

**Vergleichende, nichtinvasive Bewegungsanalyse der  
Wirbelsäule zwischen lumbalen Spondylodesen, der  
Zwischenwirbelendoprothese Typ Charite® und einem  
wirbelsäulengesunden Kollektiv**

**Florian Erich Gottwald**

Aus der Orthopädischen Klinik und Poliklinik der Ludwig- Maximilians- Universität  
München

Direktor: Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. V. Jansson

**Vergleichende, nichtinvasive Bewegungsanalyse der  
Wirbelsäule zwischen lumbalen Spondylodesen, der  
Zwischenwirbelendoprothese Typ Charite® und einem  
wirbelsäulengesunden Kollektiv**

Dissertation

Zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin

An der medizinischen Fakultät der

Ludwigs-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Florian Erich Gottwald

aus

München

2009

**Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät**

**Der Universität München**

**Berichterstatter:** Prof. Dr. C. von Schulze Pellengahr

**Mitberichterstatter:** Prof. Dr. Sigurd Keßler  
Priv. Doz. Dr. Manfred Pfahler  
Prof. Dr. Volkmar Jansson

**Mitbetreuung durch den  
promovierten Mitarbeiter:**

**Dekan:** Prof. Dr. med. Dr. h. c. M. Reiser, FACR, FRCR

**Tag der mündlichen Prüfung:** 15.10.2009

**Meinen Eltern  
Claudia und Erich**

**sowie meiner**

**Freundin  
Sabrina**

**gewidmet**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
<hr/>	
<b>1.1 RISIKOFAKTOREN, PRÄVALENZ UND KOSTEN DER RÜCKENSCHMERZEN</b>	<b>1</b>
<b>1.2 FUNKTIONELLE ANATOMIE DER LENDENWIRBELSÄULE</b>	<b>3</b>
1.2.1 ANATOMIE UND FUNKTION DER LENDENWIRBELSÄULE	3
1.2.2 AUFBAU UND FUNKTION DER ZWISCHENWIRBELSCHEIBEN	4
<b>1.3 DIE DEGENERATION DER BANDSCHEIBE</b>	<b>6</b>
1.3.1 DEGENERATIONSVORGÄNGE DER BANDSCHEIBEN	6
<b>1.4 STADIEN DER DEGENERATION</b>	<b>7</b>
<b>1.5 LUMBALE SPONDYLODESEN</b>	<b>8</b>
<b>1.6 LUMBALE BANDSCHEIBENPROTHESEN</b>	<b>9</b>
1.6.1 ENTWICKLUNG UND MODELLE LUMBALER BANDSCHEIBENPROTHESEN	9
<b>2 ZIELSETZUNG</b>	<b>11</b>
<hr/>	
<b>3 PATIENTEN UND METHODEN</b>	<b>13</b>
<hr/>	
<b>3.1 PATIENTENGUT</b>	<b>13</b>
<b>3.2 OPERATIONSVERFAHREN</b>	<b>14</b>
3.2.1 POSTERIORE LUMBALE WIRBELKÖRPERFUSION	15
3.2.2 DIE ZWISCHENWIRBEL-ENDOPROTHESE MODELL CHARITE®	15
<b>3.3 FRAGEBÖGEN</b>	<b>16</b>
3.3.1 VISUELLE ANALOG SKALA	17
3.3.2 OSWESTRY LOW BACK PAIN DISABILITY QUESTIONNAIRE	17
3.3.3 SHORT FORM 36	18
3.3.4 FRAGEBOGEN ZUR NACHUNTERSUCHUNG	18
<b>3.4 KLINISCHE UNTERSUCHUNG</b>	<b>19</b>
<b>3.5 BEWEGUNGSANALYSE</b>	<b>20</b>
3.5.1 SONOSENS® MONITOR	20

3.5.2 ABLAUF DER UNTERSUCHUNG.....	22
<b>3.6 VERGLEICH RÖNTGENFUNKTIONSAUFNAHME – SONOSENS®MONITOR.....</b>	<b>27</b>
<b>3.7 STATISTISCHE METHODEN.....</b>	<b>27</b>
<b>4 ERGEBNISSE</b> .....	<b>28</b>
<b>4.1 FRAGEBÖGEN.....</b>	<b>28</b>
4.1.1 VISUELLE ANALOGSKALA.....	28
4.1.2 OSWESTRY LOW BACK PAIN DISABILITY QUESTIONNAIRE.....	29
4.1.3 SHORT FORM 36.....	30
4.1.4 FRAGEBOGEN ZUR NACHUNTERSUCHUNG.....	31
<b>4.2 KLINISCHE UNTERSUCHUNG.....</b>	<b>33</b>
<b>4.3 BEWEGUNGSANALYSE.....</b>	<b>38</b>
4.3.1 MAXIMALBEWEGUNGEN.....	39
4.3.2 DEFINIERTE BEWEGUNGEN.....	51
4.3.3 GANGANALYSE.....	63
<b>4.4 VERGLEICH RÖNTGENFUNKTIONSAUFNAHME – SONOSENS®MONITOR.....</b>	<b>63</b>
<b>5 DISKUSSION</b> .....	<b>65</b>
<b>5.1 OPERATIVE THERAPIEOPTIONEN CHRONISCHER RÜCKENSCHMERZEN UND DEREN KOMPLIKATIONEN.....</b>	<b>65</b>
<b>5.2 PATIENTENGUT.....</b>	<b>68</b>
<b>5.3 METHODIK.....</b>	<b>70</b>
5.3.1 FRAGEBÖGEN.....	70
5.3.2 KLINISCHE UNTERSUCHUNG.....	71
5.3.3 BEWEGUNGSANALYSE.....	71
<b>5.4 ERGEBNISSE.....</b>	<b>73</b>
5.4.1 FRAGEBÖGEN.....	73
5.4.2 KLINISCHE UNTERSUCHUNG.....	74
5.4.3 BEWEGUNGSANALYSE.....	75
5.4.4 VERGLEICH RÖNTGENFUNKTIONSAUFNAHMEN - SONOSENS®MONITOR.....	77
5.4.5 SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	78

<b>6 ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>79</b>
<b>7 LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>82</b>
<b>8 ANHANG</b>	<b>88</b>
8.1 VISUELLE ANALOGSKALA.....	88
8.2 OSWESTRY LOW BACK PAIN DISABILITY QUESTIONNAIRE.....	89
8.3 SHORT FORM 36.....	93
8.4 FRAGEBOGEN ZUR NACHUNTERSUCHUNG.....	98
8.5 UNTERSUCHUNGSBOGEN.....	100
<b>9 DANKSAGUNGEN</b>	<b>103</b>
<b>10 LEBENSLAUF</b>	<b>105</b>

# **1 Einleitung**

## **1.1 Risikofaktoren, Prävalenz und Kosten der Rückenschmerzen**

Rückenschmerzen stellen in den westlichen Industrienationen eines der größten Gesundheitsprobleme und einen der größten Kostenfaktoren für die Gesundheitssysteme der Länder dar. 2002 waren die nach der ICD-10 unter den Ziffern M40-54 verschlüsselten Dorsopathien mit 30 % Anteil bei beiden Geschlechtern der häufigste Grund für die Inanspruchnahme von Leistungen der gesetzlichen Rentenversicherung. Sie lagen damit vor den psychischen Erkrankungen, den malignen Neoplasien und den Herz- Kreislauferkrankungen an erster Stelle [Hildebrand 2005], [Schmidt 2005].

Verschiedene Risikofaktoren, die in der Literatur teils kontrovers diskutiert werden, begünstigen die Entstehung und die Chronifizierung der Rückenschmerzen.

Von eher geringer Bedeutung scheint Übergewicht, das weibliche Geschlecht, weitgehende körperliche Inaktivität und das Rauchen zu sein. Ein schlechter subjektiver Allgemeinzustand, die Angehörigkeit zu einer niedrigeren sozialen Schicht und Arbeitsplatzunzufriedenheit spielen eine wichtigere Rolle. Die Liste der Risikofaktoren für eine Chronifizierung wird von psychosozialen Einflüssen, wie einer depressiven Grundeinstellung der Patienten, dem früheren Auftreten von Rückenschmerzen, der stresshaften Erlebnisverarbeitung und dem Alkohol- und Drogenmissbrauch angeführt [Debrunner 2005] [Schmidt 2005] .

Die Lebenszeitprävalenz von Rückenschmerzen wird in der internationalen Literatur mit 80% genannt, die Jahresprävalenz mit 60% und die 7-Tages-Prävalenz, welche das Vorhandensein von Schmerzen in den letzten sieben Tag vor der Evaluation angibt, steigt bis zum 6. Lebensjahrzehnt deutlich an und nimmt dann langsam wieder ab. Für Frauen liegt sie bei knapp unter 40%, für Männer bei etwas über 30% [Hildebrand 2005].

Für Mitte der 1990er Jahre werden die durch Dorsopathien verursachten Gesamtkosten mit 22 Milliarden € angegeben. Die direkten Kosten für medizinische Behandlungen machen mit etwa 10 Milliarden € den geringeren Anteil aus. An die 12 Milliarden € mussten für die indirekten Kosten, vor allem durch Produktionsausfälle bedingt, aufgewendet werden [Hildebrand 2005], [Schmidt 2005].

## **1.2 Funktionelle Anatomie der Lendenwirbelsäule**

### **1.2.1 Anatomie und Funktion der Lendenwirbelsäule**

Die Grundelemente aus denen die einzelnen Wirbel aufgebaut sind, lassen sich analog zu den übrigen Wirbelsäulenabschnitten auch in der Lendenwirbelsäule unterscheiden. Diese sind

- Der Wirbelkörper (Corpus vertebrae)
- Der Wirbelbögen (Arcus vertebrae)
- Das Wirbelloch (Foramen vertebrale)
- 2 Zwischenwirbellöcher (Foramina intervertebralia)
- 5 mit den anderen Wirbeln gemeinsame Fortsätze (1 Processus spinosus, 2 Paar Processus articulares)
- 3 abweichende Wirbelfortsatzpaare (Processus costalis, Processus accessorius, Processus mammillaris) [Moll 2000]

Die Querschnittsfläche der Wirbelkörper nimmt von kranial nach kaudal zu, wodurch ihre Tragkraft erhöht und den hohen axialen Beanspruchungen Rechnung getragen wird [Lippert 1999]. Ebenso verändert sich die Form der oberen Deckplatte von einer Nierenform zu einem Queroval. Die Randleisten (Epiphysis annulares) sind ventral und lateral relativ breit ausgebildet [Lippert 1999], [Kummer 2005]. Durch ihre spezielle geometrische Ausrichtung sind die lumbalen Wirbelgelenke besonders gut dazu geeignet nach ventral gerichtete Scherkräfte aufzunehmen [Hildebrand 2005].

Das Bewegungssegment wurde von Junghans als kleinste funktionelle Einheit definiert und umfasst zwei benachbarte Wirbelkörper mit dazugehöriger Zwischenwirbelscheibe, die Zwischenwirbelgelenke, den austretenden Spinalnerven und sämtliche verbindende ligamentäre und muskuläre Strukturen [Debrunner 2005], [Lippert 1999].

An Bandstrukturen existieren

- Ligamentum longitudinale anterius
- Ligamentum longitudinale posterius
- Ligamenta flava
- Ligamentum supraspinale
- Ligamentum interspinale

In **Tabelle 1** sind die Bewegungsumfänge (in°) der Wirbelsäule dargestellt, wobei die Lendenwirbelsäule besonders hervorgehoben ist.

	Halswirbelsäule	Brustwirbelsäule	Lendenwirbelsäule
Beugung	40°	35°	<b>70°</b>
Streckung	70°	20°	<b>70°</b>
Seitwärtsneigung	45°	30°	<b>25°</b>
Rotation	60-80°	45°	<b>2°</b>

**Tabelle 1:** Bewegungsumfänge der Wirbelsäule nach Moll [Moll 2000].

### **1.2.2 Aufbau und Funktion der Zwischenwirbelscheiben**

Die für die Wirbelsäule typische Eigenform wird wesentlich von der Form der Zwischenwirbelscheiben (Disci intervertebrales) bestimmt [Lippert 1999].

Jede dieser Scheiben besteht aus

- Dem äußeren zugfesten Faserring (Annulus fibrosus), der aus 10-13 im 30° Winkel gegenläufig angeordneten kollagenen Lamellen besteht. Das Kollagen macht 60% des Trockengewichts des Annulus fibrosus aus, dessen Fasern in die Knorpelbedeckung der Endplatten einstrahlen [Debrunner 2005] [Hildebrand 2005].
- Dem inneren druckfesten Gallertkern (Nucleus pulposus). Der für diesen Bestandteil charakteristische Quellungsdruck wird durch die reichlich vorhandenen Proteoglykane erreicht.

Da sich die versorgenden Blutgefäße nach dem 2. Lebensjahr zurückbilden, wird die Bandscheibe fast ausschließlich mittels Diffusion durch die hyalinen Knorpelschichten der Wirbelkörpergrund- und deckplatten versorgt [Lippert 1999]. Nur in den äußeren Bereichen des Annulus fibrosus können auch bei Erwachsenen noch kleinste Blutgefäße nachgewiesen werden. Aufgrund deren geringen Eindringungstiefe stellt die Bandscheibe die größte avaskuläre Gewebestruktur des menschlichen Körpers dar [Hildebrand 2005].

Die Hauptaufgabe besteht darin, die auf die Wirbelsäule einwirkenden statischen und dynamischen Kräfte gleichmäßig über den gesamten Wirbelkörperquerschnitt zu verteilen [Hildebrand 2005]. Die Bandscheibe fungiert zusätzlich als Puffersystem für plötzlich auftretende stärkere Krafteinwirkungen, wodurch Spannungsspitzen abgebaut werden [Debrunner 2005], [Hildebrand 2005].

## **1.3 Die Degeneration der Bandscheibe**

### **1.3.1 Degenerationsvorgänge der Bandscheiben**

Neben den Störungen, die während der Wachstumszeit der Wirbelsäule auftreten, sind degenerative Vorgänge in den Bandscheiben als größte Gruppe der für Rückenschmerzen verantwortlichen Pathologien zu nennen [Debrunner 2005].

Bereits im Jugendalter kommt es zu initialen Veränderungen der Bandscheiben, deren avaskulär versorgtes Gewebe für frühzeitige Alterungsvorgänge besonders anfällig ist. Als Folge der Abnahme des Wassergehaltes im Nucleus pulposus kann er seine Aufgaben nicht mehr adäquat erfüllen. Die auf die Bandscheibe einwirkenden Kräfte werden in unphysiologischem Maße auf die Grund- und Deckplatten der angrenzenden Wirbelkörper und den äußeren Bereich des Annulus fibrosus weitergeleitet [Niosi 2004].

Dabei treten Riss- und Spaltbildungen im Annulus fibrosus auf, die durch hypoxisch bedingte Zellschäden verstärkt werden und eine zunehmende biomechanische Instabilität des Bewegungssegments bewirken. Eine vermehrte Produktion der Matrixmetalloproteinasen (MMP) begünstigt die fortschreitende Zerstörung der Bandscheibenstruktur [Hildebrand 2004]. Des Weiteren werden von den degenerativ veränderten Bandscheiben produziert:

- Proteolytische Enzyme
- Freie Sauerstoffradikale
- Proinflammatorische Zytokine, wie TNF-alpha und IL-1

Diese rufen, in erhöhtem Maße synthetisiert und sezerniert, zum einen entzündliche Vorgänge im peridiskalen Bereich und zum anderen diskogene Schmerzen hervor. Obwohl die genauen Mechanismen noch nicht vollständig geklärt sind, nimmt man an, dass nichtmyelinisierte freie Nervenendigungen, die sich in den äußeren Schichten des Annulus fibrosus befinden und durch die Spaltbildungen weiter vordringen können, für den diskogenen Schmerz verantwortlich sind [Walker 2004].

## **1.4 Stadien der Degeneration**

Durch den Verlust der, den speziellen biomechanischen Funktionen gerecht werdenden Struktur der Bandscheibe, tritt zu Beginn der Degeneration eine Instabilität des Bewegungssegmentes auf. Die Abnahme der Diskushöhe ermöglicht ein abnormal großes Bewegungsausmaß. Meistens treten in dieser Phase erstmals Episoden von Rückenschmerzen auf und das Risiko einer Bandscheibenhernie steigt.

Als Folge der unphysiologischen Beweglichkeit sind die Wirbelkörper in der Lage sich gegeneinander zu verschieben. Sie können sich in Form eines Rückwärtsgleitens (Retrolisthesis), eines Vorgleitens (Anterolisthesis) oder eines Drehgleitens bewegen, Schmerzen hervorrufen und auch die Facettengelenke degenerativ beeinflussen. Bis auf eine Verschmälerung des Intervertebralraums sind meist keine radiologischen Pathologien erkennbar.

Im weiteren Verlauf der Degeneration kommt es zu Reaktionen des Knochens, die im Röntgenbild in unterschiedlichem Ausmaße erkennbar werden.

- Osteophytenbildung der Wirbelkörper
- Verschmälerung des Intervertebralraums (Chondrose)
- Sklerosierung der Deckplatten (Osteochondrose)
- Arthrosezeichen der Facettengelenke (Spondylarthrose) [Debrunner 2005]

In der Magnetresonanztomographie werden nach Modic nach Berücksichtigung der Intervertebralraumhöhe, des Bandscheibengewebes und der angrenzenden Wirbelkörperendplatten die Typ I bis III Veränderungen der Osteochondrose unterschieden [Hildebrandt 2005].

Zu einem späteren Zeitpunkt kann eine zunehmende Versteifung des betroffenen Wirbelsäulenabschnittes auftreten. Die Patienten erfahren zu diesem Zeitpunkt eine gewisse Erleichterung ihrer Schmerzen. Man muss allerdings bedenken, dass dadurch die Gesamtfunktion der Wirbelsäule gestört ist, so dass einerseits Fehlhaltungen ausgebildet und andererseits Beschwerden in den benachbarten Abschnitten hervorgerufen werden [Debrunner 2005], [Errico 2005].

## **1.5 Lumbale Spondylodesen**

Mit einer Spondylodese ist es möglich eines oder mehrere Bewegungssegmente zu versteifen. Durch die Blockierung der Bewegung sollen die damit verbundenen Schmerzen beseitigt werden [Debrunner 2005]. Spondylolisthesen, das Postdissektomiesyndrom, Spondylolysen, degenerative Segmentinstabilitäten in den unteren lumbalen Segmenten und chronische therapieresistente Schmerzsyndrome in diesem Bereich, im angloamerikanischen Sprachgebrauch als low back pain bezeichnet, stellen Indikationen für dieses Verfahren dar [Ewerbeck 2004], [Lee 2004]. Bei der Behandlung degenerativer Bandscheibenerkrankungen gelten die Spondylodesen bis jetzt als Goldstandard der operativen Versorgung. Die klinischen Erfolgsraten dieses Verfahrens variieren dabei sehr stark, wobei Prozentangaben von 32% bis 99% zu finden sind [Lee 2004]. Verschiedene Zugangswege ermöglichen die Einbringung einer oder mehrerer Spongiosaspäne aus dem Beckenkamm. Diese Technik der autologen Spongiosaplastik wurde um 1911 von Hibbs eingeführt. [Debrunner 2005], [Lee 2004]. Eine weitere Stabilisierung der Spondylodese ist durch die Verwendung transpedikulärer Schrauben zur inneren Fixation oder das Einsetzen kortigo-spongiöser Knochenblöcke möglich [Debrunner 2005].

Die Spondylodesen werden je nach Zugangsweg eingeteilt in

- ALIF (anterior lumbar interbody fusion)
- PLIF (posterior lumbar interbody fusion)
- TLIF (transforaminal lumbar interbody fusion)
- Ventrodorsale Spondylodese

Dabei werden zur Stabilisierung der Spondylodese neben autologen kortigo-spongiösen Knochenblöcken auch Platzhalter (cages) aus Titan oder Peak verwendet.

## **1.6 Lumbale Bandscheibenprothesen**

### **1.6.1 Entwicklung und Modelle lumbaler Bandscheibenprothesen**

Fernstöm implantierte 1950 zum ersten Mal eine martialisch anmutende Stahlkugel, die als Nukleusersatz dienen sollte, im lumbalen Wirbelsäulenbereich. In den folgenden Jahrzehnten wurden einige weitere Ansätze und Prinzipien mit dem Ziel eines Bandscheibenersatzes erarbeitet und erprobt. So umgab beispielsweise Fassio 1978 einen Silikonball mit einem hufeisenförmigen Plateau, um das Einsinken des Balles in die angrenzenden Wirbelkörper zu vermeiden. Nachdem im 4. Jahres follow-up alle drei Implantate genau dies zeigten, wurde dieser Ansatz nicht mehr weiter verfolgt. Obwohl die frühen Versuche keine klinisch relevanten Anwendungen erfuhren, konnten wichtige Grundlagen für eine erfolgreiche Implantation eruiert werden. Dazu zählt die Kontaktflächen zwischen Implantat und Knochen so groß wie möglich zu gestalten und alle artikulierenden Oberflächen aus synthetischem Material zu verwenden [Bono 2004].

Klinische Ziele bei der Entwicklung der Zwischenwirbelendoprothesen waren

- Die Beseitigung der Schmerzen durch Resektion der Bandscheibe als Schmerzgenerator
- Die Wiederherstellung eines adäquaten Bewegungsumfanges
- Schnellere postoperative Mobilisation als bei Fusionen
- Wiederaufrichtung der Zwischenwirbelhöhe und damit Entlastung der Facettengelenke
- Vermeidung unphysiologischer Belastungsmuster in den angrenzenden Segmenten [Schulte 2005], [Casey 2004] .

Schellnack und Büttner-Janz entwickelten in den frühen 1980-er Jahren die zum gegenwärtigen Zeitpunkt weltweit am häufigsten implantierte Bandscheibenprothese an der Berliner Charite, die 1984 erstmals implantiert wurde: Die Charite® Prothese. Später folgten die ProDisc®-L und Maverick® Prothese. Im Oktober 2004 erhielt die Charite® Bandscheibenprothese der Firma DePuy die Zulassung der amerikanischen Food and Drug Administration (FDA) [Krämer 2005].

Ebenso erhielt 2007 die ProDisc®-L diese Zulassung [Zigler 2007]. Die Prothesen werden bezüglich ihrer biomechanischen Eigenschaften und den Materialien der artikulierenden Flächen unterteilt. Die Charite® und die Mobidisc® der Firma Krauth stellen Prothesen der ungekoppelten Bauart dar. An Bewegungen ist neben der Flexion, Extension, Seitneigung und Rotation auch eine Translation möglich. Da die ProDisc®-L und die Maverick® keine Translation ermöglichen, werden sie zur halbgekoppelten Bauart gerechnet. Die activ L® Prothese der Firma Aesculap, die eine Rotation und Translationsbewegung zulässt, ist in Seitrichtung ebenfalls teilgekoppelt. Als einziger Vertreter der gekoppelten Bauart, findet die FlexiCore® Bandscheibenprothese der Firma Stryker klinische Anwendung, wohingegen die Acroflex® Prothese nicht mehr produziert wird. Bezüglich der Gelenkflächen unterscheidet man zwischen der Metall-Polyethylen- Gleitpaarung, die beispielsweise in der Charite® oder der ProDisc®-L verwendet wird und dem Metall auf Metall Design, welches nur bei der Maverick® und der Flexicore® Bandscheibenprothese vorliegt [Schulte 2005].

## **2 Zielsetzung**

Aufgrund der Bedeutung der Wirbelsäulenerkrankungen und den damit verbundenen Kosten für die Gesundheitssysteme, erscheint die Auseinandersetzung mit den verschiedenen Operationsverfahren zur Behandlung degenerativer Erkrankungen sehr wichtig.

Bis jetzt stellen die Spondylodesen nach wie vor den Goldstandard dar, obwohl sie mit einigen Komplikationen, die vor allem nach längerer Zeit auftreten, behaftet sind. Als Alternativverfahren hat sich in den letzten beiden Jahrzehnten die Bandscheibenendoprothetik entwickelt. Kurz- und mittelfristige Ergebnisse dieses Verfahrens haben sich als sehr viel versprechend erwiesen. Gerade das Auftreten von degenerativen Veränderungen in den angrenzenden Segmenten wird kontrovers diskutiert. Diese zu vermeiden gilt mit als Hauptziel der Bandscheibenprothesen. Es sind sehr wenige Studien bezüglich eines direkten biomechanischen oder funktionellen Vergleichs zwischen Spondylodesen und Prothesen vorhanden.

Hauptziel der vorliegenden Studie war daher einen Vergleich der Beweglichkeit der Lendenwirbelsäule zwischen Patienten, die entweder mit einer monosegmentalen lumbalen Spondylodese mittels PLIF- Instrumentierung (posterior lumbar interbody fusion) oder einer Charite® Bandscheibenprothese versorgt wurden, anzustellen. Dies war mit dem auf Sonometrie basierenden System sonoSens® Monitor der Firma Friendly Sensors möglich. Die Messungen wurden durch eine klinische Untersuchung ergänzt. Des Weiteren wurden folgende Ziele teils durch retrospektive Datenanalyse, teils durch aktuelle Bearbeitung durch die Patienten und Untersuchung verfolgt.

- Analyse des eigenen Patientengutes im Hinblick auf Demographie, die präoperative Diagnose, das Geschlechterverhältnis, die Lokalisation der Prothese oder Spondylodese und das angewendete Operationsverfahren.
- Beantwortung des Oswestry low back pain disability questionnaire(ODI), des Short-Form 36 Fragebogens(SF-36), der aktuellen Schmerzangabe mittels visueller Analogskala (VAS) und eines Fragebogens zur Nachuntersuchung zur Erfassung der Alltagssituation und etwaiger Beeinträchtigungen der Patienten.

- Etablierung der Messmethode für weitere derartige Studien.
- Klinische Untersuchung der Wirbelsäule mit besonderem Augenmerk auf die Beweglichkeit derselbigen.
- Bewegungsanalyse des lumbalen Wirbelsäulenabschnitts in einem Dreigruppenvergleich in den Kategorien Maximalbewegungen, definierte Bewegungen und einer Ganganalyse.
- Kritische Bewertung der eigenen Ergebnisse und Vergleich mit der internationalen Literatur.

### **3 Patienten und Methoden**

#### **3.1 Patientengut**

Für die Studie erfolgte eine Untersuchung von 50 Personen, die wie folgt in drei Gruppen unterteilt wurden.

- Gruppe Gesund: 20 Probanden ohne Traumata, Entzündungen, Neoplasien oder degenerative Erkrankungen im Bereich der Wirbelsäule.
- Gruppe Spondylodese: 15 Patienten, die mit einer monosegmentalen, lumbalen Spondylodese durch eine dorsale interkorporelle Fusion im Segmentbereich L3 bis S1 versorgt wurden.
- Gruppe Bandscheibenprothese: 15 Patienten, die entweder nur eine monosegmentale, lumbale Charite® Bandscheibenprothese oder zusätzlich noch eine Spondylodese mit PLIF Instrumentierung im Segmentbereich L4 bis S1, erhielten.

Die Operationen der Patienten erfolgten ausschließlich an der Orthopädischen Klinik und Poliklinik der Ludwig Maximilians Universität München, Klinikum Großhadern im Zeitraum von 2000 bis 2005. Der Altersdurchschnitt der Gruppe Gesund lag bei 29 Jahren (22 bis 55 Jahre). Das Durchschnittsalter zum Operationszeitpunkt betrug in Gruppe Spondylodese 48 Jahre (34 bis 63 Jahre) in Gruppe Bandscheibenprothese 40 Jahre (28 bis 51 Jahre). Das mittlere follow up nach der Operation lag bei 3,6 Jahren (3,5 in Gruppe Spondylodese und 3,7 in Gruppe Bandscheibenprothese).

In **Tabelle 2** ist das Geschlechterverhältnis der Gruppen dargestellt.

<b>Gruppe</b>	<b>Gesund</b>	<b>Spondylodese</b>	<b>Bandscheibenprothese</b>
<b>Männlich</b>	10	7	4
<b>Weiblich</b>	10	8	11

**Tabelle 2:** Geschlechterverhältnisse der Gruppen.

Zur Operation führte hauptsächlich die Diagnose einer erosiven Osteochondrose im lumbalen und lumbosakralen Wirbelsäulenbereich. Dies trifft in der Gruppe Bandscheibenprothese bei allen Patienten zu. In der Gruppe Spondylodese stellte das Vorliegen einer Spondylolisthesis in sechs Fällen die Indikation zur Operation dar. Als Nebenergebnisse wurden die in der nachfolgenden **Tabelle 3** dargestellten präoperativen Diagnosen erhoben.

	<b>Gruppe Spondylodese</b>	<b>Gruppe Bandscheibenprothese</b>
<b>Radikulopathie</b>	2	0
<b>Bandscheibenprotrusion</b>	0	1
<b>Postnukleotomiesyndrom</b>	1	1

**Tabelle 3:** Nebenergebnisse der Patienten.

In Gruppe Bandscheibenprothese war in vier Fällen aufgrund einer auf die Segmente L4 bis S1 ausgedehnten Osteochondrose, eines Postnukleotomiesyndroms L5/S1 oder einer Bandscheibenprotrusion L4/L5 die zusätzliche Einbringung einer Spondylodese indiziert.

Die Lokalisationen der Prothese und / oder Spondylodese stellt **Tabelle 4** dar.

	<b>Gruppe Spondylodese</b>	<b>Gruppe Bandscheibenprothese</b>
<b>L3/L4</b>	1x PLIF- Instrumentierung	0x
<b>L4/L5</b>	5x PLIF- Instrumentierung	10x Charite®
<b>L5/S1</b>	9x PLIF- Instrumentierung	5 x Charite® 6x PLIF Instrumentierung

**Tabelle 4:** Lokalisationen der Prothese und / oder Spondylodese.

## **3.2 Operationsverfahren**

### **3.2.1 Posteriore lumbale Wirbelkörperfusion**

Gruppe Spondylodese umfasste nur Patienten mit einer posterioren lumbalen Wirbelkörperfusion (posterior lumbar interbody fusion – PLIF). Als Implantate wurden CONTACT Fusion Cages der Firma Synthes verwendet, die in erster Linie bei lumbalen degenerativen Erkrankungen der Bandscheiben und Spondylolisthesen einschließlich Meyerding Grad II indiziert sind. Aus hochfester Titanlegierung hergestellt, ermöglichen sie, mit autologen Knochenspänen gefüllt, durch den offenen Aufbau, einen knöchernen Durchbau. Über einen dorsalen Zugang werden die beiden Cages nach Präparation der entsprechenden Bandscheibenfächer eingebracht und zur internen Fixation zusätzlich durch vier USS Pedikelschrauben ergänzt [Synthes 2006].

### **3.2.2 Die Zwischenwirbel-Endoprothese Modell Charite®**

Das Charite® Bandscheibenprothesenkonzept wurde 1984 als Modultyp SB Charite erstmals durch Kurt Schellnack und Karin Büttner-Janz an der Berliner Charite implantiert.

Dieses weltweit über 10 000 Mal implantierte System ist mittlerweile in der dritten Generation auf dem Markt, nachdem Materialprobleme, Dislokationen und das Einsinken der Prothese in den beiden vorangegangenen Versionen Modifikationen notwendig machten [Mayer 2005], [Link 2002].

Grund- und Deckplatte bestehen aus einer Vacucast® Kobalt-Chrom-Molybden-Gusslegierung, zwischen die der Gleitnukleus aus ultrahochmolekulargewichtigem Polyäthylen (UHMWPE) eingelagert ist. Die Primärstabilität wird durch eine Pressfit Implantation zusammen mit jeweils drei ventralen und drei dorsalen Metallspikes in den Endplatten bedingt. Zur Erreichung einer Sekundärstabilität durch Einwuchs in die angrenzenden Wirbelkörperendplatten sind die Oberflächen mit einer bioaktiven Beschichtung aus Calciumphosphat (TiCaP®) versehen. **(Abb.1)**

Die Prothese ist in fünf verschiedenen Höhen von 7,5 mm bis 11,5 mm, in fünf verschiedenen Durchmessern, von 23 mm bis 31 mm und in vier verschiedenen Lordosewinkeln von 0° bis 10° verfügbar [Büttner-Janz 2002], [Link 2001].



**Abbildung 1:** Charite® Bandscheibenprothese [aus Link® SB Charite™ Bandscheibenprothese Informationsbroschüre].

Eingebracht wird die Prothese über einen anterioren, retroperitonealen Zugang. Nach türflügelartiger Eröffnung des Annulus fibrosus werden das Gewebe des Nucleus pulposus entfernt und die Wirbelkörperendplatten angefrischt, um einen besseren Einwuchs der Prothese zu erzielen. Durch Distraction wird die ursprüngliche Höhe des Zwischenwirbelraums erreicht. Dem gewünschten Lordosewinkel nach muss der entsprechende Angulationsgrad der Deckplatten ausgewählt werden. Anschließend werden zunächst die beiden Deckplatten und dann der Gleitkern implantiert.

Die 2005 veröffentlichte prospektiv, randomisierte Studie der FDA zur Zulassung der Charite® verglich die Prothese mit der Versorgung durch eine anteriore lumbale Fusion mit einem BAK-Cage nach einer follow up Zeit von zwei Jahren. Dabei betrug die klinische Erfolgsrate 63% für den Bandscheibenersatz und 53% für die Kontrollgruppe. 74% der Patienten zeigten eine signifikante Verbesserung im VAS, gegenüber 62% in der Kontrollgruppe. Die Erfolgsquote, womit eine individuelle Verbesserung um über 25% des Oswestry low back pain disability questionnaire (ODI) gemeint ist, ergab 70% zu 58% [Blumenthal 2005].

### **3.3 Fragebögen**

#### **3.3.1 Visuelle Analog Skala**

Zur Beurteilung der Schmerzsituation der Patienten zum Untersuchungszeitpunkt wurde eine visuelle Analogskala benutzt. Durch Selbsteinschätzung gaben sie auf einer Skala von 0 (kein Schmerz) bis 10 (stärkster Schmerz) den aktuellen Befund an. **(s. Anhang S. 86)**

#### **3.3.2 Oswestry Low Back Pain Disability Questionnaire**

Der Oswestry low pack pain disability questionnaire (ODI) gehört seit seiner erstmaligen Publikation 1980 zu den im Zusammenhang mit Rückenschmerzen am häufigsten verwendeten klinischen Scores. Durch die Beantwortung von zehn Fragekategorien erhält der Untersucher Aufschluss über die Beeinträchtigung der Patienten im Alltag. Die Kategorien waren:

- Schmerzintensität
- Körperpflege
- Heben von Gewichten
- Gehen
- Sitzen
- Stehen
- Schlafen
- Sexualleben
- Sozialleben
- Mobilität **(s. Anhang S. 87)**

In jeder Kategorie stehen null Punkte für keinerlei Beeinträchtigung und fünf Punkte für eine maximale. Diese werden summiert und anschließend ein Prozentrang auf den maximal möglichen Wert von 50 Punkten angegeben [Fairbank 2000].

### **3.3.3 Short Form 36**

Zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität der Patienten wurde der weltweit am häufigsten für diesen Zweck verwendete Short Form 36 Fragebogen in der deutschen Fassung von Bullinger und Kirchberger herangezogen [Bullinger 2000]. Durch die Beantwortung von 36 Fragen können acht Dimensionen der subjektiven Gesundheit und zwei Summenscores beurteilt werden. Folgende Dimensionen wurden erfasst:

- (1) Körperliche Funktionsfähigkeit (KÖFU)
- (2) Rollenverhalten wegen körperlicher Funktionsbeeinträchtigung (KÖRO)
- (3) Schmerzen (SCHM)
- (4) Allgemeiner Gesundheitszustand (AGES)
- (5) Vitalität und körperliche Energie (VITA)
- (6) Soziale Funktionsfähigkeit (SOFU)
- (7) Rollenverhalten wegen seelischer Funktionsbeeinträchtigung (EMRO)
- (8) Seelische Funktionsfähigkeit (PSYC)

Die ersten vier Kategorien werden zur physischen Gesundheit, das zweite Quartett zur psychischen Gesundheit zusammengefasst. Zur Auswertung erfolgt die Addition der Beantwortungen der Subskalen, wobei unterschiedliche Gewichtungen berücksichtigt werden. Alle erfassten Subskalen werden in Werte zwischen 0 und 100 transformiert um einen bestmöglichen Vergleich zu gewährleisten [Bellach 2000] [Bullinger 2000]. **(s. Anhang S.91)**

### **3.3.4 Fragebogen zur Nachuntersuchung**

Um die klinische Untersuchung und die Bewegungsanalyse zu vervollständigen wurde eigens für die Studie ein Fragebogen entwickelt. Dabei sollten die Patienten folgende Punkte beantworten. **(s. Anhang S.96)**

- Schmerzform präoperativ: Lagen Rückenschmerzen in Form einer akuten Lumbago vor? Waren die Schmerzen chronisch, also über 6 Monate andauernd? Lag zusätzlich eine Ischialgie vor?

- Vorerkrankungen, Traumata oder Operationen im Wirbelsäulenbereich
- Stoffwechselerkrankungen
- Störungen der Sexual- und/ oder Harnfunktion postoperativ
- Subjektive Zufriedenheit mit der operativen Versorgung und erneute Zustimmung zur Operation
- Schmerzmedikation, prä- und postoperativ
- Wann war die Wiederaufnahme der Arbeit möglich
- Waren Rezidivbehandlungen notwendig

### **3.4 Klinische Untersuchung**

Nach Besprechung der Fragebögen zur Gewährleistung einer für die Auswertung adäquaten Beantwortung, erfolgte die klinische Untersuchung der Patienten nach einem zuvor festgelegten Schema. Dieses beinhaltete: **(s. Anhang S.97)**

- Die Erfassung der statischen Wirbelsäulenform in sagittaler und frontaler Ebene.
- Eine beidseitige Funktionsprüfung der motorischen Innervation der Radices L3-S1 durch die Aufforderung eine Kniebeuge durchzuführen, abwechselnd den Einbeinstand (Trendelenburgzeichen) einzunehmen und sowohl im Fersen-, als auch im Zehengang einige Schritte zu gehen. Des Weiteren sollten die Studienteilnehmer eine Hüftflexion, Hüftabduktion, Dorsal- und Plantarflexion der Großzehe und eine Dorsal- und Plantarflexion des Fußes ausführen, wobei der Kraftgrad von 1/5 bis 5/5 bestimmt wurde.
- Die Beurteilung der Wirbelsäulenbeweglichkeit durch die Tests nach Schober und Ott, des Fingerbodenabstands (FBA) und der Lateralflexions- und Rotationsfähigkeit.
- Die Palpation der paravertebralen Muskulatur und eine Perkussion der Dornfortsatzreihe.
- Die dermatombezogene Überprüfung der Sensibilität der unteren Extremität. Dabei gaben die Patienten Ausfälle auf einer Skizze an.
- Die Erhebung des Reflexstatus des Patellar- und Achillessehnenreflexes.

## **3.5 Bewegungsanalyse**

### **3.5.1 sonoSens® Monitor**

Zur Erstellung einer dynamischen Bewegungsanalyse der Lendenwirbelsäule kam das diagnostische System sonoSens® Monitor der Firma Friendly Sensors AG mit Sitz in Jena zur Anwendung. Durch die völlige Bewegungsfreiheit, die Unabhängigkeit von weiteren Messvorrichtungen sowie das geringe Gewicht von 175 g, eignete sich das System bestens für eine mobile Untersuchung. Das Grundgerät unterteilt sich in ein Display und ein Bedienfeld. Die Sensorkabel führen von diesem mit einer Länge von 75 cm bis 120 cm zu den acht Ultraschallsensoren mit einem Durchmesser von 20 mm, die über spezielle Klebepads paravertebral angebracht werden. Grundlage dieses Messverfahrens ist die Sonometrie, die Ultraschalldistanzmessung. Von den paarweise entlang der Wirbelsäule applizierten Sensoren emittiert der Sender ein Signal mit einer Frequenz von 250 kHz, welches mit einer Geschwindigkeit von 1500m/s durch das subkutane Gewebe zum Empfänger weitergeleitet wird. Aus der Laufzeit berechnet das Gerät nach der Formel  $s = v \times t$  die Laufstrecke. Durch kontinuierliche Übertragung zwischen Sender und Empfänger kann die sich ändernde Körperhaltung und damit die Bewegung der Wirbelsäule in drei Ebenen über sechs gerade und sechs Kreuzkanäle ständig neu gemessen werden. Laut Herstellerangabe wird eine Auflösung der relativen Abstände der Sensoren von einem Millimeter erreicht. Die Applikationspunkte der Elektroden wurden für die Studie auf die Punkte Th2, Th12, L3 und S1 zur Analyse möglicher Veränderungen nach operativen Eingriffen unter Einbeziehung des thorakolumbalen und des lumbosakralen Übergangs, festgelegt. Eine nähere Eingrenzung der operierten Segmente war nicht möglich, da ein Mindestabstand von 3 cm zwischen zwei Sensoren eingehalten werden muss [Friendly Sensors 2005], [Adler 2005]. **(Abb.2,3)**



**Abbildung 2:** sonoSens® Monitor mit applizierten Messelektroden.



**Abbildung 3 :** Datentransfer vom sonoSens® Monitor zum Laptop.

### 3.5.2 Ablauf der Untersuchung

Zu Beginn der Bewegungsanalyse wurden die acht Sensoren des sonoSens® Monitors auf den Segmenthöhen Th2, Th12, L3 und S1 etwa vier Zentimeter lateral der Dornfortsätze aufgeklebt und zusätzlich mit einem Streifen Fixomull® fixiert. Zur Eichung des Geräts und Aufnahme der Ausgangswerte der jeweiligen Person, musste diese 30 Sekunden lang in aufrechter Position mit taktile Rückmeldung an einer Türstockkante regungslos stehen. Zwischen den einzelnen Messintervallen wurde der sonoSens® Monitor angehalten, um keine unerwünschten Bewegungen zu erfassen. Das zweite Messintervall bestand in der Erhebung der Maximalwerte für

- Flexionsbewegung der Wirbelsäule bei durchgestreckten Kniegelenken
- Extensionsbewegung der Wirbelsäule bei durchgestreckten Kniegelenken
- Lateralflexion der Wirbelsäule zur linken und rechten Seite
- Rotation der Wirbelsäule nach links und rechts

Die Datenerhebung der Bewegungen mit definierten Winkelgraden fand im dritten Abschnitt statt. Um für alle Teilnehmer der Studie gleiche Voraussetzungen zu schaffen, wurden hierfür aus Holz die Gerätschaften Nummer 1 und Nummer 2 geschreinert. **(Abb.4,5)**



**Abbildungen 4 und 5:** Gerätschaften Nummer 1 und 2 zur Erfassung der definierten Wirbelsäulenbewegungen.

Aufsteck- und austauschbare Aufsätze ermöglichten die Reproduktion einer definierten Flexionsbewegung von 60°, einer Extensionsbewegung von 20° und die Seitneigungen zu jeweils 30°. Die Oberkante der Aufsätze befand sich auf Höhe der Spinae iliacae anteriores superiores und konnte durch den höhenverstellbaren Mittelteil des Messgerätes den unterschiedlichen Körpergrößen angepasst werden. Bei der Erfassung der Rotationsbewegungen von 30° nahmen die Teilnehmer auf dem Gerät Nummer 2 Platz, nahmen eine Stange von 1,75 m Länge in den Nacken und drehten sich nun solange in die jeweilige Richtung, bis sie den Widerstand der Begrenzungsstangen bemerkten. **(Abb.6,7,8,9,10,11)**

Die Ganganalyse wurde auf einer hindernisfreien Gehstrecke durchgeführt, wobei die Patienten bei einer Schrittfrequenz von 100 pro Minute für die Dauer von fünf Minuten normal gehen sollten.

Die auf einem Diktiergerät aufgenommene Taktzahl eines Taktells der Firma Wittner gab die Frequenz vor. Über eine Infrarotverbindung erfolgte die Datenübertragung vom sonoSens® Monitor zum Computer. Die dort installierte Software sonoSens® Analyzer ermöglichte nach automatischer Erstellung einer Voransicht der Daten eine sofortige Beurteilung der Messqualität. Nach Datenversand via Internet nahm die Firma Friendly Sensors AG die Auswertung der Rohdaten vor. Aus diesen werden zunächst der Rest- und Körperschall herausgefiltert und anschließend die Parameter, die eine potentielle Änderung des Signals beschreiben, errechnet. Die genaue Funktionsweise der Auswertung unterliegt dem Copyright der Friendly Sensors AG [Adler 2005]. Die Ergebnisse der Bewegungsanalyse wurden in Form von Pdf-Files von der Friendly Sensors AG zurückgesendet.



**Abbildung 6:** Definierte Flexion von 60°.



**Abbildung 7:** Definierte Extension von 20°.



**Abbildung 8:** Definierte Lateralflexion von 30° nach rechts.



**Abbildung 9:** Definierte Lateralflexion von 30° nach links.



**Abbildung 10:** Definierte Torsion von 30° nach rechts.



**Abbildung 11:** Definierte Torsion von 30° nach links.

### **3.6 Vergleich Röntgenfunktionsaufnahme – sonoSens®Monitor**

Die Ergebnisse der Längenänderungsmessungen mit dem sonoSens® Monitor wurden mit denen einer prospektiven klinischen Studie der Herren Dres. Trouillier und Salzmann aus dem Jahr 2005 verglichen [Salzmann 2005]. Diese erfassten die Resultate von Röntgenfunktionsaufnahmen der mit einer lumbalen Bandscheibenprothese versorgten Patienten, präoperativ und nach 6, 12 und 24 Monaten postoperativ. Zur Kontrolle des sonoSens® Monitors wurden die Ergebnisse der maximalen Flexion und der maximalen Extension mit denen der Messung nach Schober und denen der Röntgenfunktionsaufnahmen nach 12 Monaten verglichen. Dabei konnte auf die Daten von sechs Patienten, die neben der oben erwähnten auch an der vorliegenden Studie teilgenommen hatten, zurückgegriffen werden.

### **3.7 Statistische Methoden**

Sämtliche Erhebungsmerkmale wurden anhand Skalen adäquater Lage- und Streuungsmaße dargestellt.

Bei der statistischen Auswertung der Bewegungsanalyse kam das Programm GraphPad Prism 3.0 zur Anwendung. Mit dem Kruskal-Wallis Test erfolgte ein Dreigruppenvergleich sowohl der Ergebnisse der Fragebögen als auch der einzelnen Parameter der Bewegungsanalyse. Zeigte sich dort bei einem Signifikanzniveau von  $P < 0,05$  ein positives Ergebnis, wurde dieses mit dem paarweise durchgeführten Mann Whitney U Test näher eingegrenzt.

Für die tabellarische und graphische Darstellung der Fragebögen, des Untersuchungsbogens und der Bewegungsanalyse wurde sowohl mit dem Programm Microsoft Excel als auch mit GraphPad Prism 3.0 gearbeitet.

Bei allen als Boxplot dargestellten Ergebnissen gilt:

Die Box reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile. Innerhalb der Box ist der Median als horizontale Linie gekennzeichnet. Die Whisker stellen als vertikale Linien zum einen die Differenz zwischen Minimum und unterer Quartil und zum anderen die zwischen oberer Quartil und Maximum dar.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Fragebögen

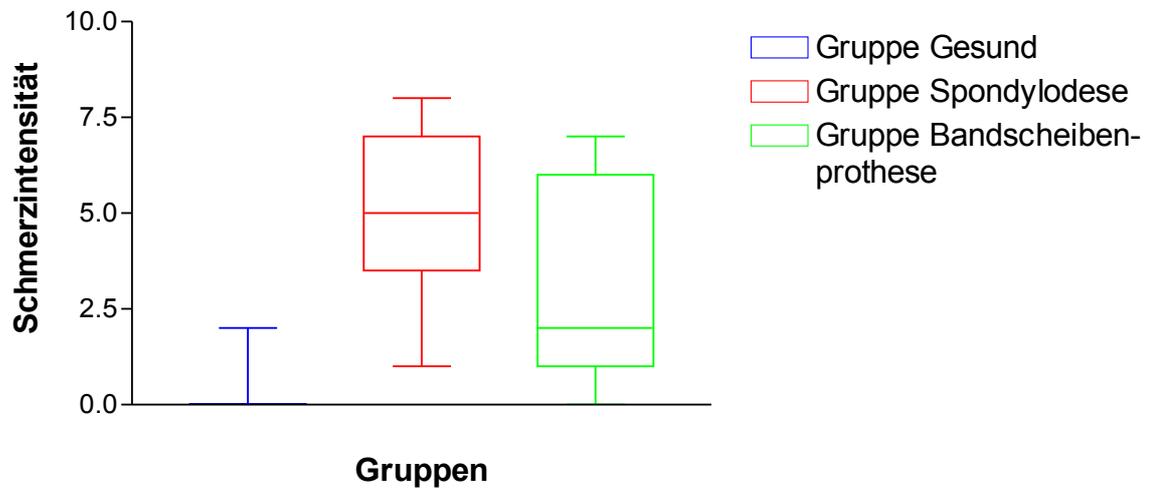
#### 4.1.1 Visuelle Analogskala

Die Erhebung der aktuellen Rückenschmerzsituation zum Untersuchungszeitpunkt erbrachte die in **Tabelle 5** zusammengefassten Daten.

**Tabelle 5:** Mediane (ohne Einheit), die 95%- Konfidenzintervalle sowie die Minima und Maxima der VAS der einzelnen Studiengruppen.

	<b>Gruppe Gesund</b>	<b>Gruppe Spondylodese</b>	<b>Gruppe Bandscheibenprothese</b>
<b>Median</b>	0	5	2
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	0/ 0	3/ 7	1/ 6
<b>Minimum / Maximum</b>	0/ 2	0/ 8	0/ 7

**Diagramm 1:** Darstellung der Medianwerte, der Minima und Maxima der Visuellen Analogskala. Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.



**Kruskal-Wallis-Test :**  $P < 0.05$  : Ja Wert: 0,0001

**Mann-Whitney U Test:** Gesund & Spondylodese:  $P = 0,0001$   
Gesund & Bandscheibenprothese:  $P = 0,0001$

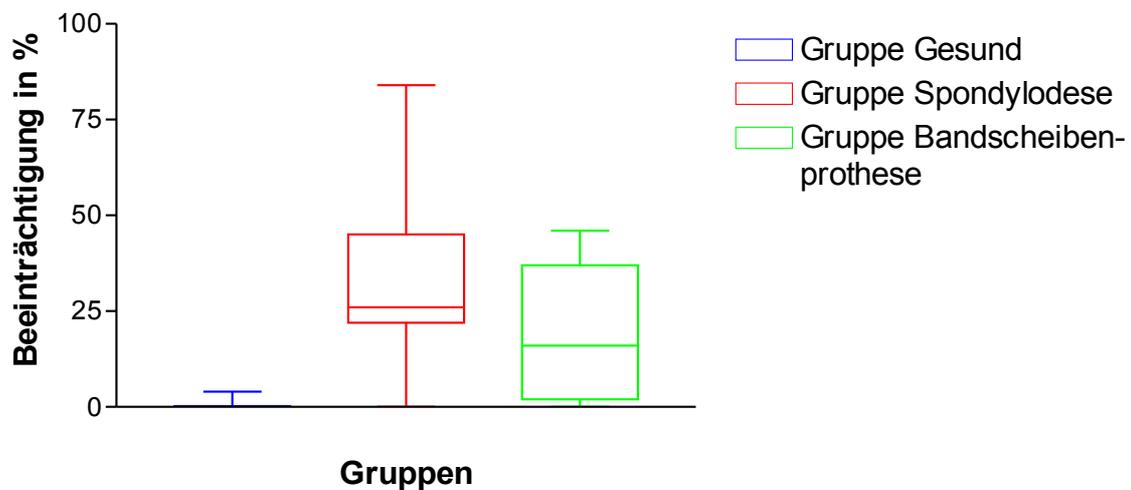
#### **4.1.2 Oswestry Low Back Pain Disability Questionnaire**

Zur Erfassung der Beeinträchtigung im Alltag durch Rückenschmerzen zum Zeitpunkt der Untersuchung, beantworteten alle Personen, die an der Studie teilnahmen, den Oswestry Disability Low Back Pain Disability Questionnaire. Die Resultate sind in **Tabelle 6** zusammengefasst.

**Tabelle 6:** Medianwerte (in %) des Oswestry Disability Index die 95%-Konfidenzintervalle sowie die Minima und Maxima der einzelnen Studiengruppen.

	<b>Gruppe Gesund</b>	<b>Gruppe Spondylodese</b>	<b>Gruppe Bandscheibenprothese</b>
<b>Median</b>	0	26	16
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	0/ 0	22/ 44	2/ 36
<b>Minimum/ Maximum</b>	0/ 4	0/ 84	0/ 46

**Diagramm 2:** Darstellung der Medianwerte, der Minima und Maxima des Oswestry Disability Index. Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.



**Kruskal-Wallis-Test :** P < 0.05 : Ja Wert: 0,0001

**Mann-Whitney U Test:** Gesund & Spondylodese: P= 0, 0001

Gesund & Bandscheibenprothese: P=0, 0001

### 4.1.3 Short Form 36

Mithilfe des Short Form 36 Fragebogens erfolgte die Beurteilung der gegenwärtigen Lebensqualität. Die Ergebnisse geben die **Tabellen 7,8** und **9** wieder. In jeder Gruppe wurden alle acht Kategorien berücksichtigt.

**Tabelle 7:** Ergebnisse der Gruppe Gesund des SF-36.

<b>Gesund:</b> Kategorie	1	2	3	4	5	6	7	8
Median (ohne Einheit)	100	100	0	45	64	50	100	45

**Tabelle 8:** Ergebnisse der Gruppe Spondylodese des SF-36.

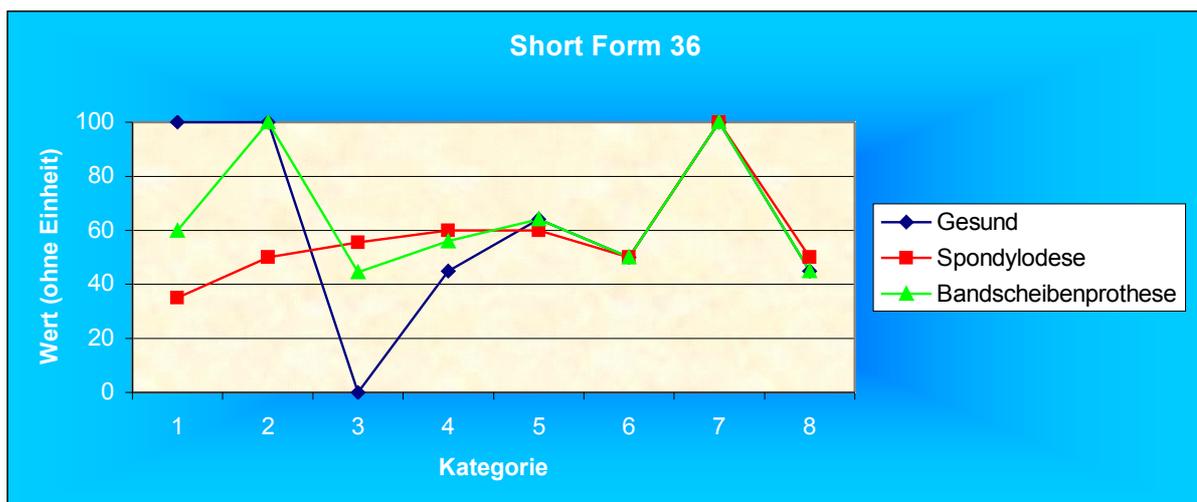
<b>Spondylodese:</b> Kategorie	1	2	3	4	5	6	7	8
Median (ohne Einheit)	35	50	56	60	60	50	100	50

**Tabelle 9:** Ergebnisse der Gruppe Bandscheibenprothese des SF-36.

<b>Bandscheibenprothese:</b> Kategorie	1	2	3	4	5	6	7	8
Median (ohne Einheit)	60	100	44	56	64	50	100	45

Die Mediane der einzelnen Kategorien sind in **Diagramm 3** im direkten Vergleich der einzelnen Gruppen dargestellt.

**Diagramm 3:** Ergebnisse des Short-Form 36 Fragebogens.



#### 4.1.4 Fragebogen zur Nachuntersuchung

Die präoperative Schmerzsituation der Patienten wurde retrospektiv erhoben. In den einzelnen Gruppen ergaben sich die in **Tabelle 10** beschriebenen Ergebnisse.

**Tabelle 10:** Präoperative Schmerzsituation der Studienteilnehmer.

	<b>Gruppe Gesund</b>	<b>Gruppe Spondylodese</b>	<b>Gruppe Bandscheibenprothese</b>
<b>Akute Lumbago</b>	7%	0%	0%
<b>Chronische Lumbago</b>	0%	100%	100%

In der Gruppe Spondylodese hatten 86 % der Patienten mit einer chronischen Lumbago zusätzlich eine Ischialgie. Bei den Bandscheibenprothesenträgern waren dies 60 %.

Die Rubrik der Vorerkrankungen konnte nur für die Gruppe Gesund sinnvoll ausgewertet werden. Keine der in die Studie aufgenommenen Personen war an der Wirbelsäule voroperiert, noch lagen Traumata oder sonstige Pathologien vor.

Stoffwechselerkrankungen beziehungsweise Endokrinopathien wurden in Gruppe Gesund zweimal angegeben. Zum einen war dies ein Diabetes mellitus und zum anderen eine Hashimoto-Thyreoiditis. In der Gruppe Spondylodese lag zweimal ein Diabetes mellitus vor. In der Gruppe Bandscheibenprothese war bei einem Patienten eine Osteoporose bekannt.

Postoperative Störungen der Sexualfunktion traten in Gruppe Spondylodese bei zwei Patienten auf. Diese klagten über Einschränkung beim Geschlechtsverkehr durch nicht näher bezeichnete Schmerzen. Zweimal lag in dieser Gruppe eine hypokontraktile Blasenfunktion vor. Eine Patientin der Gruppe Bandscheibenprothese fühlte sich durch eine beständige Taubheit im Leistenbereich in ihrer sexuellen Aktivität beeinträchtigt.

Bezüglich der subjektiven Zufriedenheit, hätten alle Patienten erneut dem erhaltenen Operationsverfahren zugestimmt. Auf einer Skala von 0 bis 5 Punkten betrug der Mittelwert der Zufriedenheit mit der operativen Versorgung in Gruppe Spondylodese 3,67 in Gruppe Bandscheibenprothese 4,20.

Die Erhebung der präoperativen Einnahme von Schmerzmedikamenten und dem Gebrauch derselbigen im Monat vor Studienteilnahme erbrachte ebenso wie die Frage nach dem Zeitpunkt der Wiederaufnahme der Arbeit oder den alltäglichen Tätigkeiten keine auswertbaren Ergebnisse.

In einem Fall war eine Revisionsoperation der PLIF-Instrumentierung in Gruppe Spondylodese notwendig. Aufgrund wiederkehrender Schmerzen im Bereich der Lendenwirbelsäule musste bei einem Patienten der Gruppe Bandscheibenprothese eine Neurolyse durchgeführt werden.

## 4.2 Klinische Untersuchung

Zu Beginn der Untersuchung erfolgte die Begutachtung des frontalen und sagittalen Wirbelsäulenprofils. **Tabellen 11** und **12** geben die Resultate wieder.

**Tabelle 11:** Sagittales Profil der Wirbelsäule.

	<b>Gruppe Gesund</b>	<b>Gruppe Spondylodese</b>	<b>Gruppe Bandscheibenprothese</b>
<b>Physiologisch</b>	95%	67%	67%
<b>Hyperkyphose BWS</b>	5%	20%	13%
<b>Hyperlordose LWS</b>	0%	0%	0%
<b>Hohlrunde WS</b>	0%	0%	0%
<b>Flache WS</b>	0%	13%	20%

**Tabelle 12:** Frontales Profil der Wirbelsäule

	<b>Gruppe Gesund</b>	<b>Gruppe Spondylodese</b>	<b>Gruppe Bandscheibenprothese</b>
<b>Beckenstand</b>	100% gerade	100% gerade	93% gerade
<b>Tailendreiecke</b>	100% symetrisch	100% symetrisch	100% symetrisch
<b>Schulterstand</b>	90% gerade	73% gerade	67% gerade

Anschließend folgte die **motorische Funktionsüberprüfung**. In der Gruppe Gesund gab es keinerlei Beeinträchtigungen bei der Durchführung. Hüftflexion, Hüftabduktion, Dorsal- und Plantarflexion der Großzehe und die Dorsal- und Plantarflexion des Fußes konnten mit einer Kraft von 5/5 ausgeführt werden.

Für 13% der Patienten aus Gruppe Spondylodese war es nicht möglich den Einbeinstand links einzunehmen.

Den weiteren Aufforderungen konnte ohne weitere Einschränkungen Folge geleistet werden. Ein Patient der Gruppe Bandscheibenprothese, was 7% entspricht, konnte beidseits keinen Fersengang bewerkstelligen.

Die Ergebnisse der **motorischen Funktionsüberprüfung** für die Gruppen Spondylodese und Bandscheibenprothese sind in den **Tabellen 13** und **14** dargestellt.

**Tabelle 13 :** Motorische Kraftgrade, seitengetreunt erhoben von 3/5 bis 5/5:  
Gruppe Spondylodese (Angabe des Vorkommens in Prozent).

	<b>3/5</b>	<b>4/5</b>	<b>5/5</b>
	<u>Links/ Rechts</u>	<u>Links/ Rechts</u>	<u>Links/ Rechts</u>
<b>Hüftflexion</b>	0% / 0%	7% / 7%	93% / 93%
<b>Hüftabduktion</b>	0% / 0%	7% / 7%	93% / 93%
<b>Dorsalextension Hallux longus</b>	13% / 7%	7% / 7%	80% / 87%
<b>Dorsalextension Fuß</b>	13% / 7%	7% / 7%	80% / 87%
<b>Plantarflexion Hallux longus</b>	13% / 7%	7% / 7%	80% / 87%
<b>Plantarflexion Fuß</b>	7% / 0%	7% / 7%	87% / 93%

**Tabelle 14 :** Motorische Kraftgrade, seitengetreunt erhoben von 3/5 bis 5/5:  
Gruppe Bandscheibenprothese (Angabe des Vorkommens in Prozent).

	<b>3/5</b>	<b>4/5</b>	<b>5/5</b>
	<u>Links/ Rechts</u>	<u>Links/ Rechts</u>	<u>Links/ Rechts</u>
<b>Hüftflexion</b>	0 % / 0%	0% / 0%	100% / 100%
<b>Hüftabduktion</b>	0% / 0%	0% / 0%	100% / 100%
<b>Dorsalextension Hallux longus</b>	7% / 0%	0% / 0%	93% / 100%
<b>Dorsalextension Fuß</b>	7% / 7%	0% / 0%	93% / 93%
<b>Plantarflexion Hallux longus</b>	7% / 0%	0% / 0%	93% / 100%
<b>Plantarflexion Fuß</b>	7% / 7%	0% / 0%	93% / 93%

Neben den Zeichen nach Schober und Ott und dem Ausmessen des Fingerbodenabstands (FBA) wurden zur Quantifizierung der Beweglichkeit das Ausmaß der Seitneigung zu beiden Seiten und das Rotationsvermögen bestimmt.

**Tabelle 15** beinhaltet die Medianwerte.

**Tabelle 15:** Mediane der Messungen nach Schober/ Ott, des Fingerbodenabstandes (FBA), der Seitneigungs- und Rotationsfähigkeit.

	<b>Gruppe Gesund</b>	<b>Gruppe Spondylodese</b>	<b>Gruppe Bandscheibenprothese</b>
<b>Schober (in cm)</b>	Maximal/Minimal 15 /8	Maximal/Minimal 14 /9	Maximal/Minimal 14 /9
<b>Ott (in cm)</b>	Maximal/Minimal 33 /28	Maximal/Minimal 31 /28	Maximal/Minimal 32 /29
<b>FBA (in cm)</b>	0	28	20
<b>Seitneigung (in °)</b>	Links/ Rechts 38 /38	Links/ Rechts 25 /25	Links/ Rechts 32 /32
<b>Rotation (in °)</b>	Links/ Rechts 43 /43,5	Links/ Rechts 34 /34	Links/ Rechts 36 /36

Klopfschmerzen traten in Gruppe Gesund nicht auf. Bei 5% war ein paravertebraler Muskelhartspan palpabel. 47% der Patienten aus Gruppe Spondylodese gaben einen Klopfmerz über der Dornfortsatzreihe, vor allem auf Höhe des operierten Segmentes, an. Bei 7% lag ein Muskelhartspan vor. Diffuse Störungen der Sensibilität traten bei 66% auf. In Gruppe Bandscheibenprothese waren bei jeweils 14% eine Klopfmerzhaftigkeit und eine Myogelose tastbar und in 40% Missempfindungen im Bezug auf die Sensibilität feststellbar. Allerdings waren in beiden Gruppen die Einschränkungen der Sensibilität neurologisch nicht objektivierbar und spiegeln nur das subjektive Empfinden der untersuchten Personen wieder.

Die Erhebung des Reflexstatus des Patellarsehnen- und Achillessehnenreflexes erfolgte im Seitenvergleich.

Die **Tabellen 16 bis 19** stellen die Ergebnisse dar.

**Tabelle 16:** Reflexstatus des Patellarsehnenreflex links.

	<b>Gruppe Gesund</b>	<b>Gruppe Spondylodese</b>	<b>Gruppe Bandscheibenprothese</b>
<b>Erlöschen</b>	0%	0%	0%
<b>Abgeschwächt (seitengleich)</b>	10%	7%	13%
<b>Normal (seitengleich)</b>	90%	93%	80%
<b>Verstärkt (seitengleich)</b>	0%	0%	7%

**Tabelle 17:** Reflexstatus des Patellarsehnenreflex rechts.

	<b>Gruppe Gesund</b>	<b>Gruppe Spondylodese</b>	<b>Gruppe Bandscheibenprothese</b>
<b>Erlöschen</b>	0%	0%	7%
<b>Abgeschwächt (seitengleich)</b>	10%	13%	13%
<b>Normal (seitengleich)</b>	90%	87%	73%
<b>Verstärkt (seitengleich)</b>	0%	0%	7%

**Tabelle 18:** Reflexstatus des Achillessehnenreflex links.

	<b>Gruppe Gesund</b>	<b>Gruppe Spondylodese</b>	<b>Gruppe Bandscheibenprothese</b>
<b>Erloschen</b>	0%	0%	0%
<b>Abgeschwächt (seitengleich)</b>	0%	40%	20%
<b>Normal (seitengleich)</b>	100%	60%	80%
<b>Verstärkt (seitengleich)</b>	0%	0%	%

**Tabelle 19:** Reflexstatus des Achillessehnenreflex rechts.

	<b>Gruppe Gesund</b>	<b>Gruppe Spondylodese</b>	<b>Gruppe Bandscheibenprothese</b>
<b>Erloschen</b>	0%	0%	13%
<b>Abgeschwächt (seitengleich)</b>	0%	47%	13%
<b>Normal (seitengleich)</b>	100%	53%	73%
<b>Verstärkt (seitengleich)</b>	0%	0%	0%

### **4.3 Bewegungsanalyse**

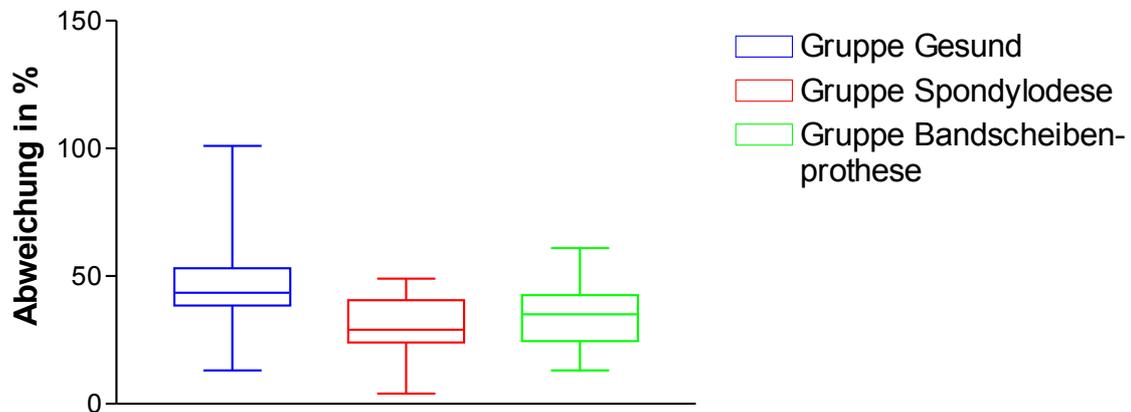
Die Analyse der Wirbelsäulenbewegungen unterteilte sich in vier Intervalle:

- Maximalbewegungen
- Definierte Bewegungen ohne Rotation
- Definierte Rotation
- Ganganalyse auf einer hindernisfreien Gehstrecke

In Form von Boxplots werden die Werte der einzelnen Gruppen für jede Bewegung zum einen für den oberen und zum anderen für den unteren Lendenwirbelsäulenabschnitt dargestellt. Zusätzlich geben beigefügte Tabellen die Mediane, die Grenzen des 95%-Konfidenzintervalls sowie die Minima und Maxima aller gemessenen Parameter an. Alle Werte stellen die durch die einzelnen Bewegungen hervorgerufenen prozentualen Abweichungen von der Kalibrierung des SonoSens®Monotors dar. Des Weiteren erfolgt die Angabe der Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Tests mit eventuell anschließendem Mann-Whitney Test.

### 4.3.1 Maximalbewegungen

**Diagramm 4:** Darstellung von Median, Minimum und Maximum der maximalen Flexion des oberen Lendenwirbelsäulenabschnittes.



Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.

**Tabelle 20:** Median , 95% Konfidenzintervall sowie Minimum und Maximum der maximalen Flexion des oberen Lendenwirbelsäulenabschnittes.

	Gruppe Gesund	Gruppe Spondylodese	Gruppe Bandscheibenprothese
<b>Median</b>	44	29	35
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	40/ 52	23/ 40	23/ 41
<b>Minimum/ Maximum</b>	13/ 101	4/ 49	13/ 61

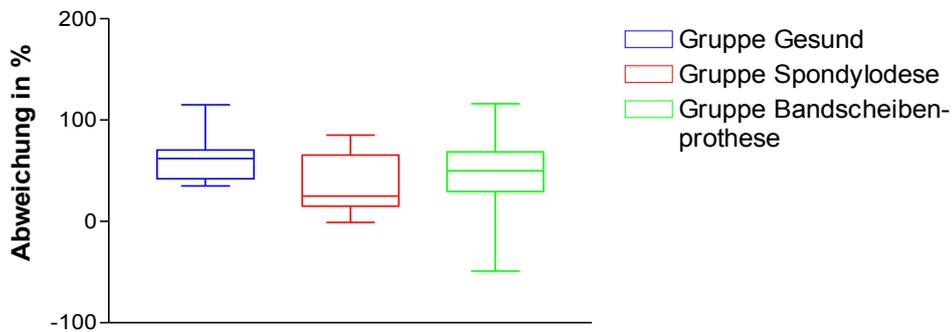
Alle Zahlen der Tabelle geben prozentuale Abweichungen von der Kalibrierung wieder.

**Kruskal-Wallis-Test :**  $P < 0.05$  : Ja      Wert: 0,0062

**Mann-Whitney U Test:**    Gesund & Spondylodese:  $P = 0,0027$

   Gesund & Bandscheibenprothese:  $P = 0,0278$

**Diagramm 5:** Darstellung von Median, Minimum und Maximum der maximalen Flexion des unteren Lendenwirbelsäulenabschnittes.



Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.

**Tabelle 21:** Median , 95% Konfidenzintervall sowie Minimum und Maximum der maximalen Flexion des unteren Lendenwirbelsäulenabschnittes.

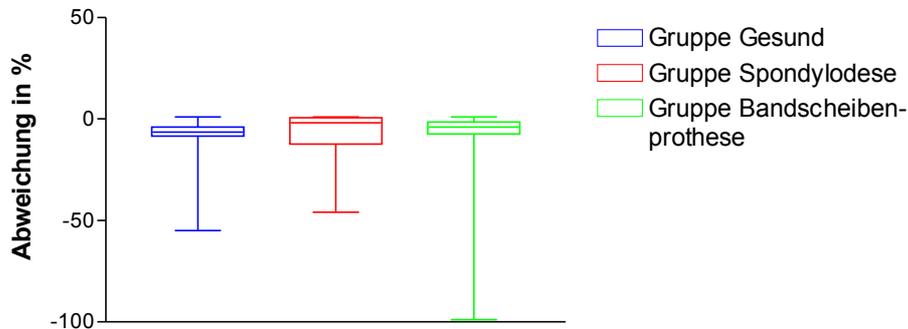
	<b>Gruppe Gesund</b>	<b>Gruppe Spondylodese</b>	<b>Gruppe Bandscheibenprothese</b>
<b>Median</b>	62	25	50
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	44/ 68	13/ 56	23/ 67
<b>Minimum/ Maximum</b>	35/ 115	-1/ 85	-49/ 116

Alle Zahlen der Tabelle geben prozentuale Abweichungen von der Kalibrierung wieder.

**Kruskal-Wallis-Test:** :  $P < 0.05$  : Ja Wert: 0,0223

**Mann-Whitney U Test:** Gesund & Spondylodese:  $P = 0,0057$

**Diagramm 6:** Darstellung von Median, Minimum und Maximum der maximalen Extension des oberen Lendenwirbelsäulenabschnittes.



Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.

**Tabelle 22:** Median , 95% Konfidenzintervall sowie Minimum und Maximum der maximalen Extension des oberen Lendenwirbelsäulenabschnittes.

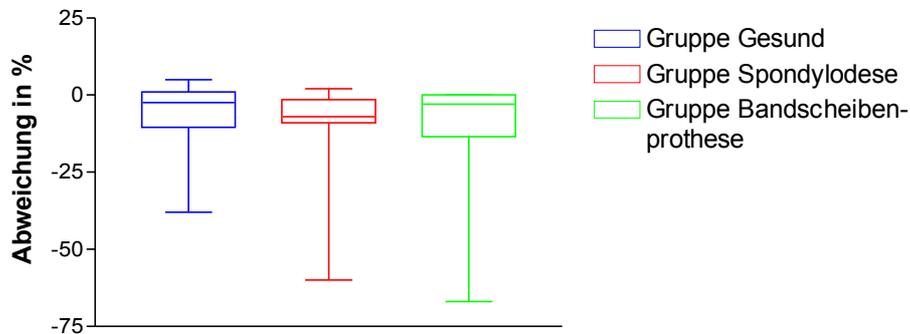
	<b>Gruppe Gesund</b>	<b>Gruppe Spondylodese</b>	<b>Gruppe Bandscheibenprothese</b>
<b>Median</b>	-7	-2	-4
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	-8/ -5	-13/ -5	-8/ -2
<b>Minimum/ Maximum</b>	-55/ -1	-46/ 1	-99/ 1

Alle Zahlen der Tabelle geben prozentuale Abweichungen von der Kalibrierung wieder.

**Kruskal-Wallis-Test :**  $P < 0.05$  : Nein Wert: 0,5987

**Mann-Whitney U Test:** nicht durchgeführt, da  $P > 0.05$  im Kruskal-Wallis Test.

**Diagramm 7:** Darstellung von Median, Minimum und Maximum der maximalen Extension des unteren Lendenwirbelsäulenabschnittes.



Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.

**Tabelle 23:** Median , 95% Konfidenzintervall sowie Minimum und Maximum der maximalen Extension des unteren Lendenwirbelsäulenabschnittes.

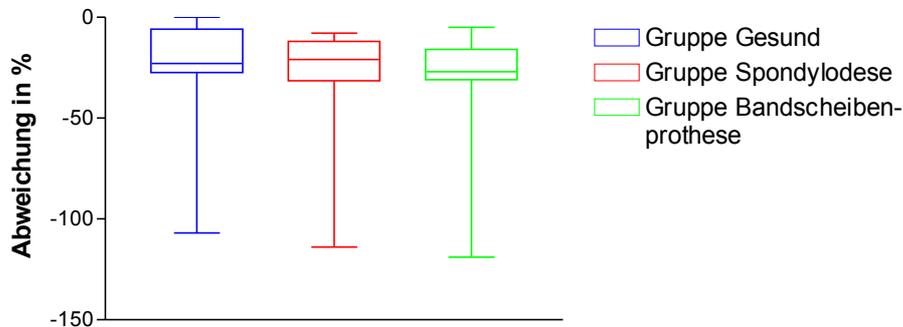
	Gruppe Gesund	Gruppe Spondylodese	Gruppe Bandscheibenprothese
<b>Median</b>	-3	-7	-3
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	-10/ 1	-9/ -2	-14/ 0
<b>Minimum/ Maximum</b>	-38/ 5	-60/ 2	-67/ 0

Alle Zahlen der Tabelle geben prozentuale Abweichungen von der Kalibrierung wieder.

**Kruskal-Wallis-Test:**  $P < 0.05$  : Nein Wert: 0,2933

**Mann-Whitney U Test:** nicht durchgeführt, da  $P > 0.05$  im Kruskal-Wallis Test.

**Diagramm 8:** Darstellung von Median, Minimum und Maximum der maximalen Lateralflexion nach links des oberen Lendenwirbelsäulenabschnittes.



Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.

**Tabelle 24:** Median , 95% Konfidenzintervall sowie Minimum und Maximum der maximalen Lateralflexion nach links des oberen Lendenwirbelsäulenabschnittes.

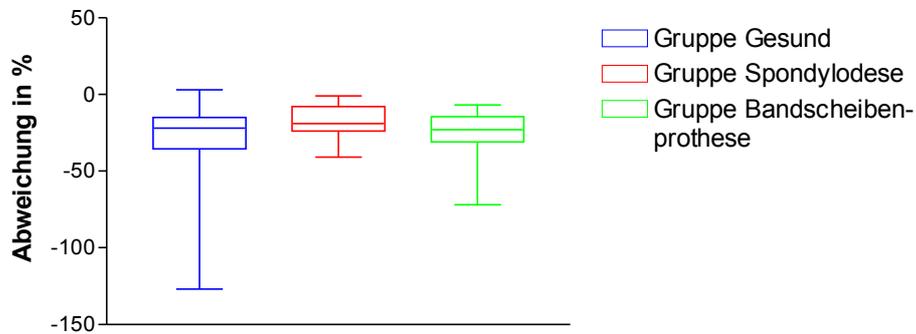
	<b>Gruppe Gesund</b>	<b>Gruppe Spondylodese</b>	<b>Gruppe Bandscheibenprothese</b>
<b>Median</b>	-23	-20	-26
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	-29/ -9	-30/ -10	-32/ -21
<b>Minimum/ Maximum</b>	-107/ 0	-114/ -8	-119/ 0

Alle Zahlen der Tabelle geben prozentuale Abweichungen von der Kalibrierung wieder.

**Kruskal-Wallis-Test :**  $P < 0.05$  : Nein Wert: 0,5316

**Mann-Whitney U Test:** nicht durchgeführt, da  $P > 0.05$  im Kruskal-Wallis Test.

**Diagramm 9:** Darstellung von Median, Minimum und Maximum der maximalen Lateralflexion nach links des unteren Lendenwirbelsäulenabschnittes.



Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.

**Tabelle 25:** Median , 95% Konfidenzintervall sowie Minimum und Maximum der maximalen Lateralflexion nach links des unteren Lendenwirbelsäulenabschnittes.

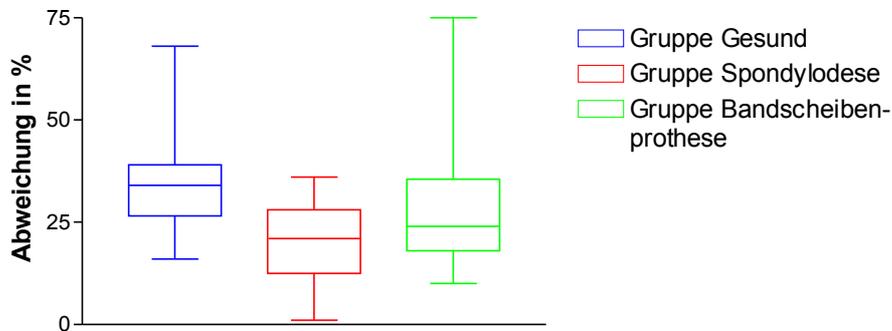
	Gruppe Gesund	Gruppe Spondylodese	Gruppe Bandscheibenprothese
<b>Median</b>	-22	-19	-23
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	-38/ -15	-29/ -4	-33/ -17
<b>Minimum/ Maximum</b>	-127/ 3	-41/ 35	-72/ -7

Alle Zahlen der Tabelle geben prozentuale Abweichungen von der Kalibrierung wieder.

**Kruskal-Wallis-Test:**  $P < 0.05$  : Nein Wert: 0,4362

**Mann-Whitney U Test:** nicht durchgeführt, da  $P > 0.05$  im Kruskal-Wallis Test.

**Diagramm 10:** Darstellung von Median, Minimum und Maximum der maximalen Lateralflexion nach rechts des oberen Lendenwirbelsäulenabschnittes.



Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.

**Tabelle 26:** Median , 95% Konfidenzintervall sowie Minimum und Maximum der maximalen Lateralflexion nach rechts des oberen Lendenwirbelsäulenabschnittes.

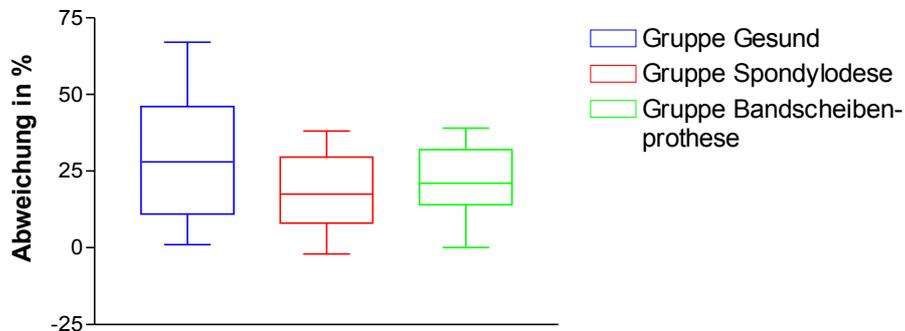
	Gruppe Gesund	Gruppe Spondylodese	Gruppe Bandscheibenprothese
<b>Median</b>	34	19	25
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	28/ 39	12/ 25	18/ 37
<b>Minimum/ Maximum</b>	16/ 68	1/ 36	10/ 75

Alle Zahlen der Tabelle geben prozentuale Abweichungen von der Kalibrierung wieder.

**Kruskal-Wallis-Test :**  $P < 0.05$  : Ja      Wert: 0,0048

**Mann-Whitney U Test:** Gesund & Spondylodese:  $P = 0,0010$

**Diagramm 11:** Darstellung von Median, Minimum und Maximum der maximalen Lateralflexion nach rechts des unteren Lendenwirbelsäulenabschnittes.



Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.

**Tabelle 27:** Median , 95% Konfidenzintervall sowie Minimum und Maximum der maximalen Lateralflexion nach rechts des unteren Lendenwirbelsäulenabschnittes.

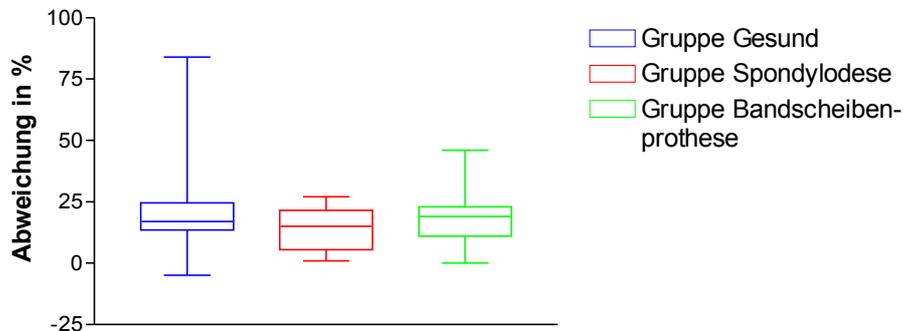
	<b>Gruppe Gesund</b>	<b>Gruppe Spondylodese</b>	<b>Gruppe Bandscheibenprothese</b>
<b>Median</b>	28	16	21
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	11/ 46	8/ 29	14/ 30
<b>Minimum/ Maximum</b>	1/ 67	-2/ 38	0/ 39

Alle Zahlen der Tabelle geben prozentuale Abweichungen von der Kalibrierung wieder.

**Kruskal-Wallis-Test:** :  $P < 0.05$  : Nein Wert: 0,5439

**Mann-Whitney U Test:** nicht durchgeführt, da  $P > 0.05$  im Kruskal-Wallis Test.

**Diagramm 12:** Darstellung von Median, Minimum und Maximum der maximalen Torsion nach rechts des oberen Lendenwirbelsäulenabschnittes.



Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.

**Tabelle 28:** Median , 95% Konfidenzintervall sowie Minimum und Maximum der maximalen Torsion nach rechts des oberen Lendenwirbelsäulenabschnittes.

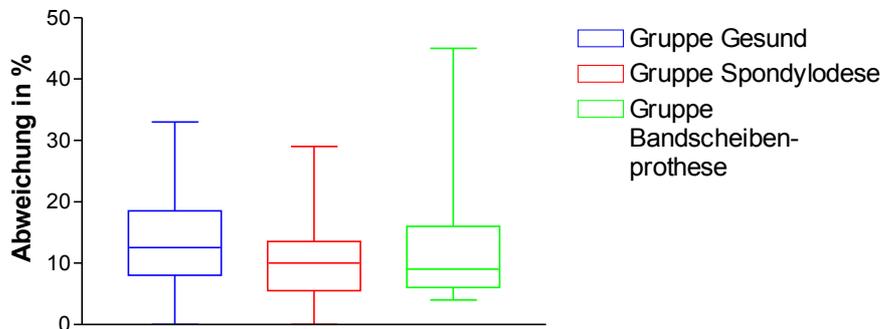
	Gruppe Gesund	Gruppe Spondylodese	Gruppe Bandscheibenprothese
<b>Median</b>	17	15	19
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	14/ 24	7/ 23	10/ 23
<b>Minimum/ Maximum</b>	-5/ 84	1/ 27	0/ 46

Alle Zahlen der Tabelle geben prozentuale Abweichungen von der Kalibrierung wieder.

**Kruskal-Wallis-Test :**  $P < 0.05$  : Nein Wert: 0,5939

**Mann-Whitney U Test:** nicht durchgeführt, da  $P > 0.05$  im Kruskal-Wallis Test.

**Diagramm 13:** Darstellung von Median, Minimum und Maximum der maximalen Torsion nach rechts des unteren Lendenwirbelsäulenabschnittes.



Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.

**Tabelle 29:** Median , 95% Konfidenzintervall sowie Minimum und Maximum der maximalen Torsion nach rechts des unteren Lendenwirbelsäulenabschnittes.

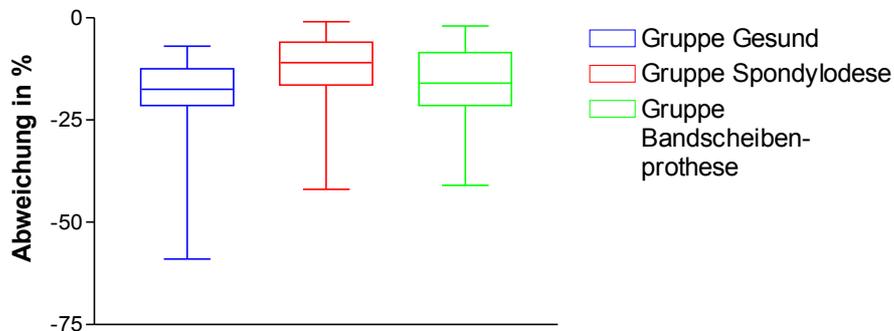
	Gruppe Gesund	Gruppe Spondylodese	Gruppe Bandscheibenprothese
<b>Median</b>	13	10	9
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	8/ 18	5/ 12	6/ 16
<b>Minimum/ Maximum</b>	0/ 33	0/ 29	4/ 45

Alle Zahlen der Tabelle geben prozentuale Abweichungen von der Kalibrierung wieder.

**Kruskal-Wallis-Test:**  $P < 0.05$  : Nein Wert: 0,3824

**Mann-Whitney U Test:** nicht durchgeführt, da  $P > 0.05$  im Kruskal-Wallis Test.

**Diagramm 14:** Darstellung von Median, Minimum und Maximum der maximalen Torsion nach links des oberen Lendenwirbelsäulenabschnittes.



Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.

**Tabelle 30:** Median , 95% Konfidenzintervall sowie Minimum und Maximum der maximalen Torsion nach links des oberen Lendenwirbelsäulenabschnittes.

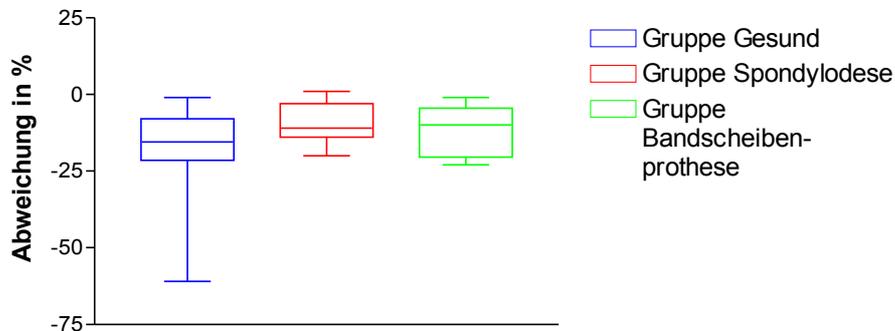
	Gruppe Gesund	Gruppe Spondylodese	Gruppe Bandscheibenprothese
<b>Median</b>	-19	-11	-16
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	-27/ -13	-18/ -6	-22/ -9
<b>Minimum/ Maximum</b>	-59/ -7	-42/ -1	-41/ -2

Alle Zahlen der Tabelle geben prozentuale Abweichungen von der Kalibrierung wieder.

**Kruskal-Wallis-Test :**  $P < 0.05$  : Nein Wert: 0,0676

**Mann-Whitney U Test:** nicht durchgeführt, da  $P > 0.05$  im Kruskal-Wallis Test.

**Diagramm 15:** Darstellung von Median, Minimum und Maximum der maximalen Torsion nach links des unteren Lendenwirbelsäulenabschnittes.



Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.

**Tabelle 31:** Median , 95% Konfidenzintervall sowie Minimum und Maximum der maximalen Torsion nach links des unteren Lendenwirbelsäulenabschnittes.

	<b>Gruppe Gesund</b>	<b>Gruppe Spondylodese</b>	<b>Gruppe Bandscheibenprothese</b>
<b>Median</b>	-16	-11	-10
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	-21/ -9	-14/ -5	-22/ -6
<b>Minimum/ Maximum</b>	-61/ -1	-20/ -1	-23/ -1

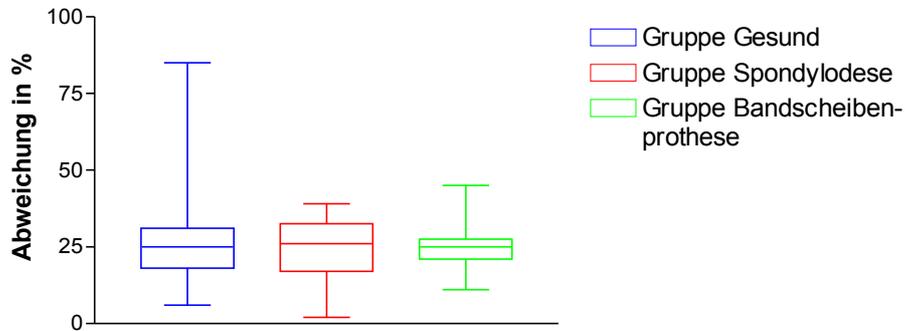
Alle Zahlen der Tabelle geben prozentuale Abweichungen von der Kalibrierung wieder.

**Kruskal-Wallis-Test:**  $P < 0.05$  : Nein Wert: 0,2264

**Mann-Whitney U Test:** nicht durchgeführt, da  $P > 0.05$  im Kruskal-Wallis Test.

### 4.3.2 Definierte Bewegungen

**Diagramm 16:** Darstellung von Median, Minimum und Maximum der definierten Flexion von 60° des oberen Lendenwirbelsäulenabschnittes.



Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.

**Tabelle 32:** Median , 95% Konfidenzintervall sowie Minimum und Maximum der definierten Flexion von 60° des oberen Lendenwirbelsäulenabschnittes

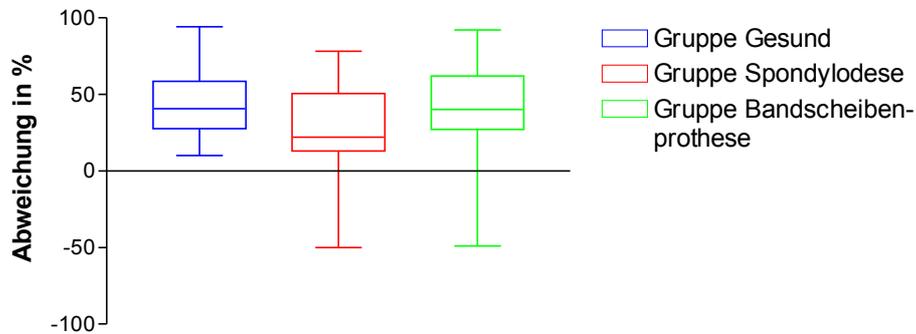
	Gruppe Gesund	Gruppe Spondylodese	Gruppe Bandscheibenprothese
<b>Median</b>	25	26	25
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	18/ 29	17/ 31	20/ 27
<b>Minimum/ Maximum</b>	6/ 85	2/ 39	11/ 45

Alle Zahlen der Tabelle geben prozentuale Abweichungen von der Kalibrierung wieder.

**Kruskal-Wallis-Test** : :  $P < 0.05$  : Nein Wert: 0,9270

**Mann-Whitney U Test:** nicht durchgeführt, da  $P > 0.05$  im Kruskal-Wallis Test.

**Diagramm 17:** Darstellung von Median, Minimum und Maximum der definierten Flexion von 60° des unteren Lendenwirbelsäulenabschnittes.



Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.

**Tabelle 33:** Median , 95% Konfidenzintervall sowie Minimum und Maximum der definierten Flexion von 60° des unteren Lendenwirbelsäulenabschnittes.

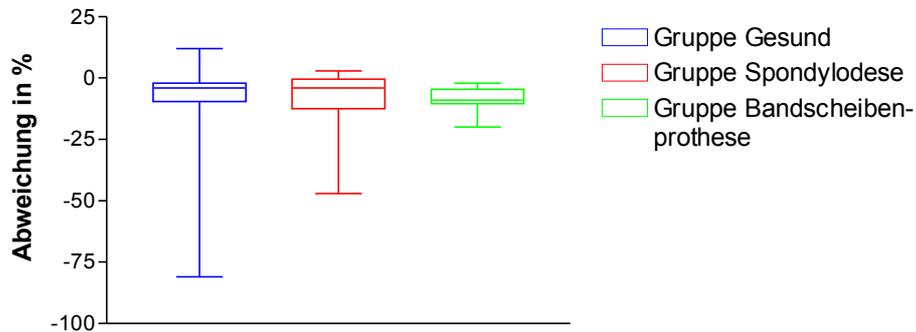
	Gruppe Gesund	Gruppe Spondylodese	Gruppe Bandscheibenprothese
<b>Median</b>	41	22	40
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	28/ 56	13/ 43	21/ 53
<b>Minimum/ Maximum</b>	10/ 94	-50/ 78	-49/ 92

Alle Zahlen der Tabelle geben prozentuale Abweichungen von der Kalibrierung wieder.

**Kruskal-Wallis-Test:**  $P < 0.05$  : Nein Wert: 0,2761

**Mann-Whitney U Test:** nicht durchgeführt, da  $P > 0.05$  im Kruskal-Wallis Test.

**Diagramm 18:** Darstellung von Median, Minimum und Maximum der definierten Extension von 20° des oberen Lendenwirbelsäulenabschnittes.



Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.

**Tabelle 34:** Median , 95% Konfidenzintervall sowie Minimum und Maximum der definierten Extension von 20° des oberen Lendenwirbelsäulenabschnittes.

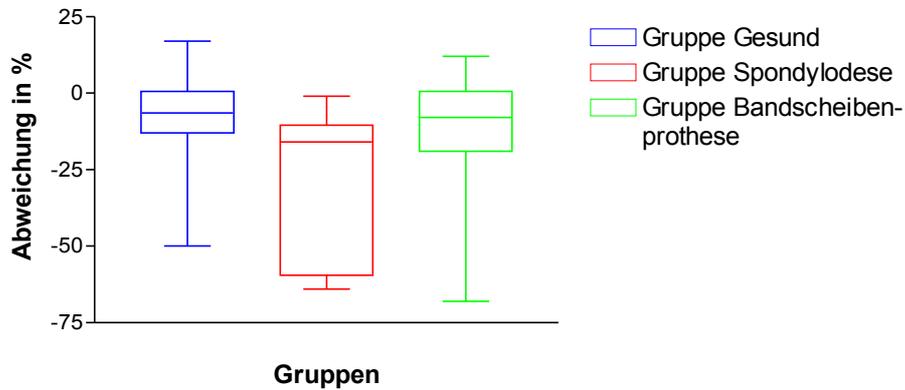
	<b>Gruppe Gesund</b>	<b>Gruppe Spondylodese</b>	<b>Gruppe Bandscheibenprothese</b>
<b>Median</b>	-4	-4	-9
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	-10/ -3	-14/ -1	-11/ -5
<b>Minimum/ Maximum</b>	-81/ 12	-47/ 3	-20/ -2

Alle Zahlen der Tabelle geben prozentuale Abweichungen von der Kalibrierung wieder.

**Kruskal-Wallis-Test:**  $P < 0.05$  : Nein Wert: 0,3111

**Mann-Whitney U Test:** nicht durchgeführt, da  $P > 0.05$  im Kruskal-Wallis Test.

**Diagramm 19:** Darstellung von Median, Minimum und Maximum der definierten Extension von 20° des unteren Lendenwirbelsäulenabschnittes.



Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.

**Tabelle 35:** Median , 95% Konfidenzintervall sowie Minimum und Maximum der definierten Extension von 20° des unteren Lendenwirbelsäulenabschnittes.

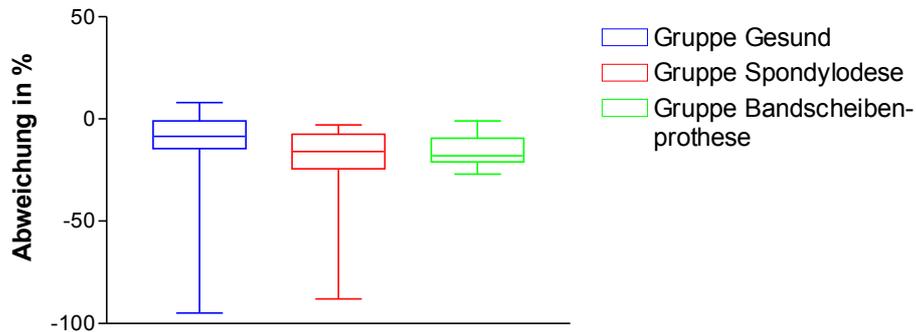
	<b>Gruppe Gesund</b>	<b>Gruppe Spondylodese</b>	<b>Gruppe Bandscheibenprothese</b>
<b>Median</b>	-7	-16	-8
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	-12/ -1	-60/ -11	-19/ 0
<b>Minimum/ Maximum</b>	-50/ 17	-64/ -1	-68/ 12

Alle Zahlen der Tabelle geben prozentuale Abweichungen von der Kalibrierung wieder.

**Kruskal-Wallis-Test :**  $P < 0.05$  : Ja      Wert: 0,0140

**Mann-Whitney U Test:** Gesund & Spondylodese:  $P=0,0037$

**Diagramm 20:** Darstellung von Median, Minimum und Maximum der definierten Lateralflexion nach links von 30° des oberen Lendenwirbelsäulenabschnittes.



Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.

**Tabelle 36:** Median , 95% Konfidenzintervall sowie Minimum und Maximum der definierten Lateralflexion von 30° nach links des oberen Lendenwirbelsäulenabschnittes.

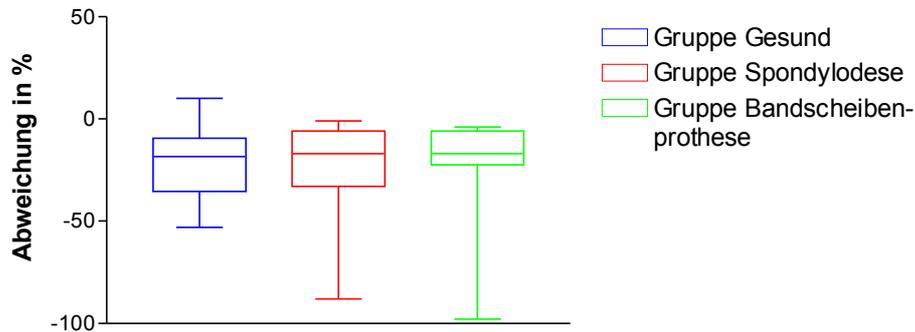
	Gruppe Gesund	Gruppe Spondylodese	Gruppe Bandscheibenprothese
<b>Median</b>	-9	-16	-18
<b>95%-Konfidenzintervall</b>	-14/ -2	-26/ -8	-22/ -11
<b>Minimum/Maximum</b>	-95/ 8	-88/ -3	-27/ -1

Alle Zahlen der Tabelle geben prozentuale Abweichungen von der Kalibrierung wieder.

**Kruskal-Wallis-Test:**  $P < 0.05$  : Ja      Wert: 0,0144

**Mann-Whitney U Test:**    Gesund & Spondylodese:  $P = 0,0353$   
    Gesund & Bandscheibenprothese:  $P = 0,0066$

**Diagramm 21:** Darstellung von Median, Minimum und Maximum der definierten Lateralflexion nach links von 30° des unteren Lendenwirbelsäulenabschnittes.



Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.

**Tabelle 37:** Median , 95% Konfidenzintervall sowie Minimum und Maximum der definierten Lateralflexion von 30° nach links des unteren Lendenwirbelsäulenabschnittes.

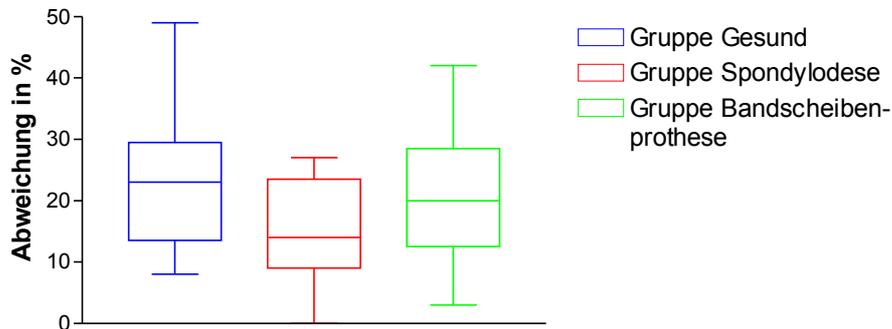
	Gruppe Gesund	Gruppe Spondylodese	Gruppe Bandscheibenprothese
<b>Median</b>	-19	-17	-17
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	-35/ -10	-39/ -8	-23/ -7
<b>Minimum/ Maximum</b>	-53/ 10	-88/ -1	-98/ -4

Alle Zahlen der Tabelle geben prozentuale Abweichungen von der Kalibrierung wieder.

**Kruskal-Wallis-Test :**  $P < 0.05$  : Nein Wert: 0,9546

**Mann-Whitney U Test:** nicht durchgeführt, da  $P > 0.05$  im Kruskal-Wallis Test.

**Diagramm 22:** Darstellung von Median, Minimum und Maximum der definierten Lateralflexion nach rechts von 30° des oberen Lendenwirbelsäulenabschnittes.



Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.

**Tabelle 38:** Median , 95% Konfidenzintervall sowie Minimum und Maximum der definierten Lateralflexion von 30° nach rechts des oberen Lendenwirbelsäulenabschnittes.

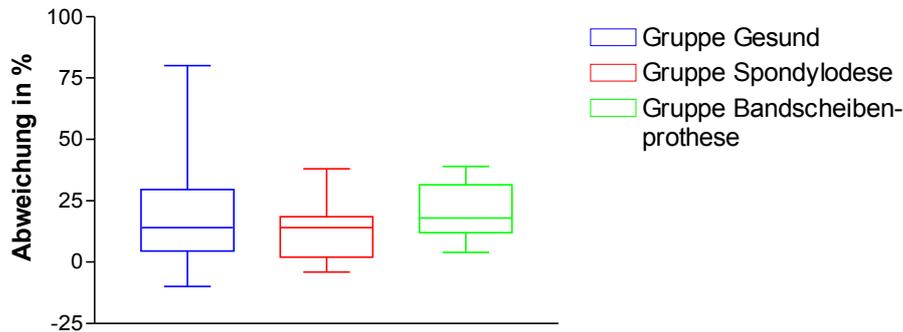
	Gruppe Gesund	Gruppe Spondylodese	Gruppe Bandscheibenprothese
<b>Median</b>	23	14	20
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	14/ 26	4/ 23	11/ 27
<b>Minimum/ Maximum</b>	8/ 49	0/ 27	3/ 42

Alle Zahlen der Tabelle geben prozentuale Abweichungen von der Kalibrierung wieder.

**Kruskal-Wallis-Test:**  $P < 0.05$  : Nein Wert: 0,0938

**Mann-Whitney U Test:** nicht durchgeführt, da  $P > 0.05$  im Kruskal-Wallis Test.

**Diagramm 23:** Darstellung von Median, Minimum und Maximum der definierten Lateralflexion nach rechts von 30° des unteren Lendenwirbelsäulenabschnittes.



Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.

**Tabelle 39:** Median , 95% Konfidenzintervall sowie Minimum und Maximum der definierten Lateralflexion von 30° nach rechts des unteren Lendenwirbelsäulenabschnittes.

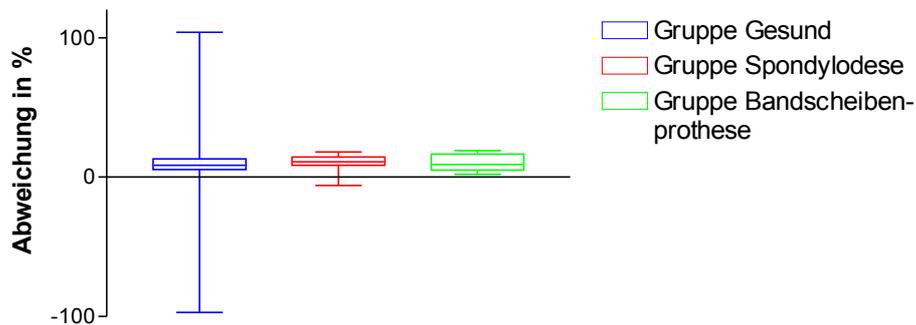
	Gruppe Gesund	Gruppe Spondylodese	Gruppe Bandscheibenprothese
<b>Median</b>	14	14	18
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	5/ 28	2/ 18	12/ 29
<b>Minimum/ Maximum</b>	-10/ 86	-4/ 38	4/ 39

Alle Zahlen der Tabelle geben prozentuale Abweichungen von der Kalibrierung wieder.

**Kruskal-Wallis-Test** : :  $P < 0.05$  : Nein Wert: 0,2671

**Mann-Whitney U Test:** nicht durchgeführt, da  $P > 0.05$  im Kruskal-Wallis Test.

**Diagramm 24:** Darstellung von Median, Minimum und Maximum der definierten Torsion nach rechts von 30° des oberen Lendenwirbelsäulenabschnittes.



Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.

**Tabelle 40:** Median , 95% Konfidenzintervall sowie Minimum und Maximum der definierten Torsion von 30° nach rechts des oberen Lendenwirbelsäulenabschnittes.

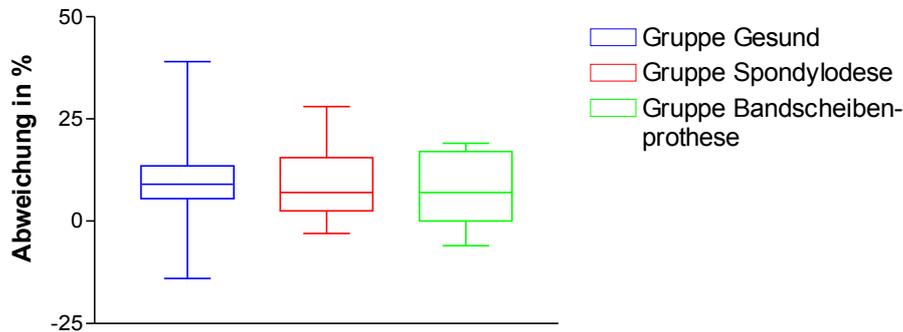
	<b>Gruppe Gesund</b>	<b>Gruppe Spondylodese</b>	<b>Gruppe Bandscheibenprothese</b>
<b>Median</b>	9	11	9
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	6/ 13	8/ 14	3/ 16
<b>Minimum/ Maximum</b>	-97/ 104	-6/ 18	2/ 19

Alle Zahlen der Tabelle geben prozentuale Abweichungen von der Kalibrierung wieder.

**Kruskal-Wallis-Test :**  $P < 0.05$  : Nein Wert: 0,5287

**Mann-Whitney U Test:** nicht durchgeführt, da  $P > 0.05$  im Kruskal-Wallis Test.

**Diagramm 25:** Darstellung von Median, Minimum und Maximum der definierten Torsion nach rechts von 30° des unteren Lendenwirbelsäulenabschnittes.



Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.

**Tabelle 41:** Median , 95% Konfidenzintervall sowie Minimum und Maximum der definierten Torsion von 30° nach rechts des unteren Lendenwirbelsäulenabschnittes.

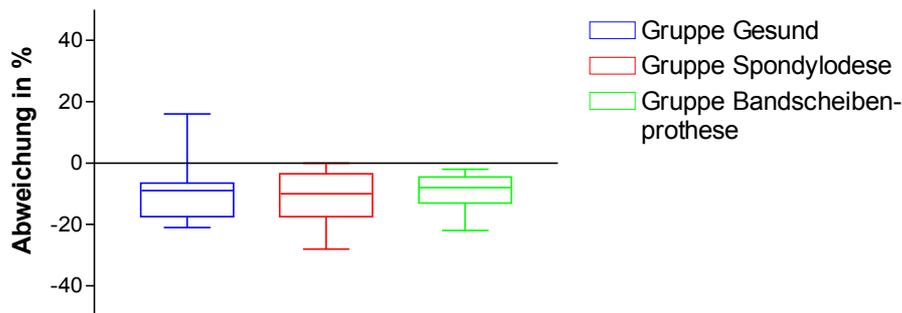
	<b>Gruppe Gesund</b>	<b>Gruppe Spondylodese</b>	<b>Gruppe Bandscheibenprothese</b>
<b>Median</b>	9	7	7
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	6/ 13	1/ 13	-1/ 17
<b>Minimum/ Maximum</b>	-14/ 39	-3/ 28	-6/ 19

Alle Zahlen der Tabelle geben prozentuale Abweichungen von der Kalibrierung wieder.

**Kruskal-Wallis-Test:**  $P < 0.05$  : Nein Wert: 0,9314

**Mann-Whitney U Test:** nicht durchgeführt, da  $P > 0.05$  im Kruskal-Wallis Test.

**Diagramm 26:** Darstellung von Median, Minimum und Maximum der definierten Torsion nach links von 30° des oberen Lendenwirbelsäulenabschnittes.



Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.

**Tabelle 42:** Median , 95% Konfidenzintervall sowie Minimum und Maximum der definierten Torsion von 30° nach links des oberen Lendenwirbelsäulenabschnittes.

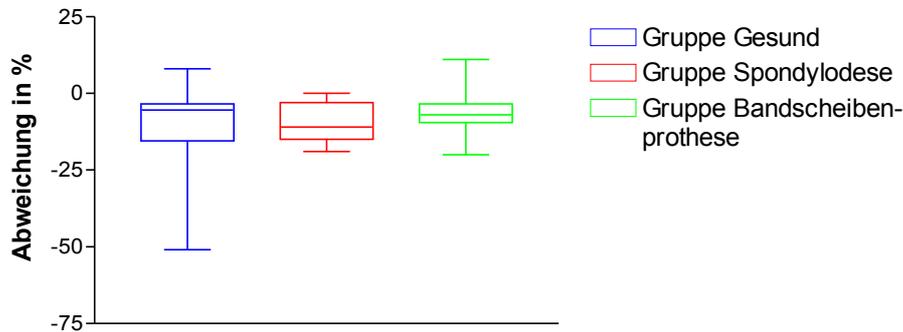
	<b>Gruppe Gesund</b>	<b>Gruppe Spondylodese</b>	<b>Gruppe Bandscheibenprothese</b>
<b>Median</b>	-9	-10	-8
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	-17/ -7	-20/ -4	-13/ -5
<b>Minimum/ Maximum</b>	-21/ 17	-28/ 0	-22/ -2

Alle Zahlen der Tabelle geben prozentuale Abweichungen von der Kalibrierung wieder.

**Kruskal-Wallis-Test :**  $P < 0.05$  : Nein Wert: 0,8205

**Mann-Whitney U Test:** nicht durchgeführt, da  $P > 0.05$  im Kruskal-Wallis Test.

**Diagramm 27:** Darstellung von Median, Minimum und Maximum der definierten Torsion nach links von 30° des unteren Lendenwirbelsäulenabschnittes.



Die Box des Boxplots reicht von der 25. bis zur 75. Perzentile.

**Tabelle 43:** Median , 95% Konfidenzintervall sowie Minimum und Maximum der definierten Torsion von 30° nach links des unteren Lendenwirbelsäulenabschnittes.

	Gruppe Gesund	Gruppe Spondylodese	Gruppe Bandscheibenprothese
<b>Median</b>	-6	-11	-7
<b>95%- Konfidenzintervall</b>	-14/ -4	-15/ -3	-10/ -4
<b>Minimum/ Maximum</b>	-51/ 8	-19/ 0	-20/ 11

Alle Zahlen der Tabelle geben prozentuale Abweichungen von der Kalibrierung wieder.

**Kruskal-Wallis-Test:**  $P < 0.05$  : Nein Wert: 0,7934

**Mann-Whitney U Test:** nicht durchgeführt, da  $P > 0.05$  im Kruskal-Wallis Test.

### 4.3.3 Ganganalyse

Die Ganganalyse erbrachte keine auswertbaren Ergebnisse.

## 4.4 Vergleich Röntgenfunktionsaufnahme – sonoSens®Monitor

Die Daten der Bewegungsanalyse wurden für die maximale Flexion und maximale Extension im unteren Lendenwirbelsäulenbereich mit denen der Röntgenfunktionsaufnahmen und den Resultaten der Messung nach Schober verglichen. Die Tabellen **44** und **45** stellen diese dar.

**Tabelle 44:** Vergleich der Ergebnisse für die maximale Flexion im unteren Lendenwirbelsäulenbereich des sonoSens® Monitors mit den Ergebnissen der Röntgenfunktionsaufnahmen und denen der Messung nach Schober. Die Nummer des Patienten mit einer Bandscheibenprothese ergibt sich aus der Reihenfolge der Studienteilnahme.

	<b>Patient 3</b>	<b>Patient 5</b>	<b>Patient 8</b>	<b>Patient 11</b>	<b>Patient 12</b>	<b>Patient 13</b>
<b>SonoSens® (in %)</b>	9,5	4,2	2,5	3,2	0	5,9
<b>Röntgenfunktions- Aufnahme (in°)</b>	1	24	10	0	18	24
<b>Schober (in cm)</b>	14	15	12	15	12	16

**Tabelle 45:** Vergleich der Ergebnisse für die maximale Extension im unteren Lendenwirbelsäulenbereich des sonoSens® Monitors mit den Ergebnissen der Röntgenfunktionsaufnahmen und denen der Messung nach Schober. Die Nummer des Patienten mit einer Bandscheibenprothese ergibt sich aus der Reihenfolge der Studienteilnahme.

	<b>Patient</b>	<b>Patient</b>	<b>Patient</b>	<b>Patient</b>	<b>Patient</b>	<b>Patient</b>
	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>
<b>SonoSens®</b> <b>(in %)</b>	2,9	0	0	0,2	1	1,3
<b>Röntgenfunktions-</b> <b>Aufnahme (in°)</b>	10	28	14	10	28	12
<b>Schober (in cm)</b>	7,5	9	9	9	9,5	7,5

## **5 Diskussion**

### **5.1 Operative Therapieoptionen chronischer Rückenschmerzen und deren Komplikationen**

Nach Ausschöpfung konservativer Therapiemöglichkeiten, existieren für chronische, rein diskogene Schmerzen bei erhaltenen schmerzfreien Facettengelenken hauptsächlich zwei operative Verfahren zur Beseitigung dieser Schmerzzustände im lumbalen Wirbelsäulenbereich.

Zum einen existieren fusionierende Verfahren. Als Alternative dazu wurde 1984 die Charite® Zwischenwirbel-Endoprothese erstmals implantiert. Sie verfolgt den Ansatz einer bewegungserhaltenden Therapieoption. Obwohl sie zum jetzigen Zeitpunkt weltweit am häufigsten verwendet und eine Vielzahl weiterer Prothesen entwickelt wurden, fehlen derzeit langfristige Ergebnisse, welche eine Überlegenheit der Prothesen eindeutig belegen würden.

Da die Wirbelsäule den Bewegungsumfang nur in ihrer Gesamtheit ermöglicht, wird durch einen versteifenden Eingriff im Bereich der Lendenwirbelsäule die Biomechanik verändert. Die Folgen für die angrenzenden Segmente, die eine entsprechende kompensatorische Mehrarbeit zu leisten haben, werden in der Literatur kontrovers diskutiert:

Durch eine Studie an menschlichen Lendenwirbelsäulenpräparaten zeigten Lee und Langrana, dass eine Verschiebung des Rotationszentrums in den der Fusion benachbarten Segmenten zu erhöhten Drücken in den Facettengelenken führt [Lee 2001]. In diesem Zusammenhang wird sehr häufig über eine beschleunigte Entstehung einer Anschlusssegmentinstabilität gesprochen. Sie wird als Spätkomplikation der lumbalen Fusionsoperationen angesehen. Radiologische Zeichen für Degenerationsvorgänge, wie hypertrophierte Facettengelenke oder Osteophytenbildung, sind sehr häufig zu finden. Durch wiederkehrende Lumbalgien, Lumboischialgien oder in Form von Listhesen, Stenosen, Diskusherniationen oder Wirbelkörperkompressionsfrakturen kann diese Anschlusssegmentinstabilität klinische Relevanz erlangen. Mögliche Risikofaktoren, die ein protrahiertes Auftreten begünstigen, sind vorbestehende degenerative Veränderungen, die Länge der Fusion oder eine intraoperative Verletzung der Facettengelenke.

In einer Zusammenschau der Studien treten vom radiologischen Standpunkt aus bei einer follow-up Spanne von 36-369 Monaten Veränderungen im Prozentbereich von 5,2 % bis 100% auf. Das Auftreten einer symptomatischen Degeneration der angrenzenden Segmente wird bei einem follow-up von 44,8-164 Monaten in einem Bereich von 5,2% bis zu 18,5% angegeben [Etebar 1999], [Park 2004].

Eine 2004 von G. Ghiselli publizierte, prognostische Studie geht bei einer Patientenzahl von 215, aufgrund von durch Kaplan-Meier Überlebenskurven berechneten Daten davon aus, dass 36,1% der Patienten mit einer Spondylodese, sich in den nächsten 10 Jahren einer weiteren operativen Behandlung unterziehen müssen [Ghiselli 2004].

Trotz vieler veröffentlichter Daten ist es nach wie vor unklar, in welchem Maße die Degenerationsvorgänge durch Spondylodesen beschleunigt werden, oder ob es sich um ganz natürliche Vorgänge handelt.

Einer der Hauptgründe für die Entwicklung der Bandscheibenprothesen war der Wunsch ein in biomechanischen Belangen der gesunden Bandscheibe entsprechendes Implantat zu schaffen und das physiologische Bewegungsmuster der Wirbelsäule wiederherzustellen. Gerade die Erhaltung einer guten Beweglichkeit scheint für den Erfolg der operativen Versorgung mit einer Bandscheibenprothese sehr wichtig zu sein. Huang et al. untersuchten in einer retrospektiven Studie bei 42 Patienten den Zusammenhang zwischen dem erhaltenen Bewegungsausmaß und radiologischen Zeichen einer Anschlusssegmentdegeneration sowie eventuell aufgetretenen klinischen Symptomen nach durchschnittlich 8,7 Jahren nach Prothesenimplantation. Nur bei den Patienten mit einer Beweglichkeit unter 5% in den Segmenten L4/L5 oder L5/S1 bei Flexions- und Extensionsbewegungen traten radiologische Veränderungen, die von keinerlei Symptomen begleitet wurden, auf [Huang 2006]. Derzeit wird diskutiert, inwiefern eine zu große Beweglichkeit den genau gegenteiligen Effekt zur Folge hat und wiederum eine unphysiologische biomechanische Situation im Bewegungssegment hervorruft [Denoziere 2006]. Demgegenüber wurde der positive Effekt einer Implantation auf die Morphologie der Facettengelenke, mit einer Abnahme der Knochendichte und einer Normalisierung des Belastungsmusters belegt [Trouillier 2006]. Als Komplikationen im Zusammenhang mit der Charite® Bandscheibenprothese werden degenerative Veränderungen in angrenzenden Segmenten, das Einsinken der Deckplatten in die Wirbelkörper, eine Arthrose der Facettengelenke und die Entstehung von

Polyethylenabriebpartikeln aufgeführt [Ooij 2003]. Auch das Auftreten von Spontanfusionen in den operierten Segmenten wird von Putzier mit 60% des Patientengutes, allerdings mit einem Nachuntersuchungszeitraum von 17 Jahren, angegeben [Putzier 2006]. Demgegenüber traten radiologische Zeichen einer heterotopen Ossifikation bei einer prospektiv durchgeführten Studie mit 276 Patienten lediglich bei 4,3% auf, wobei keinerlei Beeinträchtigung des Bewegungsausmaßes beobachtet wurde [Tortolani 2007]. Es gilt aber zu beachten, dass dies keinen direkten Beweis für die erhaltene Beweglichkeit der Prothese darstellt.

## 5.2 Patientengut

An der vorliegenden Studie nahmen insgesamt 50 Probanden und Patienten teil. Als Pilotstudie angelegt, sollte sie den Sinn eines direkten funktionellen Vergleichs zwischen wirbelsäulengesunden Menschen, im Lendenwirbelsäulenbereich fusionierten Personen und Bandscheibenprothesenträgern überprüfen. Derzeit existiert eine einzige Studie, die den Vergleich der Biomechanik zwischen diesen drei Gruppen zum Thema hat. Dabei wurde in einem biomechanischen Labor für jeden Fall ein Lendenwirbelsäulenpräparat getestet. Aufgrund einer abnorm erhöhten Beweglichkeit in dem mit einer Bandscheibenprothese versorgten Segment, ist laut dem Autor das Risiko der Entstehung einer Segmentinstabilität höher als in dem fusionierten [Denozziere 2006].

Von den 26 im Zeitraum zwischen 2001 und 2005 am Klinikum Großhadern operierten Patienten, konnten 15 was 58% entspricht, für die Studie gewonnen werden. Ein höherer Prozentsatz war leider nicht zu erreichen, was einerseits auf die freiwillige Basis der Teilnahme andererseits auf die fehlende finanzielle Aufwandsentschädigung zurückzuführen ist. Zusätzlich konnten einige Patienten, durch einen Wohnortwechsel bedingt, nicht mehr erreicht werden.

In der Kontrollgruppe, als Gruppe Gesund bezeichnet, war das Geschlechterverhältnis 1:1, in Gruppe Spondylodese 1,1: 1 und in Gruppe Bandscheibenprothese 2,75:1. Diese Verhältnisse kamen durch das unterschiedliche Teilnahmeverhalten der Patienten zustande. Es gilt allerdings zu berücksichtigen, dass Frauen bezüglich der 7-Tages- und 12 Monatsprävalenz für Rückenschmerzen in jeder Altersstufe die Männer, gemäß dem Bundesgesundheitsurvey von 1998, übertrafen [Hildebrand 2005].

Der im Vergleich zu den beiden Patientengruppen niedrige Altersdurchschnitt von 29 Jahren in Gruppe Gesund, wird durch die Einschlusskriterien für diese Gruppe hervorgerufen. Voraussetzung für die Aufnahme war sowohl die völlige Beschwerdefreiheit im Hinblick auf Rückenschmerzen als auch das Fehlen jeglicher Traumata oder ärztlicher Interventionen im Wirbelsäulenbereich. Epidemiologische Daten aus dem Bundesgesundheitsurvey von 1998 zeigen einen progressiven Anstieg der Prävalenzen für Rückenschmerzen ab dem 20. Lebensjahr mit einem Gipfel zu Beginn des 6. Lebensjahrzehnts [Hildebrand 2005].

Somit erscheint ein Durchschnittsalter von etwa 30 Jahren für den Erhalt einer bezüglich der Wirbelsäule gesunden Probandengruppe am adäquatesten. Zwischen Gruppe Spondylodese mit 48 Jahren und Gruppe Bandscheibenprothese mit 40 Jahren als Durchschnittswert ist die vorhandene Differenz zum einen durch die geringe Patientenzahl zum anderen durch die strenge Auswahl der Patienten, die für die Implantation einer Bandscheibenprothese geeignet sind, zu erklären.

Mit einer mittleren Follow-up Zeit von 3,6 Jahren, oder anders ausgedrückt 43,2 Monaten, konnten mit der Studie in erster Linie kurz- und mittelfristige Veränderungen und klinische Ergebnisse erfasst werden.

Im Hinblick auf die Ergebnisse der Untersuchungen sei an dieser Stelle besonders auf die Inhomogenität der Gruppe Bandscheibenprothese hingewiesen. Neun Patienten erhielten ausschließlich eine Bandscheibenprothese, wohingegen bei sechs Personen zusätzlich eine PLIF-Instrumentierung erfolgte.

## **5.3 Methodik**

### **5.3.1 Fragebögen**

Mittlerweile ist die Verwendung der Visuellen Analogskala und des Oswestry Low Back Pain Disability Questionnaