20,9	60,6

*Tabelle 19: T-Test für die Mittelwertgleichheit bei unabhängigen Stichproben:
Totale sagittale ROM im Vierfüßlerstand*

T	df	Signifikanz (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standard- fehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
					Untere	Obere
1,58	34,69	0,12	6,61	4,17	-1,87	15,08

4.2.4 Anteile von Flexion und Extension an der totalen sagittalen ROM

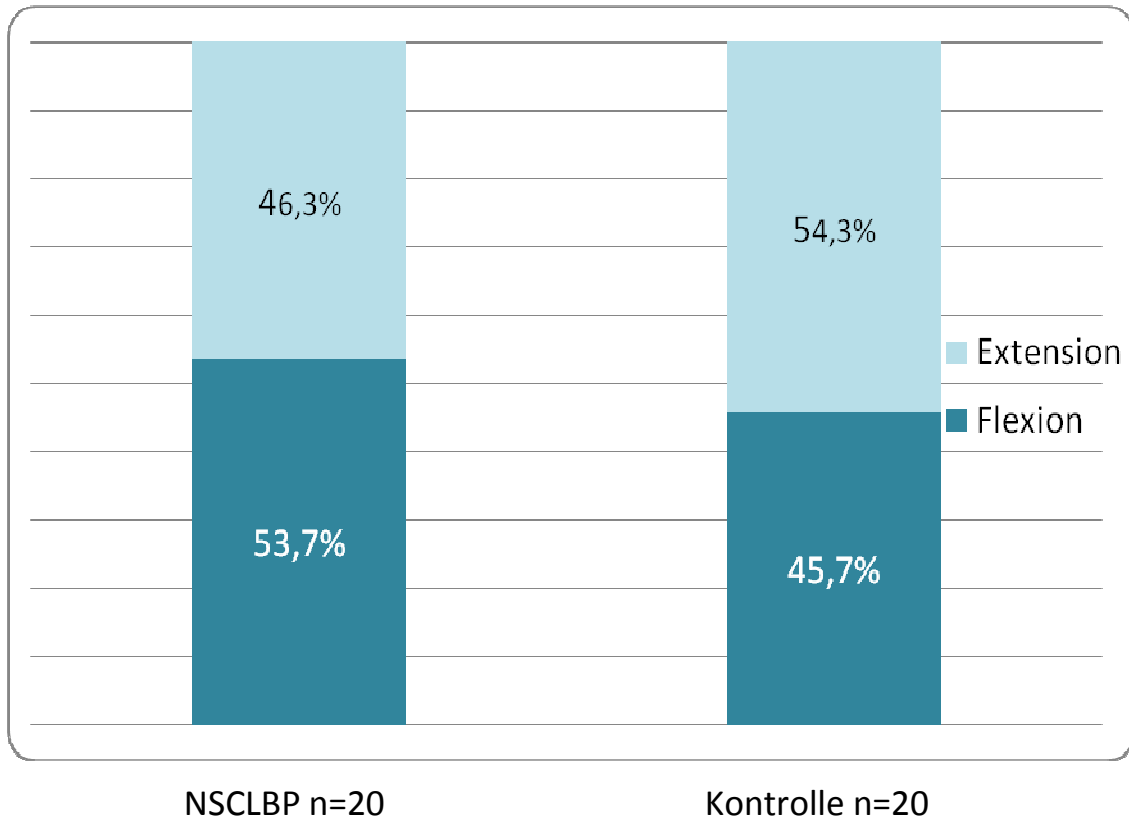


Abbildung 14: Sagittale ROM im Vierfüßlerstand. Anteile von Flexion und Extension an der totalen sagittalen ROM. Angabe in Prozent(%).

Die Flexion macht in der NSCLBP-Gruppe 53,7% der totalen sagittalen ROM aus. Der Anteil der Extension beträgt 46,3% (siehe Abbildung 14 und Tabellen 20 und 21). In der Kontrollgruppe trägt die Flexion 45,7% und die Extension 54,3% zur totalen sagittalen ROM bei. Dieser Unterschied ist nicht signifikant ($p=0,07$; siehe Tabelle 22).

Tabelle 20: Übersicht der Anteile der Flexion an der totalen sagittalen ROM.

Gruppe	Mittelwert [%]	Standardabweichung [%]	Median [%]	Minimum [%]	Maximum [%]
NSCLBP	53,7	13,7	52,9	35,0	82,0
Kontrolle	45,7	13,1	46,7	28,0	67,0

Tabelle 21: Übersicht der Anteile der Extension an der totalen sagittalen ROM.

Gruppe	Mittelwert [%]	Standardabweichung [%]	Median [%]	Minimum [%]	Maximum [%]
NSCLBP	46,3	13,7	47,1	18,0	65,0
Kontrolle	54,3	13,1	53,4	33,0	72,0

Tabelle 22: T-Test für die Mittelwertgleichheit bei unabhängigen Stichproben: Anteile von Flexion und Extension an der totalen sagittalen ROM im Vierfüßlerstand

T	df	Signifikanz (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standard- fehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
					Untere	Obere
1,90	37,91	0,07	0,08	0,04	-0,01	0,17

4.3 Winkelreproduktionstest im Vierfüßlerstand

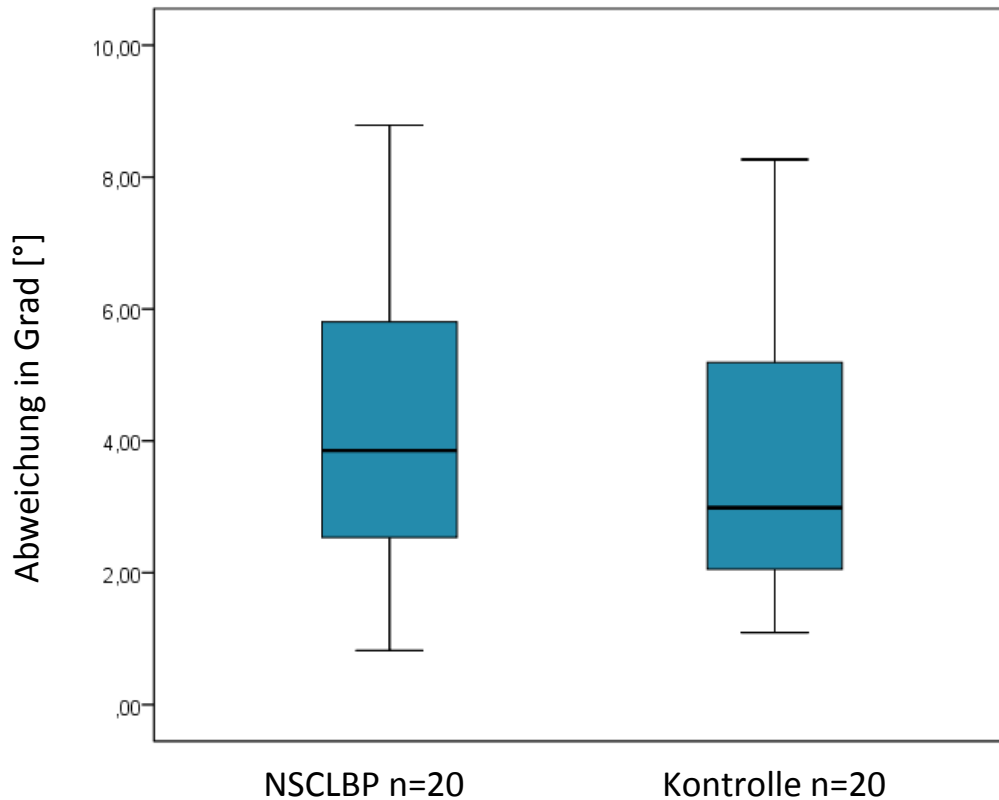


Abbildung 15: Boxplotdarstellung der Messergebnisse des Winkelreproduktionstests im Vierfüßlerstand

Die Auswertung des Winkelreproduktionstests zeigt, dass die Gruppe mit NSCLBP bei der Reproduktion der vorgegebenen Position im Mittel $4,3^\circ$ von dieser abweicht. Die Gruppe ohne Rückenschmerzen liegt durchschnittlich $4,0^\circ$ von dieser Position entfernt (siehe Abbildung 15 und Tabellen 23 und 24). Der Unterschied zwischen beiden Gruppen ist statistisch nicht signifikant ($p=0,695$).

Tabelle 23: Übersicht der mittleren Abweichung beim Winkelreproduktionstest

Gruppe	Abweichung [°]	Standardabweichung [°]	Median [°]	Minimum [°]	Maximum [°]
NSCLBP	4,3	2,2	3,9	0,82	8,8
Kontrolle	4,0	2,6	3,0	1,1	10,5

*Tabelle 24: T-Test für die Mittelwertgleichheit bei unabhängigen Stichproben:
Mittlere Abweichung beim Winkelreproduktionstest im Vierfüßlerstand*

T	df	Signifikanz (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standard- fehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
					Untere	Obere
0,40	37,03	0,69	0,30	0,76	-1,25	1,85

5. Diskussion

5.1 Methodenkritische Aspekte

5.1.1 Probanden

Ziel dieser Studie war es, Zusammenhänge zwischen chronisch unspezifischen Rückenschmerzen der Lendenwirbelsäule, lumbaler Beweglichkeit und sensorischen Fähigkeiten zu untersuchen. An der Untersuchung nahmen 40 Probanden im Alter von 30-60 Jahren teil. Diese Spanne wurde gewählt, da die meisten Rückenschmerzpatienten in diesem Alter erkranken (Hildebrandt et al. 2005a). Zum einen können die Ergebnisse so auf viele Betroffene angewandt werden, zum anderen wurde die Akquise von Probanden erleichtert.

Um das Risiko einer Beeinflussung der Ergebnisse durch degenerative Skelettveränderungen zu minimieren, wurden Menschen, die häufig unter solchen Verschleißerscheinungen leiden, von der Teilnahme ausgeschlossen. Dies betrifft besonders Menschen ab dem 60. Lebensjahr (Schneider et al. 2007, Robert-Koch-Institut 2013), sodass ein Alter von 60 Jahren als obere Altersgrenze für die Probanden festgelegt wurde.

Zudem gibt es Hinweise, dass die Beweglichkeit mit zunehmendem Alter abnimmt (Sullivan et al. 1994, Dvořák et al. 1995, Kujala et al. 1997, Saidu et al. 2011, Adams und Dolan 2012) und sich sensomotorische Fähigkeiten verschlechtern (Skinner et al. 1984, Kaplan et al. 1985). Es erscheint daher sinnvoll, Gruppen mit ähnlichen Altersstrukturen zu bilden. In dieser Studie fand ein Matching der verglichenen Gruppen bezüglich der Altersstruktur, des Körpergewichtes, der Körpergröße und des Body-Mass-Index statt, sodass ein Vergleich gerechtfertigt ist.

Zur Erfassung der Schmerzintensität wurde eine Numerische Ratingskala (NRS) verwendet. Sie ist im klinischen Alltag, aufgrund der einfachen Durchführung, ein verbreiteter Test zur Quantifizierung von Schmerzzuständen

(Khorsan et al. 2008). Die Methode ist hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit, Schmerzzustände korrekt abzubilden, untersucht und für valide befunden worden (Flaherty 1996). Da das Bewegungsverhalten durch eine hohe Schmerzintensität beeinflusst werden kann (Lamoth et al. 2004, Lamoth et al. 2006, Lee et al. 2007), wurden Menschen mit starken akuten Schmerzen zum Zeitpunkt der Messung von der Untersuchung ausgeschlossen. Eine starke Schmerzintensität entspricht einem Wert von 6/10 auf der NRS (Kumle et al. 2013), weshalb Probanden mit akuten Schmerzen <6/10 auf der NRS von der Messung ausgeschlossen wurden. Um ein ausreichend chronisches Krankheitsgeschehen zu gewährleisten, wurde für die Schmerzgruppe ein Rückenschmerzleiden über einen Zeitraum von 6 Monaten als Einschlusskriterium festgelegt. Ab einer Dauer von 3 Monaten werden Rückenschmerzen als chronisch bezeichnet (Frank 1993, Göbel 2001, Kovacs et al. 2005, Hildebrandt et al. 2005 a, Pennekamp 2009). Somit kann bei einer Schmerzdauer von mindestens sechs Monaten von einem ausreichend chronischen Verlauf ausgegangen werden, um repräsentative Aussagen über chronisch unspezifische Rückenschmerzen machen zu können.

5.1.2 Messinstrumente

5.1.2.1 3-D-Ultraschalltopometrie

Die dreidimensionale Ultraschalltopometrie ist ein nichtinvasives Verfahren für Beweglichkeitsuntersuchungen der Wirbelsäule, welches schon von zahlreichen Autoren eingesetzt wurde (Vogt und Banzer 1997, Schreiber et al. 1998, Asamoah et al. 2000, Dvir und Prushansky 2000, Portscher et al. 2000). Im Rahmen dieser Arbeit wurde es zur Bestimmung des lumbalen Bewegungsumfangs sowie zur Durchführung des Winkelreproduktionstests genutzt.

Vogt und Banzer (1997) konnten durch Test-Retest-Korrelationsmessungen eine hohe Reliabilität des Verfahrens für Beweglichkeitsmessungen der Lendenwirbelsäule nachweisen. Neben der Fähigkeit, endständige Positionen

korrekt zu erfassen, ist die Methode auch in der Lage kleine Veränderungen in mittleren Positionen zu detektieren. Asamoah et al. (2000) überprüften die Genauigkeit der Methode bezüglich lumbaler Beweglichkeit durch einen Vergleich mit röntgengestützten Diagnostikverfahren und geben eine Sensitivität von 98%, eine Spezifität von 88% und eine sehr gute Validität an. Himmelreich et al. (1998) beschreiben es als untersucherunabhängiges Verfahren mit hoher Reliabilität und Sensitivität. Auch weitere Autoren bescheinigen diese Gütekriterien (Dvir und Prushansky 2000, Portscher et al. 2000, Malmström et al. 2003).

In dieser Studie wurde das System „CMS-HS“ der Firma „zebris medical“ genutzt. Hiermit können neben Echtzeit-Beweglichkeitsanalysen auch dreidimensionale Rekonstruktionen der Wirbelsäule erstellt werden (Asamoah et al. 2000). Das System ermöglicht hohe Messfrequenzen von bis zu 100 Hz, wodurch präzise Messungen auch bei kleinen Positionsunterschieden möglich sind (Dalichau und Scheele 2000). Die vom Hersteller empfohlene Frequenz ist von der Entfernung zwischen Ultraschallsender und Mikrofonen abhängig (Zebris medical 2006). Der Abstand betrug bei dieser Messung 2 m, die hierfür vorgegebene Messfrequenz liegt bei 60 Hz. Andere Autoren nutzten Messfrequenzen zwischen 25 und 30 Hz, machen aber keine Angabe zum Abstand zwischen Sender und Mikrofon (Vogt und Banzer 1997, Portscher et al. 2000). Laut Dörflinger (2008) ist der Einfluss unterschiedlich eingestellter Messfrequenzen auf die Messgenauigkeit als gering einzuschätzen. Im Rahmen seiner Arbeit führte er Messungen der lumbalen Beweglichkeit mittels 3D-Ultraschalltopometrie an 50 Probanden durch. Bei jedem Probanden wurde die Beweglichkeit mit Frequenzen von 10 Hz, 25 Hz, 50 Hz und 100 Hz gemessen. Hierbei zeigten sich keine frequenzabhängigen Unterschiede der Beweglichkeit der Lendenwirbelsäule.

Die 3-D-Ultraschalltopometrie bietet den Vorteil, für den Probanden ungefährlich und für den Untersucher leicht durchführbar zu sein (Layher und Sander 1993, Gracovetsky 1995). Beim CMS-HS-System werden die Sensoren direkt auf der Haut und nicht am Knochen befestigt. Die Messergebnisse werden somit von der Ausprägung und der Verschieblichkeit des zwischen Haut und Knochen liegenden Weichteilgewebes beeinflusst (Ng et al. 2001). Es ist mit nicht-invasiven Methoden nicht möglich, die ROM der knöchernen Strukturen der LWS isoliert zu betrachten. Die Ergebnisse spiegeln vielmehr die Beweglichkeit der funktionellen Einheit, bestehend aus skelettalen, muskulären, subkutanen und kutanen Strukturen, wider (Portscher et al. 2000). Capozzo et al. (1993) konnten zeigen, dass die Hautverschieblichkeit, abhängig von der Ausprägung subkutaner Strukturen, bei Messungen mit externen Markern einen erheblichen Störfaktor darstellt. Vanneuville et al. (1994) führten eine in-vitro-Untersuchung mit an der Haut befestigten Sensoren durch und stellten signifikante Unterschiede zwischen röntgenologischen und externen Messverfahren fest. Aufgrund dessen vermuteten sie, dass Schlüsse von externen Messungen auf interne Strukturen, hier die Wirbelsäule, nicht vorbehaltlos möglich sind. Gracovetsky et al. (1995) wiesen jedoch nach, dass die Messung lumbaler Beweglichkeit mittels nicht-invasiver Oberflächenmarker möglich ist. Sie zeigten, dass Hautbewegungen auf charakteristische Art und Weise und nicht zufällig geschehen. Somit sind Rückschlüsse von externen Messpunkten auf die Beweglichkeit der Wirbelsäule zulässig. Die Arbeitsgruppe um Benedetti (1998) fand heraus, dass der Einsatz von Dreifachmarkern, verglichen mit Einzelmarkern, die Empfindlichkeit der Messung gegenüber weichteil- und systembedingten Artefakten reduziert. Aus diesem Grund wurden bei dieser Arbeit auch als Triplet konfigurierter Sensoren verwendet, die mit Hilfe von Messgurten an definierten Punkten befestigt wurden.

Die Qualität der Messungen hängt in großem Maß von der korrekten Positionierung der Marker ab (Dörflinger 2008). Die Palpation der Dornfortsätze

der Wirbelkörper erwies sich bei einigen Probanden als schwierig. Gründe hierfür können skoliotische Veränderungen der Wirbelsäule oder eine unterschiedliche Ausprägung der Weichteile zwischen Haut und knöcherner Wirbelsäule sein (Darrieutort-Laffite et al. 2015). Hayes et al. (2014) verglichen die Genauigkeit der manuellen Palpation knöcherner lumbaler Strukturen im Vergleich zur Identifikation mittels Ultraschall und stellten keine signifikanten Unterschiede fest. Auch Snider et al. (2011) beschreiben die manuelle Palpation als valide Methode zur Identifikation der Dornfortsätze. Die Genauigkeit hängt jedoch maßgeblich von der Erfahrung des Untersuchers ab. Insgesamt ist das Anbringen von Messmarkern an definierten Körperpunkten als zuverlässig anzusehen (Schmidt 2013).

Nachdem die korrekte Position identifiziert worden war, wurden die Gurte mit den Messeinheiten mithilfe von mitgelieferten Klettverschlüssen am Oberkörper der Probanden befestigt (siehe Abbildungen 3 und 4). Es kann nicht sicher ausgeschlossen werden, dass sich die Messgurte während der Beweglichkeitsmessung durch Verschiebungen zwischen Haut und Weichteilen von ihrer korrekten Position entfernt haben. Diese Problematik besteht jedoch bei allen nichtinvasiven Messungen (Dvořák et al. 1995). Im Rahmen der Messungen konnten derartige Verschiebungen nicht beobachtet werden.

Da die 3-D-Ultraschalltopometrie mit Schallwellen arbeitet, sind die Messergebnisse von äußeren Einflüssen auf den Schall abhängig. Die Schallgeschwindigkeit und somit auch die Laufzeit von Ultraschallwellen, wird in wesentlichem Ausmaß von der Lufttemperatur beeinflusst. Bei einer Lufttemperatur von 0° Celsius beträgt die Schallgeschwindigkeit 331,45 m/sec, steigt die Temperatur auf 20° Celsius erhöht sich die Schallgeschwindigkeit auf 343,47 m/sec (Bohn 1988). Um eine Beeinflussung der Laufzeit der Ultraschallwellen durch schwankende Lufttemperaturen zu minimieren, wurde die Raumtemperatur möglichst konstant gehalten, was mittels eines Thermometers kontrolliert wurde. Dies wurde auch von anderen Autoren

beschrieben (Vogt und Banzer 1997, Himmelreich et al. 1998, Portscher et al. 2000).

5.1.2.2 Winkelreproduktionstest

Der Stellungssinn, als Teil des sensomotorischen Systems, wurde mit einem Winkelreproduktionstest untersucht. Dies ist eine zuverlässige Methode zur Messung der Funktionsfähigkeit des Stellungssinns (Brumagne et al. 1999).

Zahlreiche Autoren setzen den Winkelreproduktionstest zur Untersuchung des Stellungssinns ein. Unter anderem sind in der Literatur Untersuchungen der sensomotorischen Fähigkeiten des Knies (Perlau et al. 1995, Boucher et al. 2015), der Schulter (Davies und Dickoff-Hoffmann 1993, Janwantanakul et al. 2001, Hung und Darling 2012) und der Halswirbelsäule beschrieben (Revel et al. 1991, Armstrong et al. 2008). Auch der Stellungssinn der Lumbalregion war schon Gegenstand einiger Arbeiten und wurde mit Hilfe des Winkelreproduktionstests untersucht (Parkhurst und Burnett 1994, Gill und Callaghan 1998, Lam et al. 1999, Koumantakis et al. 2002, O'Sullivan et al. 2003, Petersen und Rundquist 2009, Georgy 2011, Sheeran et al. 2012, Astfalck et al. 2013, O'Sullivan et al. 2013).

Winkelreproduktionstests zur Beurteilung sensomotorischer Fähigkeiten der Lendenwirbelsäule wurden von anderen Autoren in verschiedener Weise eingesetzt. Bei einigen Arbeiten anderer Autoren wurde der Test im Stehen (Gill und Callaghan 1998, Newcomer et al. 2000a) durchgeführt, bei anderen im Sitzen (Lam et al. 1999, O'Sullivan et al. 2003, Petersen und Rundquist 2009, Sheeran 2012, Astfalck et al. 2013, O'Sullivan et al. 2013). Die Autoren begründen die Auswahl der Messpositionen damit, dass diese den alltäglichen Bewegungen des Menschen am nächsten kommen. Gill und Callaghan (1998) vermuteten, dass sensomotorische Defizite der Lendenwirbelsäule im Stehen durch Rezeptoren anderer Körpergegenden ausgeglichen werden. Um diesen Effekt auszuschalten, führten sie zusätzlich zur Messung im Stehen eine

Messung im Vierfüßlerstand durch. Bei dieser Arbeit sollte das sensomotorische System der Lendenwirbelsäule möglichst isoliert angesprochen werden. Analog zu den Überlegungen Gill und Callaghans (1998) kam auch hier ein Winkelreproduktionstest im Vierfüßlerstand zum Einsatz.

Im Rahmen des Winkelreproduktionstests sollte der vorgegebene Winkel dreimal reproduziert werden. Die Anzahl der Wiederholungen entspricht dem Versuchsprotokoll anderer Studien (Lam et al. 1999, Astfalck et al. 2013, O'Sullivan et al. 2013). Andere Autoren wählten weniger (Newcomer et al. 2000a), manche auch mehr Wiederholungen (Gill und Callaghan 1998, O'Sullivan et al. 2003, Petersen und Rundquist 2009, Sheeran et al. 2012). Aufgrund der funktionell ungewohnten Position des Vierfüßlerstands, erschien eine Wiederholung als zu wenig, um repräsentative Werte zu erhalten. Allison und Fukushima (2003) führten eine Untersuchung mit dem Ziel durch, die optimale Anzahl von Wiederholungen zu finden. Sie stellten fest, dass nach einer Phase der Gewöhnung zusätzliche Wiederholungen keine genauere Reproduktion des vorgegebenen Winkels mit sich brachten. Die optimale Wiederholungsanzahl, inklusive Probeversuchen, beziffern sie auf sechs. Die Probanden der durchgeführten Studie absolvierten einen Probedurchgang mit drei Wiederholungen. Die eigentliche Messung beinhaltete wiederum drei Wiederholungen, sodass insgesamt sechs Durchgänge erreicht wurden.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

5.2.1 Winkelreproduktionsfähigkeit

Bei der vorliegenden Arbeit wurde der Zusammenhang von sensomotorischen Fähigkeiten und lumbalen Rückenschmerzen untersucht. Hierzu erfolgte die Messung des Stellungssinns mithilfe eines Winkelreproduktionstests bei Probanden mit NSCLBP und einer Kontrollgruppe ohne Rückenschmerzen. Die NSCLBP-Gruppe wich durchschnittlich $4,32^\circ$ von der vorgegebenen Position ab. In der Kontrollgruppe betrug der Wert durchschnittlich $4,02^\circ$. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen ist nicht signifikant ($p=0,695$). Es konnte also keine eingeschränkte Funktionsfähigkeit des Stellungssinns bei Patienten mit NSCLBP nachgewiesen werden.

Diese Erkenntnis wird von den Ergebnissen anderer Autoren unterstützt, die allerdings Probanden mit nicht näher spezifizierten CLBP untersuchten (Lam et al. 1999, Newcomer et al. 2000b, Koumantakis et al. 2002, Åsell et al. 2006). Newcomer et al. (2000b) vermuten, dass die CLBP-Probanden in ihrer Studie durch ihre Schmerzen nicht genug beeinträchtigt waren, um das sensomotorische System zu beeinflussen. Als Einschlusskriterium für die Schmerzgruppe galten dort Beschwerden seit mindestens 3 Monaten. Um diesen Effekt zu vermeiden, galten in dieser Studie strengere Einschlusskriterien für die NSCLBP-Gruppe (s. Tabelle 2, Kapitel 3.1.2).

Åsell et al. (2006) führten den Winkelreproduktionstest, wie auch in dieser Studie, nur in einer Position durch und konnten keinen Zusammenhang zwischen LBP und einer Einschränkung sensomotorischer Fähigkeiten nachweisen. Sie stellen die Überlegung an, dass die Messung in nur einer Position möglicherweise nicht ausreicht, um sensomotorische Defizite zu zeigen. Gegen diese Vermutung spricht die Tatsache, dass der Großteil der Autoren ihre Messungen ebenfalls nur in einer Körperposition durchführten und einen Zusammenhang zwischen LBP und sensomotorischen Defiziten zeigen

konnten (Brumagne et al. 2000, O'Sullivan et al. 2003, Astfalck et al. 2013, Hidalgo et al. 2013, O'Sullivan et al. 2013). Zudem geben Ásell und Mitarbeiter (2006) zu Bedenken, dass die Konzentrationsfähigkeit der Probanden bei einer großen Anzahl an Messwiederholungen leidet. Als Alternative überlegen sie, die Anzahl der Messungen pro Messposition zu reduzieren und dafür in mehreren Positionen zu messen. Sie befürchten jedoch, dass die Messgenauigkeit bei einer geringen Wiederholungsanzahl leiden könnte. Aus oben genanntem Grund zogen auch sie es vor, sich auf eine Messposition zu konzentrieren, wie es ebenfalls bei vorliegender Arbeit der Fall war.

Neben den Arbeiten, die keinen Zusammenhang zwischen sensomotorischen Defiziten und CLBP beschreiben, gibt es auch solche, die diesen nachweisen konnten (Gill und Callaghan 1998, Brumagne et al. 2000, Newcomer et al. 2000a, O'Sullivan et al. 2003, Sheeran et al. 2012, Astfalck et al. 2013, O'Sullivan et al. 2013). Alle diese Autoren führten Winkelreproduktionstests mit gesunden und schmerzkranken Probanden durch. Dabei konnten sie feststellen, dass Menschen mit LBP bei der Winkelreproduktion durchschnittlich weiter von der vorgegebenen Zielposition abwichen als gesunde Menschen.

Bei den Messungen von Brumagne et al. (2000) konnte eine eingeschränkte Funktion der Muskelspindeln der paravertebralen Muskulatur gezeigt werden. Die Probanden trugen während eines Teils der Messungen ein vibrierendes Gerät im Bereich der Lendenwirbelsäule. Beim Vergleich mit anderen Studien muss dieser Umstand bedacht werden, da hier neben der Körperstellung auch die Vibration als sensorischer Eindruck eine Rolle spielt und dies die Ergebnisse beeinflussen kann.

Newcomer et al. (2000a) zeigten eine verminderte Winkelreproduktionsfähigkeit der Rückenschmerzprobanden in Flexion. In Extension reproduzierte die Schmerzgruppe den vorgegebenen Winkel jedoch genauer als die Kontrollprobanden. Ein Erklärungsversuch der Autoren besagt, dass die Flexion eine

komplexere Koordination verschiedener Muskelgruppen erfordert, als dies in Extension der Fall ist und Probanden mit Rückenschmerzen diesen koordinativen Ansprüchen weniger gewachsen sind. Allerdings wird nicht begründet, weshalb dies zu einer besseren Winkelreproduktionsfähigkeit der Rückenschmerzprobanden in Extension führt.

Astfalck et al. (2013) wiesen ebenfalls eine Einschränkung des Stellungssinns bei Rückenschmerzprobanden nach. Sie führten ihre Untersuchungen an Kindern und Jugendlichen durch, die Probanden der anderen genannten Studien befanden sich im Erwachsenenalter. Die unterschiedlichen körperlichen Voraussetzungen von Kindern und Erwachsenen schränken die Vergleichbarkeit der Studienergebnisse ein.

Nur drei der genannten Arbeiten, konnten eine Einschränkung sensomotorischer Fähigkeiten speziell für unspezifische Rückenschmerzen zeigen (Sheeran et al. 2012, Astfalck et al. 2013, O'Sullivan et al. 2013). Alle anderen Arbeiten untersuchten zwar Probanden mit CLBP, ließen die Einschlusskriterien in diesem Punkt aber offener.

Es werden verschiedene Ursachen für eine eingeschränkte Funktion des sensomotorischen Systems bei Menschen mit LBP diskutiert. Möglicherweise werden Rezeptoren, z.B. Muskelspindeln, durch Traumata geschädigt und sind deshalb nicht in der Lage, ihren vollen Beitrag zu einer optimalen Koordination von Wirbelsäulenbewegungen zu leisten (Gill und Callaghan 1998, Brumagne et al. 2000). Dies kann zu Fehlbelastungen und einer erhöhten Verletzungsanfälligkeit der Lendenwirbelsäule führen und somit die Ursache für LBP sein (Freeman und Dean 1965, Parkhurst und Burnett 1994, Brumagne et al. 2000). Ferner ist es möglich, dass die eingeschränkte Funktionsfähigkeit des sensomotorischen Systems die Folge von Schmerzzuständen der LWS ist (O'Sullivan et al. 2003). Denkbar ist etwa, dass die Wahrnehmungsschwelle beteiligter Rezeptoren durch permanenten Schmerzeinfluss oder entzündliche Zustände

verändert wird, was zu einer gestörten Funktion der Rezeptoren führt (Gill und Callaghan 1998, Ebenbichler 2012).

Die Messungen der Winkelreproduktionsfähigkeit im Rahmen dieser Arbeit, ergaben für gesunde Probanden eine durchschnittliche Abweichung von $4,02^\circ$ vom vorgegebenen Winkel. Andere Autoren geben eine Abweichung vom vorgegebenen Winkel zwischen $1,6^\circ$ und $5,6^\circ$ für Gesunde an, sodass der Wert der Kontrollgruppe plausibel erscheint (Gill und Callaghan 1998, Lam et al. 1999, Brumagne et al. 2000, Sheeran et al. 2012, Astfalck et al. 2013, O'Sullivan et al. 2013). O'Sullivan et al. (2003) geben die Abweichung vom vorgegebenen Winkel in Zentimeter und nicht in Grad an, wodurch ein Vergleich mit den hier ermittelten Werten nicht möglich ist. Bei den Rückenschmerzpatienten liegen die Werte anderer Arbeiten weiter auseinander. Die Bandbreite reicht hier von $4,1^\circ$ bis $11,5^\circ$. Die Abweichung der NSCLBP-Gruppe in dieser Studie liegt mit $4,32^\circ$ am unteren Ende, aber innerhalb dieses Bereichs und erscheint somit ebenfalls plausibel.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse anderer Autoren muss beachtet werden, dass fast alle Werte im Stehen oder Sitzen ermittelt wurden (Lam et al. 1999, Brumagne et al. 2000, Sheeran et al. 2012, Astfalck et al. 2013, O'Sullivan et al. 2013). Lam et al. (1999) führten die Untersuchung im Sitzen durch und vermuten, dass diese Position möglicherweise nicht optimal für die Messung der Winkelreproduktionsfähigkeit geeignet ist. Sie begründen dies mit dem Einfluss von Hautrezeptoren in der Gluteal- und Oberschenkelregion, die in sitzender Position gereizt werden und möglicherweise einen unterstützenden Beitrag in der Verarbeitung sensomotorischer Informationen leisten. Auch andere Autoren konnten zeigen, dass die Reizung von Hautrezeptoren sensomotorische Fähigkeiten verbessern kann (Barrett et al. 1991, Alvemalm et al. 1996). Im Vierfüßlerstand ist der Einfluss von Hautreizen geringer als im Sitzen, da die Hautoberfläche in der Umgebung der Lumbalregion keinem erhöhten Reizangebot ausgesetzt ist. Somit spielt die von Lam et al. (1999) beschriebene

Beeinflussung des Stellungssinns im Vierfüßlerstand vermutlich eine geringere Rolle als im Sitzen.

Auch Newcomer et al. (2000b) beschreiben einen möglichen positiven Einfluss von Hautreizen auf den Stellungssinn. In Bezug auf die Messungen dieser Studie trifft das für die auf der Hautoberfläche befestigten Sensoren zu. Bei dieser Messung wurden die Messgurte direkt auf der Hautoberfläche befestigt, sodass dieser Zusammenhang auch hier nicht ausgeschlossen werden kann. Relativierend ist aber zu erwähnen, dass auch bei Studien, die einen Zusammenhang zwischen sensomotorischen Defiziten und LBP zeigen konnten, Oberflächenmarker verwendet wurden (Gill und Callaghan 1998, Brumagne et al. 2000, Allison und Fukushima et al. 2003, O'Sullivan et al. 2003, Hidalgo et al. 2013, O'Sullivan et al. 2013). Der Einfluss auf den Stellungssinn kann also nicht als so groß angesehen werden, als dass durch ihn vorhandene Defizite verdeckt werden.

Die einzige Studie, bei welcher die Autoren den Winkelreproduktionstest im Vierfüßlerstand durchführten stammt von Gill und Callaghan (1998). Für die CLBP-Probanden geben sie eine durchschnittliche Abweichung der von $8,1^\circ$ an. Der Wert weicht deutlich von den hier im Vierfüßlerstand gemessenen $4,32^\circ$ ab. Aufgrund der geringen Zahl an Arbeiten, bei welchen die Winkelreproduktionsfähigkeit im Vierfüßlerstand gemessen wurde, ist es schwierig, die beiden Werte im Hinblick auf ihre Plausibilität zu beurteilen.

5.2.2 Beweglichkeit der Lendenwirbelsäule

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Beweglichkeitsmessungen der Lendenwirbelsäule im Stehen und im Vierfüßlerstand bei Probanden mit NSCLBP und Gesunden durchgeführt.

Sowohl im Stehen ($p=0,037$), als auch im Vierfüßlerstand ($p=0,01$) konnte bei der Flexionsmessung eine signifikant größere ROM bei den Rückenschmerzprobanden gezeigt werden. Bei den Extensionsmessungen bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen.

Auch bei der Betrachtung der totalen sagittalen ROM, also der Addition von Flexion und Extension, zeigte sich eine größere lumbale Beweglichkeit der NSCLBP-Gruppe. Dieser Unterschied ist allerdings weder im Stehen ($p=0,07$), noch im Vierfüßlerstand ($p=0,12$) signifikant.

Analog zu der unter 1.2 formulierten Hypothese war die Erwartung, dass die Probanden der NSCLBP-Gruppe eine geringere lumbale Beweglichkeit aufweisen als die Kontrollprobanden. Hintergrund war die Überlegung, dass Patienten mit NSCLBP schmerzbedingt am Einnehmen endständiger Positionen, wie maximaler Flexion und Extension, gehindert werden (Mayer et al. 1984, Kujala et al. 1997, Shum et al. 2005 a und b, Freddolini et al. 2014). Diese Hypothese konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht bestätigt werden.

Auch andere Autoren konnten einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von LBP und einer vergrößerten ROM der Lendenwirbelsäule herstellen (Howes und Isdale 1971, Biering-Sørensen 1984, Burton et al. 1989).

Burton et al. (1989) untersuchten 216 Schulkinder und 742 Erwachsene und konnten neben einer vergrößerten auch eine verminderte ROM der Lendenwirbelsäule bei Patienten mit LBP zeigen. Die Autoren nennen beide

Zustände als Risikofaktor für LBP und nicht als Folge der Schmerzerkrankung, was jedoch nicht näher begründet wird (Burton et al. 1989).

Das wiederholte Einnehmen maximaler Extensionsbewegungen, beispielsweise bei Tänzern, konnte als Ursache für LBP identifiziert werden. Hierbei werden besonders die posterioren Anteile der LWS geschädigt, was zu Spondylolysis führen kann. Allerdings handelt es sich hierbei um eine spezifische Schmerzursache (Schulitz et al. 1980, Micheli et al. 1995). Howes und Isdale (1971) vermuten eine erhöhte Elastizität des lumbalen Bandapparates als Ursache für Hypermobilität. In gesundem Zustand wird die Wirbelsäule unter anderem durch den Band- und Muskelapparat geschützt, indem zum Beispiel Bewegungen, die über das physiologische Bewegungsausmaß hinausgehen, durch Aktivierung bestimmter Muskelgruppen verhindert werden (Gardner et al. 1995). Geschieht dies nicht, können Gelenkschäden entstehen, welche wiederum mit Schmerzen einhergehen können (Radebold et al. 2000). Umgekehrt können auch exzessive Bewegungen der LWS zu einer Schädigung des lumbalen Bandapparates führen (Adams und Dolan 2012). Generelle Ursachen für eine erhöhte Elastizität der Bänder sind Bindegewebs-erkrankungen wie das Marfan- und Ehlers-Danlos-Syndrom oder durch entzündliche Erkrankungen bedingte Schädigungen der Bänder (Howes und Isdale 1971, Malmivaara et al. 1993, Bravo 2009). Physiologisch kann Hypermobilität bei schwangeren Frauen und Neugeborenen (Clayton 1965) oder als Normvariante auftreten (British Medical Journal 1968).

In der Literatur finden sich auch Arbeiten, die eine verminderte ROM bei Rückenschmerzpatienten im Vergleich zu Gesunden nachweisen konnten (Mayer et al. 1984, Kujala et al. 1997, Shum et al. 2005a, Freddolini et al. 2014).

Kujala et al. (1997) beschreiben eine eingeschränkte ROM bei Jugendlichen mit LBP, die über einen Zeitraum von 3 Jahren untersucht wurden, jedoch nicht an

chronischen Rückenschmerzen litten. Auch bei Probanden mit subakuten Rückenschmerzen in der Lendenwirbelsäule zeigte sich eine eingeschränkte Beweglichkeit (Shum et al. 2005a, Freddolini et al. 2014). Ebenso wurde eine eingeschränkte ROM bei Patienten mit chronischen LBP nachgewiesen (Mayer et al. 1984).

Als Ursache für eine verminderte Rumpfbeweglichkeit bei Menschen mit akuter LBP kommt möglicherweise eine vermehrte Koaktivierung agonistischer und antagonistischer Rumpfmuskulatur infrage. Dies führt zu einer Versteifung und somit Stabilisierung der Wirbelsäule. Möglicherweise wird die LWS bei Menschen mit LBP durch diesen Mechanismus vor Folgeschäden, etwa durch exzessive Bewegungen, geschützt. Zudem wird auch eine akute Schmerzlinderung vermutet, welche möglicherweise durch die eingeschränkte Beweglichkeit bedingt ist (Radebold et al. 2000, van Dieen et al. 2003, Shum et al. 2005 a+b, Freddolini et al. 2014).

Neben den Arbeiten, die Zusammenhänge zwischen LBP und einer eingeschränkten lumbalen Beweglichkeit herstellen konnten, gibt es auch solche, die diese Verbindung nicht nachweisen konnten (Johnson et al. 2013, Esola et al. 1996).

Johnson et al. (2013) konnten keine signifikanten Unterschiede der sagittalen ROM von Gesunden und Probanden mit LBP zeigen. Die relativ kleine Größe der Probandengruppen limitiert jedoch die Aussagekraft der Ergebnisse. Zur gleichen Erkenntnis kamen Esola et al. (1996). Sie untersuchten Menschen mit LBP während der letzten fünf Jahre, die aber zum Zeitpunkt der Messung schmerzfrei waren. Sie wollten damit Effekte akuten Schmerzes auf die Beweglichkeit ausschalten. Es ist aber fraglich, ob hier tatsächlich Probanden mit chronischen Schmerzen untersucht wurden oder ob es sich eher um Menschen mit einer akuten Episode lumbaler Schmerzen in der Vergangenheit handelte.

Panjabi (1992b) empfiehlt, die Stabilität der Wirbelsäule nicht anhand der ROM zu beurteilen. Stattdessen schlägt er vor, Veränderungen des Ausmaßes der Neutralzone zu messen, da diese einen genaueren Parameter hierfür darstelle. Aufgrund der überwiegenden Anzahl der Studien, welche ROM-Messungen zur Beurteilung der Wirbelsäulenstabilität durchgeführt haben, kann die ROM als geeignetes Maß hierfür angesehen werden (Howes und Isdale 1971, Biering-Sørensen 1984, Mayer et al. 1984, Burton et al. 1989, Kujala et al. 1997, Shum et al. 2005a, Freddolini et al. 2014).

Die für die Kontrollgruppe, also für gesunde Probanden ermittelten Werte liegen in dem Bereich, der auch von anderen Autoren für gesunde Menschen angegeben wird (Fitzgerald et al. 1983, Dvořak et al. 1995, McGregor et al. 1995, Ng et al. 2001, Küster 2003, Schünke et al. 2006). Auch die totale sagittale ROM, welche sich durch Addition der gemessenen Winkel von Flexion und Extension berechnen lässt, liegt mit $73,3^\circ$ in der Kontrollgruppe in dem Bereich, den andere Autoren angeben (McGregor et al. 1995, Ng et al. 2001, Küster 2003). Lediglich Dvořak et al. (1995) und Schünke et al. (2006) geben mit 83° und 85° deutlich höhere Werte für die totale sagittale ROM an.

Beim Betrachten der Ergebnisse der anderen Studien fällt eine große Streubreite der angegebenen ROM-Werte auf (Fitzgerald et al. 1983, Dvořak et al. 1995, McGregor et al. 1995, Ng et al. 2001, Küster 2003, Schünke et al. 2006). Mögliche Erklärungsansätze dafür sind unterschiedliche Messtechniken und -verfahren, welche im Folgenden herausgearbeitet werden sollen.

Asamoah et al. (2000) wiesen nach, dass die Ergebnisse von der Art des Messverfahrens beeinflusst werden. Sie verglichen ultraschallgestützte Verfahren mit Techniken, die mit Röntgenstrahlung arbeiten und stellten Differenzen zwischen den gemessenen Winkeln von bis zu $8,7^\circ$ fest. Sie führen dies auf unterschiedliche Ansätze der Winkelberechnung bei den verschiedenen Verfahren zurück.

Malmström et al. (2003) untersuchten die Beweglichkeit der Halswirbelsäule mit einem Goniometer und mittels Ultraschalltopometrie. Sie fanden heraus, dass beide Methoden als zuverlässig anzusehen ist und es keine signifikanten Unterschiede bezüglich der gemessenen ROM gibt.

Bei vorliegender Arbeit wurde die ROM mithilfe der 3-D-Ultraschalltopometrie ermittelt. Dasselbe Verfahren nutzte auch Küster für seine Studie (Küster 2003). Andere eingesetzte Instrumente sind beispielsweise Potentiometer (Dvořak et al. 1995, McGregor et al. 1995), Inklinometer (Ng et al. 2001) und Goniometer (Fitzgerald et al. 1983). Zur Messung der Flexion setzte Fitzgerald et al. (1983) zusätzlich den Schober-Test ein. Hierbei wird die Beweglichkeit allerdings nicht in Grad sondern in Zentimeter bzw. Millimeter angegeben, sodass kein Vergleich mit den, bei vorliegender Studie gemessenen Winkeln möglich ist.

Alle zum Vergleich angegebenen Arbeiten führten die ROM-Messung im Stehen durch (Fitzgerald et al. 1983, Dvořak et al. 1995, McGregor et al. 1995, Ng et al. 2001, Küster 2003). Lediglich bei Schünke et al. (2006) wird nicht angegeben, in welcher Körperposition der Bewegungsumfang ermittelt wurde.

Mehrere Autoren beschreiben, dass viele Probanden bei der Extensionsmessung im Stehen Probleme hatten, das Gleichgewicht zu halten (Reynolds 1975, Dillard et al. 1991, Ng et al. 2001). Um dem zu begegnen, wurden die Probanden bei den Messungen dieser Studie instruiert, darauf zu achten, die Fußsohlen, insbesondere die Zehen, während der Messung nicht vom Boden zu heben.

Um für weitere Stabilität zu sorgen, hätte die Möglichkeit bestanden, das Becken der Probanden während der Messung zu fixieren, wie es in der Arbeit von Ng et al. (2001) der Fall war. Dort wurde das Becken der Probanden während der Untersuchung in einem Metallgestell fixiert, wodurch eine höhere Stabilität, besonders bei der Extension und Lateralflexion, gewährleistet werden

sollte. Panjabi (1992b) beschreibt einen negativen Einfluss auf das Ausmaß der Neutralzone durch externe Fixierung. Dies spricht dafür, auf eine Fixierung während der Messung zu verzichten, da lumbale Bewegungsmuster hierdurch beeinflusst werden und die Anwendbarkeit der Ergebnisse auf Alltagsbewegungen eingeschränkt wird. Im Rahmen dieser Arbeit sollten möglichst natürliche Bewegungen ermöglicht werden, sodass auf eine Fixierung des Beckens verzichtet wurde.

Zusätzlich zu der ROM-Messung im Stehen wurde in dieser Studie eine Messung im Vierfüßlerstand durchgeführt. Mellin et al. (1991) konnten zeigen, dass das Bewegungsausmaß nicht von der Position abhängig ist, in welcher es ermittelt wird. Sie verglichen die Beweglichkeit der Wirbelsäule in liegender, stehender und sitzender Position und stellten keine signifikanten Unterschiede des Bewegungsausmaßes fest. Im Widerspruch zu den Erkenntnissen von Mellin und Mitarbeitern (1991) zeigten sich in dieser Arbeit deutliche Unterschiede der sagittalen ROM zwischen der Messung im Stehen und der im Vierfüßlerstand. Besonders beim Betrachten der totalen sagittalen ROM im Stehen und im Vierfüßlerstand ist eine große Differenz zu erkennen. Diese besteht in beiden Gruppen und beträgt $34,7^\circ$ in der NSCLBP-Gruppe und $29,4^\circ$ in der Kontrollgruppe. Auch in Flexion konnte im Vierfüßlerstand eine geringere Beweglichkeit als im Stehen beobachtet werden (NSCLBP-Gruppe $27,1^\circ$, Kontrollgruppe $19,6^\circ$). Die Anteile von Flexion und Extension an der totalen sagittalen ROM unterschieden sich ebenfalls deutlich, je nachdem ob im Stehen oder im Vierfüßlerstand gemessen wurde. Dieser positionsabhängige Unterschied könnte darin begründet liegen, dass die Wirbelsäule je nach Körperposition unterschiedlichen Kräften ausgesetzt ist. Im Stehen muss das Gewicht des Oberkörpers von der Wirbelsäule getragen werden. Dies ist im Vierfüßlerstand aufgrund der horizontalen Ausrichtung des Oberkörpers nicht in gleichem Maße notwendig (Rohlmann et al. 2001). Diese unterschiedliche Beanspruchung könnte ein Erklärungsansatz für die verschiedenen

Bewegungsmuster in beiden Positionen sein. Olson et al. (2006) konnten einen Einfluss der Schwerkraft auf das Bewegungsverhalten der Rumpfmuskulatur nachweisen, indem sie die elektrische Muskelaktivität im Stehen und im Liegen untersuchten. Möglicherweise spielt der Einfluss der Schwerkraft auf die Beweglichkeit der Lendenwirbelsäule auch bei den Messunterschieden zwischen Stehen und Vierfüßlerstand in dieser Studie eine Rolle.

Ein direkter Vergleich der Werte für die LWS-Beweglichkeit im Vierfüßlerstand mit anderen Arbeiten ist aufgrund der geringen Studienanzahl zu diesem Thema schwierig. Lediglich Gill und Callaghan (1998) führten ROM-Messungen der Lendenwirbelsäule im Vierfüßlerstand durch. Konkrete Werte lassen sich jedoch nicht vergleichen, da die Autoren nur beschreiben, die ROM gemessen zu haben, jedoch keine Messwerte angaben. Andere Studien, die sich mit der lumbalen ROM im Vierfüßlerstand beschäftigen, konnten bei der Literaturrecherche nicht auffindig gemacht werden. Es gibt jedoch Studien, die den Vierfüßlerstand als Ausgangsposition für Kräftigungsübungen der lumbalen Muskulatur bei LBP empfehlen (Koumantakis 2001, Eicke-Wieser und Klein-Vogelbach 2006, Kim et al. 2015). Insofern kann der Vierfüßlerstand als relevante Position im Zusammenhang mit LBP betrachtet werden.

Die Anzahl der Messwiederholungen in anderen Studien reicht von eins (Ng et al. 2001) bis fünf (Dvořák et al. 1995). In keiner der angegebenen Studien wird begründet, warum die jeweilige Anzahl an Messwiederholungen gewählt wurde. Eine einmalige Messung erscheint zu wenig, um repräsentative Werte zu erhalten, da hier die Fehleranfälligkeit hoch ist. Je häufiger gemessen wird, desto genauer kann der Mittelwert bestimmt werden (Weltner 2012). Andererseits muss bedacht werden, dass die lumbalen Strukturen mit zunehmender Wiederholungszahl stärker gedehnt werden. Das kann zu einer vergrößerten ROM führen. Åsell et al. (2006) vermuten zudem, dass die Konzentration der Probanden mit zunehmender Messdauer abnimmt, das

sehen sie als Argument gegen eine hohe Anzahl von Messwiederholungen. Die Mehrzahl der Autoren führte drei Messwiederholungen durch (Fitzgerald et al. 1983, McGregor 1995, Küster 2003). Auch bei vorliegender Studie wurde diese Anzahl gewählt.

5.2.3 Konklusion

Im Rahmen dieser Arbeit konnte keine Beeinträchtigung des Stellungssinns, als Teil des sensomotorischen Systems, bei Menschen mit chronischen Schmerzen der LWS nachgewiesen werden. Die Probanden der Schmerzgruppe wichen beim Winkelreproduktionstest zwar um $0,3^\circ$ weiter von der Zielposition ab als die Kontrollgruppe, allerdings ist dies kein signifikanter Unterschied. Dies stimmt mit den Ergebnissen einiger Arbeiten überein (Lam et al. 1999, Newcomer et al. 2000b, Koumantakis et al. 2002, Åsell et al. 2006), widerspricht allerdings der formulierten Hypothese und den Ergebnissen zahlreicher anderer Studien (Parkhurst und Burnett 1994, Gill und Callaghan 1998, Brumagne et al. 2000, Newcomer et al. 2000a, O'Sullivan et al. 2003, Sheeran et al. 2012, Astfalck et al. 2013, O'Sullivan et al. 2013). Insbesondere die Arbeiten, die sich speziell mit unspezifischen Rückenschmerzen der LWS beschäftigt haben, konnten eingeschränkte sensomotorische Fähigkeiten bei NSCLBP-Probanden zeigen (Sheeran et al. 2012, Astfalck et al. 2013, Hidalgo et al. 2013, O'Sullivan et al. 2013).

Auch die Tatsache, dass einige Autoren die Wirksamkeit eines sensomotorischen Trainings bei Rückenschmerzpatienten belegen konnten, lässt einen Zusammenhang zwischen Defiziten sensomotorischer Fähigkeiten und dem Auftreten von NSCLBP vermuten (Del Pozo-Cruz 2011, Perich et al. 2011, Schröder et al. 2013). Dieser konnte am untersuchten Probandenkollektiv nicht gezeigt werden. Zukünftige Arbeiten sollten die nicht abschließend geklärte Kausalität eingeschränkter sensomotorischer Fähigkeiten und NSCLBP weiter untersuchen.

Auch die Hypothese, Menschen mit chronisch unspezifischen Schmerzen der Lendenwirbelsäule hätten eine eingeschränkte lumbale Beweglichkeit, konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht verifiziert werden. Vielmehr weisen die Ergebnisse auf einen Zusammenhang zwischen vergrößerter lumbaler Beweglichkeit in Flexion und dem Vorhandensein von LBP hin. Auch in den übrigen Bewegungsrichtungen war die Beweglichkeit in der NSCLBP-Gruppe größer, wenn auch nicht signifikant. Dies stimmt mit den Erkenntnissen einiger Autoren überein (Biering-Sørensen 1984, Burton 1989, Sullivan 1994), andere sehen keinen Zusammenhang (Johnson et al. 2013, Esola et al. 1996) oder konnten, analog zur formulierten Hypothese, eine verminderte lumbale Mobilität bei Menschen mit CLBP feststellen (Mayer et al. 1984, Kujala et al. 1997, Shum et al. 2005 a+b, Freddolini et al. 2014).

Als mögliche Ursachen für eine vergrößerte lumbale ROM kommen geschädigte Bandapparate oder Gelenkschäden in Frage (Clayton 1965, Howes und Isdale 1971). Eine vergrößerte lumbale Mobilität muss jedoch nicht unbedingt Ausdruck einer Erkrankung sein, sondern kann auch als Normvariante auftreten (British Medical Journal 1968). Aus diesem Grund gibt es Autoren, die bezweifeln, dass die Quantifizierung der ROM ein geeignetes Mittel ist, um Gesunde von Erkrankten zu unterscheiden (Esola et al. 1996, Natrass et al. 1999). Die große Zahl der Arbeiten, die signifikante Veränderungen der lumbalen Beweglichkeit bei CLBP festgestellt haben, spricht jedoch für die Bedeutung der Beweglichkeitsuntersuchung in der Rückenschmerzdiagnostik (Biering-Sørensen 1984, Burton 1989, Sullivan 1994, Mayer et al. 1984, Kujala et al. 1997, Shum et al. 2005 a+b, Freddolini et al. 2014).

Bislang konnte nicht zufriedenstellend geklärt werden, ob Veränderungen der Rumpfbeweglichkeit bei Menschen mit LBP Ursache oder Folge der Rückenschmerzen sind. ROM-Veränderungen werden von einigen Autoren als

Kompensationsmechanismus angesehen, um Schmerzen und Folgeschäden zu vermeiden (Shum et al 2005 a+b, Freddolini et al. 2014). Es gibt jedoch auch Überlegungen, wonach Beweglichkeitsveränderungen der Entstehung von LBP zugrunde liegen (Freddolini et al. 2014).

Die Klärung dieses Sachverhaltes könnte Gegenstand zukünftiger Studien sein, da diesem eine große Bedeutung im Hinblick auf Therapieansätze zukommt. Wäre die vergrößerte lumbale ROM Ursache der Schmerzen, könnte es sinnvoll sein, das Bewegungsausmaß, etwa durch gezieltes Training, wieder in einen physiologischen Bereich zu bringen. Falls die Veränderungen der lumbalen Beweglichkeit Folge der Schmerzerkrankung sind, wäre es möglicherweise wichtiger, eine adäquate Schmerztherapie einzuleiten (Freddolini et al. 2014).

Auch mit dieser Arbeit ist es nicht gelungen, die Rolle von Veränderungen der lumbalen Beweglichkeit in der Pathogenese und Diagnostik von nicht-spezifischen lumbalen Rückenschmerzen abschließend zu klären. Hierzu sind möglicherweise umfangreichere Messungen an einer größeren Probandenzahl nötig. Wegen der großen Zahl betroffener Patienten, sollten auch in Zukunft weitere Anstrengungen unternommen werden, ein besseres Verständnis für chronisch unspezifische Rückenschmerzen zu erlangen.

6. Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die lumbale Beweglichkeit und die Winkelreproduktionsfähigkeit von 20 Probanden mit chronisch unspezifischen Rückenschmerzen und 20 gesunden Kontrollprobanden untersucht. Die Auswahl der Probanden der NSCLBP-Gruppe erfolgte mit dem Ziel, eine repräsentative Stichprobe für das untersuchte Krankheitsbild zu finden. Die beiden Gruppen unterscheiden sich sowohl im Hinblick auf das Alter der Probanden, als auch auf die Geschlechterverteilung nicht signifikant. Somit ist ein Vergleich gerechtfertigt.

Die 3-D-Ultraschalltopometrie wurde bereits als adäquates und reliables Messverfahren zur Untersuchung lumbaler Beweglichkeit beschrieben. Auch der Winkelreproduktionstest wird von vielen Autoren als geeignetes Mittel zur Überprüfung der Funktion des Stellungssinns angesehen. Dieser Sinn ist Teil des sensomotorischen Systems und kann daher als Indikator für die Beurteilung sensomotorischer Fähigkeiten genutzt werden.

Bei der Beweglichkeitsmessung der Lendenwirbelsäule konnte eine signifikant vergrößerte ROM der NSCLBP-Probanden in Flexion gezeigt werden. Dies gilt sowohl für die Messung im Stehen, als auch für die im Vierfüßlerstand. Auch für die Extension und die totale sagittale ROM zeigten sich Unterschiede, die jedoch nicht signifikant sind.

Bezüglich der Winkelreproduktionsfähigkeit konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen gezeigt werden. Hieraus kann nicht geschlossen werden, dass bei Menschen mit NSCLBP eine Beeinträchtigung sensomotorischer Fähigkeiten vorliegt.

Mit diesen Untersuchungen konnten beide aufgestellten Hypothesen (vgl. 1.2) widerlegt werden. Für beide untersuchten Parameter finden sich in der Literatur widersprüchliche Erkenntnisse. Weitere Studien sollten überprüfen, ob die

Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zu verifizieren sind. Neben der Untersuchung biomechanischer Parameter sollte an neuen Therapiemöglichkeiten geforscht werden, da chronisch unspezifische Rückenschmerzen der Lendenwirbelsäule, aufgrund der großen Zahl betroffener Menschen, eine wichtige volkswirtschaftliche und gesundheitspolitische Bedeutung haben.

6.1 Zusammenfassung in englischer Sprache

This study investigated the lumbar mobility and target position abilities of twenty subjects, who suffered from nonspecific chronic low back pain (NSCLBP) and twenty healthy subjects. The selection criteria of the NSCLBP-group were chosen in order to find a representative sample of the investigated disease. There were no significant differences in regard to age and sex distribution between both groups. The hypotheses were:

- Subjects with NSCLBP show reduced target position abilities.
- Subjects with NSCLBP show reduced lumbar mobility.

Threedimensional ultrasound topometry has in advance been described as an adequate and reliable method to investigate lumbar mobility. Furthermore the target position test has before been found suitable to investigate the functioning of the position sense. This sense is part of the sensorimotor system and can therefore be used as an indicator for sensorimotor abilities.

The measurement of lumbar mobility showed a significantly larger range of motion (ROM) in flexion position in the NSCLBP-group. This applies for the examination in standing position as well as for the four-point-kneeling position. The differences between both groups concerning ROM in extension position and total sagittal ROM were not significant. Regarding target position abilities no significant differences were shown. In conclusion, the evaluation of the data of this study revealed no impairment of sensorimotor abilities in subjects with NSCLBP.

The results of this study disprove both hypotheses. Further studies should investigate the reproducibility of the measured data. Future research studies should aim for the improvement of existing therapies and the establishment of new methods of treatment for NSCLBP, as this disease has great importance in socioeconomic and health policy terms.

7. Abkürzungsverzeichnis

CLBP = chronic low back pain

Hz = Hertz

L1-5 = Lendenwirbelkörper 1-5

LBP = low back pain

LWS = Lendenwirbelsäule

LWK = Lendenwirbelkörper

m = Meter

m/sec = Meter pro Sekunde

NRS = Numerische Ratingskala

NSCLBP = nonspecific chronic low back pain

ROM = range of motion, Bewegungsumfang

S1-5 = Kreuzbeinwirbelkörper 1-5

SD = standard deviation, Standardabweichung

Th1-12 = Brustwirbelkörper 1-12

ZNS = Zentrales Nervensystem

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Flussdiagramm: Akquise der Probanden

Abbildung 2: Aufbau des CMS-HS-Gerätes

Abbildung 3: Proband bei der ROM-Messung im Stehen

Abbildung 4: Proband bei der ROM-Messung im Vierfüßlerstand

Abbildung 5: Beweglichkeit der Lendenwirbelsäule im Stehen

Abbildung 6: Beweglichkeit der Lendenwirbelsäule im Vierfüßlerstand

Abbildung 7: Messergebnisse: Flexionsmessung im Stehen

Abbildung 8: Messergebnisse: Extensionsmessung im Stehen

Abbildung 9: Messergebnisse: Totale sagittale ROM im Stehen

Abbildung 10: Anteile von Flexion und Extension an der totalen sagittalen ROM im Stehen

Abbildung 11: Messergebnisse: Flexionsmessung im Vierfüßlerstand

Abbildung 12: Messergebnisse: Extensionsmessung im Vierfüßlerstand

Abbildung 13: Messergebnisse: Totale sagittale ROM im Vierfüßlerstand

Abbildung 14: Anteile von Flexion und Extension an der totalen sagittalen ROM im Vierfüßlerstand

Abbildung 15: Messergebnisse: Winkelreproduktionstest

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: ROM der Lendenwirbelsäule. Angaben verschiedener Autoren

Tabelle 2: Ein- und Ausschlusskriterien der NSCLBP-Gruppe

Tabelle 3: Ein- und Ausschlusskriterien der Kontrollgruppe

Tabelle 4: Darstellung der anthropometrischen Daten aller Probanden

Tabelle 5: Übersicht der Werte der Flexionsmessung im Stehen

Tabelle 6: T-Test: Flexion im Stehen

Tabelle 7: Übersicht der Werte der Extensionsmessung Stehen

Tabelle 8: T-Test: Extension im Stehen

Tabelle 9: Übersicht der Werte der totalen sagittalen ROM im Stehen

Tabelle 10: T-Test: Totale sagittale ROM im Stehen

Tabelle 11: Übersicht des Anteils der Flexion an der totalen sagittalen ROM

Tabelle 12: Übersicht des Anteils der Extension an der totalen sagittalen ROM

Tabelle 13: T-Test: Anteile von Flexion und Extension an der totalen sagittalen ROM im Stehen

Tabelle 14: Übersicht der Werte der Flexionsmessung im Vierfüßlerstand

Tabelle 15: T-Test: Flexion im Vierfüßlerstand

Tabelle 16: Übersicht der Werte der Extensionsmessung im Vierfüßlerstand

Tabelle 17: T-Test: Extension im Vierfüßlerstand

Tabelle 18: Übersicht der Werte der totalen sagittalen ROM im Vierfüßlerstand

Tabelle 19: T-Test: Totale sagittale ROM im Vierfüßlerstand

Tabelle 20: Übersicht des Anteils der Flexion an der totalen sagittalen ROM

Tabelle 21: Übersicht des Anteils der Extension an der totalen sagittalen ROM

Tabelle 22: T-Test: Anteile von Flexion und Extension an der totalen sagittalen ROM im Vierfüßlerstand

Tabelle 23: Übersicht der mittleren Abweichung beim Winkelreproduktionstest

Tabelle 24: T-Test: Mittlere Abweichung beim Winkelreproduktionstest im Vierfüßlerstand

Tabelle 25: Messdaten ROM im Stehen: NSCLBP-Gruppe

Tabelle 26: Messdaten ROM im Stehen: Kontrollgruppe

Tabelle 27: Messdaten ROM im Vierfüßlerstand: NSCLBP-Gruppe

Tabelle 28: Messdaten ROM im Vierfüßlerstand: Kontrollgruppe

Tabelle 29: Messdaten Winkelreproduktionstest: NSCLBP-Gruppe

Tabelle 30: Messdaten Winkelreproduktion: Kontrollgruppe

10. Literaturverzeichnis

Adams M, Dolan P (2012) Biomechanik der Lendenwirbelsäule in: Hildebrandt J, Pfingsten M. *Rückenschmerz und Lendenwirbelsäule*. 2. Auflage. Urban & Fischer. München. 22-34.

Airaksinen O, Hildebrandt J, Ursin H, Reis S, Zanoli G, Cedraschi C, Kovacs F. (2004) European Guidelines For The Management Of Chronic Non-Specific Low Back Pain. [Online im Internet] URL: www.backpaineurope.org/web/files/WG2_Guidelines.pdf [Stand: 16.08.2015, 21:36].

Allison GT, Fukushima S (2003) Estimating Three-Dimensional Spinal Repositioning Error: The Impact of Range, Posture and Number of Trials. *Spine*. 28 (22): 2510-2516.

Alvemalm A, Furness A, Wellington L (1996) Measurement of shoulder joint kinesthesia. *Man Ther*. 1:140-145.

Armstrong B, McNair P, Taylor D (2008) Head and neck position sense. *Sports Med*. 38 (2): 101-17.

Asamoah V, Mellerowicz H, Venus J, Klöckner C (2000) Oberflächenvermessung des Rückens. Wertigkeit in der Diagnostik der Wirbelsäulenerkrankungen. *Orthopäde*. 29 (6): 480-489.

Åsell M, Sjölander P, Kershbaumer H, Djupsjöbacka M (2006) Are Lumbar Repositioning Errors Larger Among Patients With Chronic Low Back Pain Compared With Asymptomatic Subjects? *Arch Phys Med Rehabil*. 87: 1170-1176.

Astfalck RG, O'Sullivan PB, Smith AJ, Straker LM, Burnett AF (2013) Lumbar Spine Repositioning Sense In Adolescents With And Without Non-Specific Chronic Low Back Pain - An Analysis Based On Sub-Classification And Spinal Regions. *Man Ther.* 18: 410-417.

Balagué F, Mannion AF, Pellisé F, Cedraschi C (2012) Non-Specific Low Back Pain. *Lancet.* 379: 482-491.

Barrett DS, Cobb AG, Bentley G (1991) Joint proprioception in normal osteoarthritic and replaced knees. *J Bone Joint Surg.* 73B: 53-56.

Benedetti MG, Catani F, Leardini A, Pignotti E, Giannini S (1998) Data management in gait analysis for clinical applications. *Clin Biomech.* 13: 204-215.

Biering-Sørensen F (1984) Physical Measurements As Risk Indicators For Low-Back Trouble Over A One-Year Period. *Spine.* 9 (2): 106-119.

Bohn D (1988) Environmental Effects on the Speed of Sound. *J Audio Eng Soc.* 36 (4): 223-231.

Bolten W, Kempel-Waibel A, Pförringer W (1998) Analyse der Krankheitskosten bei Rückenschmerzen. *Med Klin.* 93 (6): 388-393.

Boucher JA, Normand MC, Boisseau É, Descarreaux M (2015) Sensorimotor control during peripheral muscle vibration: an experimental study. *J Manipulative Physiol Ther.* 38 (1): 35-43.

Bravo JF (2009) Ehlers-Danlos syndrome, with special emphasis in the joint hypermobility syndrome. *Rev Med Chil.* 137 (11): 1488-97.

British Medical Journal (1968) Hypermobility joints. *BMJ.* 1 (5592): 596.

Brumagne S, Lysens R, Spaepen A (1999) Lumbosacral position sense during pelvic tilting in men and women without low back pain: Test development and reliability assessment. *J Orthop Sports Phys Ther.* 29: 345–51.

Brumagne S, Cordo P, Lysens R, Verschueren S, Swinnen S (2000) The Role Of Paraspinal Muscle Spindles In Lumbosacral Position Sense In Individuals With And Without Low Back Pain. *Spine.* 25 (8): 989-994.

Bundesärztekammer (BÄK), Kassenärztliche Bundesvereinigung (KBV), Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF). Nationale Versorgungsleitlinie Kreuzschmerz – Langfassung. Version 1.X. 2010. [Online im Internet.] URL: <http://www.versorgungsleitlinien.de/themen/kreuzschmerz> [Stand: 17.08.2015, 18:51].

Burton AK, Tillotson KM, Troup JDG (1989) Variation in Lumbar Sagittal Mobility with Low-Back Trouble. *Spine.* 14 (6): 584-590.

Capozzo A, Catani F, Leardini A (1993) Skin movement artefacts in human movement photogrammetry. *International Society of Biomechanics.* XIVth congress, Paris. 238-239.

Casser HR (2012) Definition, Epidemiologie und sozioökonomische Bedeutung des nichtspezifischen Kreuzschmerz. *Orthopäde.* 41: 311–312.

Chaffin DB, Anderson GB (1984) Occupational Biomechanics. John Wiley & Sons. New York.

Clayton ML (1965) Surgical Treatment at the Wrist in Rheumatoid Arthritis. *J Bone Joint Surg Am.* 47 (4): 741-744.

Dagenais S, Tricco AC, Haldeman S (2010) Synthesis Of Recommendations For The Assessment And Management Of Low Back Pain From Recent Clinical Practice Guidelines. *Spine J.* 10 (6): 514-529.

Dalichau S, Scheele K (2000) Die Winkelreproduktionsfähigkeit der Lendenwirbelsäule männlicher Turner, Tennis- und Hockeyspieler. *Dtsch Z Sportmed.* 51 (1): 21-25.

Darrieutort-Laffite C, Bart G, Planche L, Glemarec J, Maugars Y, Le Goff B (2015) Usefulness of a pre-procedure ultrasound scanning of the lumbar spine before epidural injection in patients with a presumed difficult puncture: A randomized controlled trial. *Joint Bone Spine.* E-Publish ahead of print Mar 9.

Davies GJ, Dickoff-Hoffman S (1993). Neuromuscular testing and rehabilitation of the shoulder complex. *J Orthop Sports Phys Ther.* 18: 449–58.

Deetjen, Speckmann, Hescheler (2005) *Physiologie.* Urban&Fischer. München.

Del Pozo-Cruz B, Hernández Mocholí MA, Adsuar JC, Parraca JA, 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. *J Rehabil Med.* 43 (8): 689-94.

Deyo RA, Rainville J, Kent DL (1992) What Can The History And Physical Examination Tell Us About Low Back Pain? *JAMA.* 268 (6): 760-765.

Dillard J, Trafimow J, Andersson GB, Cronin K (1991) Motion of the lumbar spine. Reliability of two measurement techniques. *Spine.* 16: 321-324.

Dörflinger M (2008) Die Ultraschall-3D-Funktionstopometrie in der klinischen Diagnostik degenerativer Prozesse der lumbalen Wirbelsäule. Medizinische Dissertation. Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Dvir Z, Prushansky T (2000) Reproducibility and instrument validity of a new ultrasonography-based system for measuring cervical spine kinematics. *Clin Biomech.* 15: 658-664.

Dvořák J, Panjabi MM, Novotny JE, Chang DG, Grob D (1991) Clinical validation of functional flexion-extension roentgenograms of the lumbar spine. *Spine.* 16 (8): 943-950.

Dvořák J, Vajda EG, Panjabi MM (1995) Normal Motion Of The Lumbar Spine As Related To Age And Gender. *Eur Spine J.* 4: 18-23.

Ebenbichler G (2012) Sensomotorik und Stabilität. In: Hildebrandt J, Pfingsten M. *Rückenschmerz und Lendenwirbelsäule.* 2. Auflage. Urban & Fischer. München. 46-55.

Eicke-Wieser K, Klein-Vogelbach S (2006) FBL Klein-Vogelbach Functional Kinetics: Therapeutische Übungen. 5. Auflage. Springer Verlag.

Endean A, Palmer KT, Coggon D (2011) Potential Of Magnetic Resonance Imaging Findings To Refine Case Definition For Mechanical Low Back Pain In Epidemiological Studies: A Systematic Review. *Spine.* 36 (2): 160-169.

Esola MA, McClure PW, Fitzgerald GK, Siegler S (1996) Analysis of Lumbar Spine and Hip Motion During Forward Bending in Subjects With and Without a History of Low Back Pain. *Spine.* 21 (1): 71-78.

Fahland RA, Schmidt CO, Raspe H, Feng YS, Kohlmann T(2012) Epidemiologie und sozioökonomische Bedeutung. In: Hildebrandt J, Pfingsten M. *Rückenschmerz und Lendenwirbelsäule.* 2. Auflage. Urban & Fischer. München. 6-20.

Fitzgerald GK, Wynveen K, Rheault W, Rothschild B (1983) Objective Assessment with Establishment of Normal Values for Lumbar Spinal Range of Motion. *Phys Ther.* 63 (11): 1776-1781.

Flaherty SA (1996) Pain Measurement Tools For Clinical Practice And Research. *AANA J.* 64 (2): 133-140.

Frank A (1993) Low Back Pain. *BMJ.* 306: 901-909.

Franke H, Franke JD, Frye G (2014) Osteopathic manipulative treatment for nonspecific low back pain: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord.* 15: 286.

Freddolini M, Strike S, Lee R (2014) Dynamic Stability of the Trunk During Unstable Sitting in People With Low Back Pain. *Spine.* Publish Ahead of Print.

Freeman M, Dean M (1965) The Etiology and Prevention of Functional Instability of the Foot. *J Bone Joint Surg (Br).* 47B (4):678-985.

Furlan AD, Giraldo M, Baskwill A, Irvin E, Imamura M (2015) Massage for low-back pain. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015 Sep.

Gardner, Morse M, Stokes IAF, Laible JP (1995) Role of muscles in lumbar spine stability in maximum extension efforts. *J Orthop Res.* 13:802–8.

Georgy EE. (2011) Lumbar repositioning accuracy as a measure of proprioception in patients with back dysfunction and healthy controls. *Asian Spine J.* 5(4):201-7.

Gill KP, Callaghan MJ (1998) The Measurement Of Lumbar Proprioception In Individuals With And Without Low Back Pain. *Spine.* 23 (3): 371-377.

Göbel H (2001) Epidemiologie und Kosten chronischer Schmerzen. *Schmerz*. 15 (2): 92-98.

Gracovetsky S, Newman N, Pawlowsky M, Lanzo V, Davey B, Robinson L (1995) A Database for Estimating Normal Spinal Motion Derived From Noninvasive Measurements. *Spine*. 20 (9): 1036-1046.

Hayes J, Borges B, Armstrong D, Srinivasan I (2014) Accuracy of manual palpation vs ultrasound for identifying the L3-L4 intervertebral space level in children. *Paediatr Anaesth*. 24 (5): 510-5.

Hidalgo B, Gobert F, Bragard D, Detrembleur C (2013) Effects of proprioceptive disruption in lumbar spine repositioning error in a trunk forward bending task. *J Back Musc Rehab*. 26: 381-387.

Hildebrandt J, Müller G, Pflingsten M (2005a) *Lendenwirbelsäule. Ursachen, Diagnostik*. Urban & Fischer. München.

Hildebrandt J, Mannion, AF, Brox JI, Kovacs F, Klüber-Moffett J, Staal B (2005b) Evidenz der Bewegungstherapie und Manuellen Therapie bei chronischen nichtspezifischen Rückenschmerzen – Darstellung der Europäischen Leitlinien – Teil 1 und 2. *Physioscience*. 1: 59-71.

Himmelreich H, Stefanicki E, Banzer W (1998) Die ultraschallgesteuerte Anthropometrie (UGA) – Zur Entwicklung eines neuen Verfahrens in der Asymmetriediagnostik. *Sportverl Sportschad*. 2: 60-65

Hoogendoorn WE, Bongers PM, de Vet HC, Ariens GA, van Mechelen W, Bouter LM (2002) High physical work load and low job satisfaction increase the risk of sickness absence due to low back pain: results of a prospective cohort study. *Occup Environ Med*. 59 (5): 323-328.

Howes RG, Isdale IC (1971) The loose back: an unrecognized Syndrome. *Rheum Phys Med.* 11: 72-77.

Hung YJ, Darling WG (2012) Shoulder position sense during passive matching and active positioning tasks in individuals with anterior shoulder instability. *Phys Ther.* 92 (4): 563-73.

Janwantanakul P, Magarey ME, Jones MA, Dansie BR (2001) Variation in shoulder position sense at mid and extreme range of motion. *Arch Phys Med Rehabil.* 82 (6): 840-4.

Johnson JM, Mahfouz M, Battaglia NV, Sharma A, Cheng JS, Komistek RD (2013) Clinical And Statistical Correlation Of Various Lumbar Pathological Conditions. *J Biomech.* 46 (4): 683-688.

Kamali F, Panahi F, Ebrahimi S, Abbasi L (2014) Comparison between massage and routine physical therapy in women with subacute and chronic nonspecific low back pain. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 27 (4): 475-80.

Kaplan FS, Nixon JE, Reitz M, Rindfleish L, Tucker J (1985) Age-Related Changes In Proprioception and Sensation of Joint Position. *Acta Orthopaedica,* 56 (1): 72–74.

Khorsan R, Coulter ID, Hawk C, Choate CG (2008) Measures in Chiropractic Research: Choosing Patient-Based Outcome Assessments. *J Manipulative Physiol Ther.* 31 (5): 355-375.

Kim JS, Kang MH, Jang JH, Oh JS (2015) Comparison of selective electromyographic activity of the superficial lumbar multifidus between prone trunk extension and four-point kneeling arm and leg lift exercises. *J Phys Ther Sci.* 27 (4): 1037-9.

Kirkaldy-Willis W (1985) Presidential Symposium on Instability of the Lumbar Spine: Introduction. *Spine*. 10 (3): 254.

Klinke R, Pape HC, Kurtz A, Silbernagl S (2005) *Physiologie*. Thieme. Stuttgart.

Koes BW, van Tulder MW, Thomas S (2006) Diagnosis and Treatment of Low Back Pain. *BMJ* 332: 1430–1434.

Kohlmann T (2003) Die Chronifizierung von Rückenschmerzen. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz*. 46 (4): 327-335

Koumantakis GA, Oldham JA, Winstanley J (2001) Intermittent isometric fatigue study of the lumbar multifidus muscle in four-point kneeling: an intra-rater reliability investigation. *Man Ther*. 6 (2): 97-105.

Koumantakis G, Winstanley J, Oldham JA (2002) Thoracolumbar Proprioception in Individuals with and Without Low Back Pain: Intratester Reliability, Clinical Applicability and Validity. *Orthop Sports Phys Ther*. 32: 327–335.

Kovacs FM, Abaira V, Zamora J, Fernandez C (2005) The Transition from Acute to Subacute and Chronic Low Back Pain: A Study Based on Determinants of Quality of Life and Prediction of Chronic Disability. *Spine*. 30 (15): 1786–1792.

Küster M (2003) Dreidimensionale Ultraschalltopometrie der Wirbelsäule und Maximalkraftmessung der Rumpfmuskulatur bei Jugendlichen. *Dtsch Z Sportmed*. 54 (12): 352-354.

Kujala U, Taimela S, Oksanen A, Salminen J (1997) Lumbar Mobility And Low Back Pain During Adolescence. *Am J Sports Med*. 25 (3): 363-368.

Kumle B, Wilke P, Koppert W, Kumle K, Gries A (2013) Schmerztherapie in der Notaufnahme. *Anästhesist*. 62 (11): 902-913.

Lachin JM (1981) Introduction to Sample Size Determination and Power Analysis for Clinical Trials. *Contr Clin Trials*. 93-113.

Lam S, Jull G, Treleaven J (1999) Lumbar Spine Kinesthesia in Patients with Low Back Pain. *J Orthop Sports Phys Ther*. 29 (5): 294-299.

Lamoth CJC, Daffertshofer A, Meijer OG, Lorimer Moseley G, Wuisman PIJM, Beek, PJ (2004). Effects of Experimentally Induced Pain and Fear of Pain on Trunk Coordination and Back Muscle Activity during Walking. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 19 (6): 551-563.

Lamoth CJC, Daffertshofer A, Meijer OG, Beek, PJ (2006). How Do Persons With Chronic Low Back Pain Speed Up And Slow Down? Trunk-Pelvis Coordination and Lumbar Erector Spinae Activity during Gait. *Gait & Posture*. 23 (2): 230-239.

Layher F, Sander K (1993) Der Einfluss der Wirbelsäulenmarkierung auf die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse bei der 3-D-Bewegungsanalyse. *Biomed Tech*. 38: 369-370.

Lee CE, Simmonds MJ, Etnyre MR, Morris RS (2007) Influence of Pain Distribution on Gait Characteristics in Patients with Low Back Pain. Part 1: Vertical Ground Reaction Force. *Spine*. 32 (12): 1329-1336.

Lephart SM, Picivero DM, Giraldo JL, Fu FH (1997) The Role of Proprioception in the Management and Rehabilitation of Athletic Injuries. *Am J Sports Med*. 25 (1): 130-137.

Malmivaara A, Laitinen ML, Savolainen A, Tallroth K, Zitting A, Kaitila I (1993) Lumbar spine mobility in Marfan syndrome. A clinical and radiological study. *Eur Spine J.* 2 (4): 230-4.

Malmström EM, Karlberg M, Melander A, Magnusson M (2003) Zebris versus Myrin: A Comparative Study between a Three-Dimensional Ultrasound Movement Analysis and an Inclinator/Compass Method. *Spine.* 28 (21): E433-E440.

Mayer TG, Tencer AF, Kristofferson S, Mooney V (1984) Use of Noninvasive Techniques for Quantification of Spinal Range-of-Motion in Normal Subjects and Chronic Low-Back Dysfunction Patients. *Spine.* 9 (6): 588-595.

McCaskey MA, Schuster-Amft C, Wirth B, Suica Z, de Bruin ED (2014) Effects of proprioceptive exercises on pain and function in chronic neck- and low back pain rehabilitation: a systematic literature review. *BMC Musculoskelet Disord.* 15: 382.

McGregor AH, McCarthy ID, Hughes SP (1995) Motion Characteristics of the Lumbar Spine in the European Guidelines for the Management of Chronic Non-Specific Low Back Pain Normal Population. *Spine.* 20 (22): 2421-2428.

Mellin G, Kiiski R, Weckstrom A (1991) Effects of Subjects Position on Measurements of Flexion, Extension and Lateral Flexion of the Spine. *Spine.* 16 (9): 1108-1110.

Mense S (2005) Neurobiologie des unspezifischen Rückenschmerzes, in: Hildebrandt J, Müller G, Pfingsten M. *Lendenwirbelsäule. Ursachen, Diagnostik.* Urban & Fischer. München. 124-138.

Micheli LJ, Wood R (1995) Back pain in young athletes. Significant differences from adults in causes and patterns. *Arch Pediatr Adolesc Med.* 149: 15-18.

Moll JMH, Wright V (1971) Normal range of spinal mobility. *Ann Rheum Dis.* 30: 381-386.

Natour J, Cazotti Lde A, Ribeiro LH, Baptista AS, Jones A (2015) Pilates improves pain, function and quality of life in patients with chronic low back pain: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil.* 29 (1): 59-68.

Nattrass CL, Nitschke JE, Disler PB, Chou MJ, Ooi KT (1999) Lumbar spine range of motion as a measure of physical and functional impairment: an investigation of validity. *Clin Rehabil.* 13 (3): 211-8.

Newcomer K, Laskowski E, Yu B, Johnson JC, An KN (2000a) Differences In Repositioning Error Among Patients With Low Back Pain Compared With Control Subjects. *Spine.* 25 (19): 2488-2493.

Newcomer K, Laskowski E, Yu B, Larson D, An KN (2000b) Repositioning Error In Low Back Pain Comparing Trunk Repositioning Error In Subjects With Chronic Low Back Pain And Control Subjects. *Spine.* 25 (2): 245-250.

Ng J, Kippers V, Richardson C, Parnianpour M (2001) Range Of Motion and Lordosis of the Lumbar Spine. *Spine.* 26 (1): 53-60.

O'Sullivan PB, Burnett A, Floyd AN, Gadsdon K, Logiudice J, Miller D, Quirke H (2003) Lumbar Repositioning Deficit In A Specific Low Back Pain Population. *Spine.* 28 (10): 1074-1079.

O'Sullivan K, Verschueren S, Van Hoof W, Ertanir F, Martens L, Dankaerts W (2013) Lumbar Repositioning Error In Sitting: Healthy Controls Versus People With Sitting-Related Non-Specific Chronic Low Back Pain (Flexion Pattern). *Man Ther.* 18: 526-532.

Ohtori S, Inoue G, Orita S, Eguchi Y, Ochiai N, Kishida S, Takaso M, Aoki Y, Kuniyoshi K, Nakamura J, Ishikawa T, Arai G, Miyagi M, Kamoda H, Suzuki M,

Toyone T, Takahashi K (2012) Transdermal fentanyl for chronic low back pain. *Yonsei Med J.* 53 (4): 788-93.

Olson M, Solomonow M, Li L (2006) Flexion-relaxation response to gravity. *J Biomechanics.* 39: 2545-2554.

Orrock PJ, Myers SP (2013) Osteopathic intervention in chronic non-specific low back pain: a systematic review. *BMC Musculoskelet Disord.* 14: 129.

Palmer KT, Griffin MJ, Sydall HE, Pannett B, Cooper C, Coggon D (2002). The relative risk of whole body vibration and occupational lifting as risk factors for low-back pain. *Occup Environ Med,* 60: 715-721.

Panjabi MM (1992a) The Stabilizing System Of The Spine. Part I. Function, Dysfunction, Adaptation and Enhancement. *J Spinal Disorders.* 5 (4): 383-389.

Panjabi MM (1992b) The Stabilizing System Of The Spine. Part II. Neutral Zone and Instability Hypothesis. *J Spinal Disorders.* 5 (4): 390-397.

Parkhurst TM, Burnett CN (1994) Injury And Proprioception In The Lower Back. *JOSPT.* 19 (5): 282-95.

Patti A, Bianco A, Paoli A, Messina G, Montalto MA, Bellafiore M, Battaglia G, Iovane A, Palma A. (2015) Effects of Pilates exercise programs in people with chronic low back pain: a systematic review. *Medicine (Baltimore).* 94(4):e383.

Pearcy M, Portek I, Fracp, Shepherd J (1985) The Effect of Low-Back Pain on Lumbar Spinal Movements Measured by Three-Dimensional X-Ray-Analysis. *Spine.* 10 (2): 150-153.

Pennekamp W (2009) Radiologische Differenzialdiagnostik bei degenerativen Veränderungen der Wirbelsäule: Chronischer Rückenschmerz. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther.* 1: 32–37.

-
- Perich D, Burnett A, O'Sullivan P, Perkin C (2011). Low Back Pain In Adolescent Female Rowers: A Multi-Dimensional Intervention Study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 19: 20–29.
- Perlau R, Frank C, Fick G (1995) The effect of elastic bandages on human knee proprioception in the uninjured population. *Am J Sports Med.* 23: 251–5.
- Petersen CM, Rundquist PJ (2009) Validation of Spinal Motion with the Spine Reposition Sense Device. *J Neuroeng Rehab.* 6: 12.
- Pfingsten M (2009) Chronischer Rückenschmerz – Interdisziplinäre Diagnostik und Therapie. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther.* 1: 40–45.
- Pope MH, Goh KL, Magnusson ML (2002). Spine ergonomics. *Ann Rev Biomed Eng.* 4:49-68
- Portscher M, Vogt L, Pfeifer K, Banzer W (2000) Reproduzierbarkeit kinematischer Messungen der Lumbalregion in der klinischen Ganganalyse. *Sportverletz Sportschaden.* 14 (2): 50-54.
- Radebold A, Cholewicki J, Panjabi M, Patel TC (2000) Muscle Response Pattern to Sudden Trunk Loading in Healthy Individuals and in Patients with Chronic Low Back Pain. *Spine.* 25 (8): 947-954.
- Revel M, Andre-Deshays C, Minguet M (1991) Cervicocephalic kinesthetic sensibility in patients with cervical pain. *Arch Phys Med Rehabil.* 72: 288–91.
- Reynolds PM (1975) Measurement of spinal mobility: a comparison of three methods. *Rheumatol Rehabil.* 14 (3): 180-185.
- Riemann BL, Lephart SM (2002a) The Sensorimotor System, Part I: The Physiologic Basis of Functional Joint Stability. *J Athl Train.* 37 (1): 71-79.

Riemann BL, Lephart SM (2002b) The Sensorimotor System, Part II: The Role of Proprioception in Motor Control and Functional Joint Stability. *J Athl Train.* 37 (1): 80-84.

Robert Koch-Institut (Hrsg) (2013) Arthrose. Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Heft 54. RKI, Berlin.

Rohlmann A, Wilke HJ, Mellerowicz H, Graichen F, Bergmann G (2001) Belastungen der Wirbelsäule im Sport. *Dt Z Sportmed.* 52 (4): 118-123.

Saidu IA, Maduagwu SM, Abbas AD, Adetunji OO, Jajere AM (2011) Lumbar spinal mobility changes among adults with advancing age. *J Midlife Health.* 2(2): 65-71.

Schmidt T (2013) Vergleichende ganganalytische Untersuchung von Personen mit lumbalen Rückenschmerzen und gesunden Personen. Sportwissenschaftliche Dissertation. Universität Hamburg.

Schneider S, Randoll D, Buchner M (2006) Why Do Women Have Back Pain More Than Men? A Representative Prevalence Study in the Federal Republic of Germany. *Clin J Pain.* 22 (8): 738-747.

Schneider S, Mohnen SM, Schiltenswolf M, Rau C (2007) Comorbidity of low back pain: representative outcomes of a national health study in the Federal Republic of Germany. *Eur J Pain.* 11 (4): 387-97.

Schreiber TU, Anders C, Katterwe T. (1998). Interraterreliabilität einer dreidimensionalen Konturmessung der Wirbelsäule. *Phys Med Rehab Kur Med.* 8:160.

Schröder J, Reer R, Braumann KM (2013) Chronisch unspezifische Rückenschmerzen (cLBP). Sporttherapeutische Konzepte und Maßnahmen. *Klinikerzt.* 42 (9): 392-396.

Schulitz KP, Niethard FU (1980) Strain on interarticular stress distribution. Measurements regarding the development of Spondylolysis. *Arch Orthop Trauma Surg.* 96: 197-202.

Schünke M, Schulte E, Schumacher U (2006) Prometheus. LernAtlas der Anatomie. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. Thieme. Stuttgart.

Seitz G, Tiziani H, Litschel R (1986) 3-D-Koordinatenmessung durch optische Triangulation. *Feinwerktechnik und Messtechnik.* 94 (7): 423-425.

Sheeran L, Sparkes V, Caterson B, Busse-Morris M, Van Deursen R (2012) Spinal Position Sense And Trunk Muscle Activity During Sitting And Standing In Nonspecific CLBP: Classification Analysis. *Spine.* 37 (8): E486-495.

Sherrington CS (1906). The Integrative Action of the Nervous System. Scribner's Sons. New York.

Shum GLK, Crosbie J, Lee RYW (2005a) Symptomatic and Asymptomatic Movement Coordination of the Lumbar Spine and Hip during an Everyday Activity. *Spine.* 30 (23): E697-702.

Shum GLK, Crosbie J, Lee RYW (2005b) Effect of low back pain on the kinematics and joint coordination of the lumbar spine and hip during sit-to-stand and stand-to-sit. *Spine.* 30 (17): 1998-2004.

Sjölie AN, Ljunggren AE (2001) The Significance of High Lumbar Mobility and Low Lumbar Strength for Current and Future Low Back Pain In Adolescents. *Spine.* 26 (23): 2629-2636.

Skinner HB, Barrack RL, Cook SD (1984) Age-Related Decline in Proprioception. *Clin Orthop.* 184: 208-211.

Snider KT, Snider EJ, Degenhardt BF, Johnson JC, Kribs JW (2011) Palpatory accuracy of lumbar spinous processes using multiple bony landmarks. *J Manipulative Physiol Ther.* 34 (5): 306-13.

Solomonow M, Zhou BH, Harris M, Lu Y, Baratta R (1998) The Ligamento-Muscular Stabilizing System of the Spine. *Spine.* 23(23): 2552-2562.

Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (1998a) *Gesundheitsbericht für Deutschland.* Verlag Metzler-Poeschel. Stuttgart.

Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (1998b) *Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Heft 7: Chronische Schmerzen.* 13-18. [Online im Internet.] URL: http://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Gesundheitsberichterstattung/GBEDownloadsT/schmerz.pdf?__blob=publicationFile [Stand: 17.08.2015. 19:22].

Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2012) *Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Heft 53: Rückenschmerzen.* [Online im Internet.] URL: http://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Gesundheitsberichterstattung/GBEDownloadsT/rueckenschmerzen.pdf?__blob=publicationFile [Stand 17.08.2015. 18:05].

Sullivan M, Dickinson CE, Troup JDG (1994) The Influence Of Age And Gender On Lumbar Spinal Sagittal Plane Range Of Motion: A Study Of 1126 Healthy Subjects. *Spine.* 19 (6): 682-686.

Truchon M (2001) Determinants of chronic disability related to low back pain: towards an integrative biopsychosocial model. *Disabil Rehabil,* 23(17): 758-767.

Van Dieen JH, Cholewicki J, Radebold A (2003) Trunk muscle recruitment patterns in patients with low back pain enhances the stability of the lumbar spine. *Spine.* 28 (8): 834-841.

Van Tulder M, Koes B (2006) Low Back Pain. In: Wall and Mellzack's Textbook of Pain. 5th Edition. Elsevier.

Vanneuille G, Poumarat G, Vacheron JJ, Ferry B (1994) Measurement of spine movement from external markers. *J Biomech.* 27 (6): 818.

Vogt L, Banzer W (1997) Reproduzierbarkeit thorakaler und lumbaler Wirbelsäulenbewegungen mit der 3D-Ultraschalltopometrie. *Phys Rehab Kur Med.* 7: 21-25.

Wells C, Kolt GS, Marshall P, Hill B, Bialocerkowski A (2014) The effectiveness of Pilates exercise in people with chronic low back pain: a systematic review. *PLoS One.* 9 (7): e100402.

Weltner K (2012) Mathematik für Physiker und Ingenieure 1: Basiswissen für das Grundstudium. 17. Auflage. Springer Verlag.

White AA, Panjabi MM (1990) Clinical biomechanics of the spine. 2nd Edition. JB Lippincott. Philadelphia.

White AP, Arnold PM, Norvell DC, Ecker E, Fehlings MG (2011) Pharmacologic Management of Chronic Low Back Pain: Synthesis of the Evidence. *Spine.* 36(Suppl 21): S131-143.

Yamato TP, Maher CG, Saragiotto BT, Hancock MJ, Ostelo RW, Cabral CM, Menezes Costa LC, Costa LO (2015) Pilates for low back pain. *Cochrane Database Syst Rev.* Epub ahead of print: Jul 2.

Zebris medical (2006) Bedienungsanleitung: Win Data 2.22.x für Windows. Programm zur Messdatenerfassung. 36-37.

11. Anhang

Tabelle 25: Messdaten ROM im Stehen: NSCLBP-Gruppe

Geschlecht	Alter	Größe	Gewicht	BMI	Flexion	Extension
m=0 w=1	[Jahre]	[cm]	[kg]	[kg/m ²]	[°]	[°]
0	51	185	85	24,8	79,4	23,7
0	48	199	95	24	83,3	32,3
0	48	181	79	24,1	39,5	31,9
1	49	168	55	19,5	81,8	13,1
1	51	167	83	29,8	39,6	12,8
0	37	183	87	26	61,6	21,5
0	40	188	67	19	74,8	32,5
1	59	168	62	22	60,0	31,1
1	47	171	77	26,3	64,5	11,3
1	55	170	62	21,5	59,3	21,2
0	46	198	93	23,7	66,1	28,5
0	54	185	77	22,5	78,0	29,9
1	60	164	59	21,9	41,2	0,8
0	30	180	72	22,2	74,9	35,9
1	41	176	61	19,7	69,2	13,2
1	48	171	77	26,3	45,1	17,2
1	52	168	66	23,4	58,8	15,9
1	45	175	65	21,2	40,9	14,1
1	44	165	66	24,2	57,5	16,0
1	59	165	69	25,3	97,1	28,3

Tabelle 26: Messdaten ROM im Stehen: Kontrollgruppe

Geschlecht m=0 w=1	Alter [Jahre]	Größe [cm]	Gewicht [kg]	BMI kg/m ²	Flexion [°]	Extension [°]
0	49	184	88	26	56,9	35,9
0	48	182	85	25,7	43,7	26,7
0	48	185	69	20	53,2	22,0
1	50	175	65	21,2	51,5	9,0
1	49	169	77	27	44,0	14,7
0	38	198	88	22,4	58,3	14,5
0	40	184	83	24,5	73,9	28,9
1	59	163	59	22,2	51,8	5,7
1	47	180	70	21,6	64,7	9,2
1	52	175	55	18	53,3	27,2
0	39	180	86	26,5	56,9	15,6
0	53	179	75	23,4	55,9	7,8
1	58	186	76	22	43,8	2,5
0	34	183	80	23,9	62,7	37,0
1	41	170	68	23,5	78,9	33,5
1	48	176	66	21,3	53,1	16,8
1	51	163	65	24,5	34,8	14,4
1	52	159	63	24,9	48,2	32,4
1	46	170	65	22,5	54,8	16,5
1	45	172	62	21	41,0	15,0

Tabelle 27: Messdaten ROM im Vierfüßlerstand: NSCLBP-Gruppe

Geschlecht	Alter	Größe	Gewicht	BMI	Flexion	Extension
m=0 w=1	[Jahre]	[cm]	[kg]	[kg/m ²]	[°]	[°]
0	51	185	85	24,8	17,4	19,2
0	48	199	95	24	31,8	18,3
0	48	181	79	24,1	43,5	12,2
1	49	168	55	19,5	38,2	33,2
1	51	167	83	29,8	15,1	11,8
0	37	183	87	26	30,8	27,9
0	40	188	67	19	36,0	19,2
1	59	168	62	22	39,5	14,9
1	47	171	77	26,3	21,0	38,4
1	55	170	62	21,5	21,7	28,4
0	46	198	93	23,7	14,1	16,1
0	54	185	77	22,5	23,2	33,3
1	60	164	59	21,9	14,0	21,6
0	30	180	72	22,2	25,8	47,7
1	41	176	61	19,7	30,0	19,5
1	48	171	77	26,3	18,8	13,1
1	52	168	66	23,4	35,1	7,8
1	45	175	65	21,2	14,1	19,6
1	44	165	66	24,2	23,8	32,2
1	59	165	69	25,3	48,7	33,8

Tabelle 28: Messdaten ROM im Vierfüßlerstand: Kontrollgruppe

Geschlecht m=0 w=1	Alter [Jahre]	Größe [cm]	Gewicht [kg]	BMI [kg/m ²]	Flexion [°]	Extension [°]
0	49	184	88	26,0	15,5	36,9
0	48	182	85	25,7	22,9	16,5
0	48	185	69	20,0	29,3	26,3
1	50	175	65	21,2	17,0	17,2
1	49	169	77	27,0	9,7	21,0
0	38	198	88	22,4	33,5	27,1
0	40	184	83	24,5	23,9	29,6
1	59	163	59	22,2	23,2	11,6
1	47	180	70	21,6	15,8	17,4
1	52	175	55	18,0	23,1	20,5
0	39	180	86	26,5	27,2	14,4
0	53	179	75	23,4	14,5	36,8
1	58	186	76	22,0	14,0	23,4
0	34	183	80	23,9	11,5	9,4
1	41	170	68	23,5	20,0	40,6
1	48	176	66	21,3	14,5	33,7
1	51	163	65	24,5	24,8	13,7
1	52	159	63	24,9	12,8	22,4
1	46	170	65	22,5	15,2	38,7
1	45	172	62	21,0	24,4	28,8

Tabelle 29: Messdaten Winkelreproduktionstest NSCLBP-Gruppe

Ge- schlecht m=0 w=1	Alter	Vorgege- bener Winkel	1.Repro- duktion	Abwei- chung*	2.Repro- duktion	Abwei- chung*	3.Repro- duktion	Abwei- chung*	mittlere Abwei- chung*
0	51	10,0	4,8	5,2	4,2	5,8	5,7	4,4	5,1
0	48	6,7	7,2	0,5	11,6	4,9	8,7	2,0	2,5
0	48	-2,9	-9,2	6,3	-7,4	4,5	-6,1	3,2	4,7
1	49	12,2	11,8	0,4	10,3	1,9	12,0	0,2	0,8
1	51	-1,5	7,8	9,4	-5,6	4,1	-7,5	5,9	6,5
0	37	0,1	-5,3	5,4	-5,3	5,4	-3,2	3,3	4,7
0	40	3,9	-0,4	4,3	-8,8	12,8	-5,4	9,3	8,8
1	59	-10,0	-8,2	1,8	-7,0	3,0	-6,9	3,0	2,6
1	47	8,7	5,6	3,1	4,2	4,5	4,8	3,9	3,8
1	55	8,8	5,9	2,9	4,4	4,4	5,7	3,1	3,5
0	46	-3,8	-7,9	4,1	-12,8	9,1	-13,0	9,3	7,5
0	54	18,9	10,0	8,9	14,1	4,8	19,7	0,8	4,9
1	60	-6,4	-4,3	2,2	-10,6	4,1	-11,7	5,3	3,9
0	30	15,9	17,7	1,9	18,7	2,9	18,3	2,5	2,4
1	41	-5,4	-11,1	5,7	-14,8	9,4	-14,2	8,8	8,0
1	48	18,9	15,0	3,9	21,6	2,7	18,7	0,2	2,3
1	52	0,8	1,8	1,0	5,1	4,3	3,6	2,9	2,7
1	45	5,5	9,3	3,8	7,5	2,0	6,1	0,6	2,1
1	44	-6,2	-0,1	6,0	1,2	7,3	1,2	7,4	6,9
1	59	1,4	-4,7	6,1	-1,0	2,4	1,5	0,1	2,9

*= Abweichung vom vorgegebenen Winkel

Tabelle 30: Messdaten Winkelreproduktion Kontrollgruppe

Ge- schlecht m=0 w=1	Alter	Vorgege- bener Winkel	1. Repro- duktion	Abwei- chung*	2. Repro- duktion	Abwei- chung*	3. Repro- duktion	Abwei- chung*	mittlere Abwei- chung*
0	49	17,2	11,8	5,4	14,0	3,3	10,0	7,3	5,3
0	48	-1,3	1,5	2,9	-1,7	0,3	-1,4	0,1	1,1
0	48	3,4	7,3	3,8	5,9	2,4	12,3	8,9	5,1
1	50	-2,0	0,5	2,6	3,3	5,3	-0,7	1,3	3,1
1	49	8,4	4,5	3,9	2,9	5,5	1,3	7,1	5,5
0	38	3,3	4,0	0,7	1,5	1,7	5,6	2,4	1,6
0	40	0,9	-5,3	6,1	-8,9	9,8	-7,7	8,6	8,2
1	59	0,7	3,4	2,6	-2,9	3,6	2,2	1,4	2,6
1	47	5,0	13,1	8,1	13,2	8,2	13,5	8,5	8,3
1	52	9,5	2,3	7,2	-2,2	11,7	-3,1	12,6	10,5
0	39	7,9	12,6	4,7	12,6	4,7	10,9	3,0	4,1
0	53	8,2	11,5	3,3	3,8	4,4	-0,3	8,5	5,4
1	58	10,5	12,9	2,4	13,8	3,3	13,1	2,6	2,8
0	34	-1,2	-3,7	2,6	-2,4	1,3	-1,9	0,7	1,5
1	41	-2,7	-2,8	0,1	-4,3	1,6	4,6	7,3	3,0
1	48	-2,0	3,3	5,3	-0,6	1,5	-1,5	0,5	2,4
1	51	2,1	1,8	0,3	1,5	0,6	-0,7	2,8	1,2
1	52	6,0	0,4	5,5	2,0	4,0	1,8	4,2	4,6
1	46	8,0	4,3	3,6	5,7	2,3	6,3	1,7	2,5
1	45	10,2	8,3	1,9	7,9	2,4	9,5	0,8	1,7

*=Abweichung vom vorgegebenen Winkel

12. Danksagung

Prof. Dr. med. Klaus-Michael Braumann und Prof. Dr. med. Rüdiger Reer danke ich für die Überlassung des Themas.

Mein besonderer Dank gilt Dr. Tobias Schmidt für die engagierte Beratung und wissenschaftliche Betreuung.

Ich bedanke mich bei Jessica Hellenkemper, Susanne Gauerke, Prof. Dr. Peter Klein, Jan Meissner und Kai Wellmann für die Hilfe und Beratung.

Für die Beratung bei der statistischen Auswertung der Daten danke ich Eik Vettorazzi vom Institut für Medizinische Biometrie und Epidemiologie am Universitätsklinikum Hamburg.

Ich danke den Mitarbeitern des Instituts für Sport- und Bewegungsmedizin e.V. an der Universität Hamburg für die Unterstützung.

Der Firma Zebris danke ich für die Hilfe bei technischen Fragen zur 3-D-Ultraschalltopometrie.

Ich danke Sabine Lübker für die Hilfe bei der Literaturrecherche.

Ich danke allen Probanden, die an dieser Studie teilgenommen haben.

Ich bedanke mich bei meinen Freunden und meiner Familie, sowie allen anderen Menschen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

13. Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Unterschrift: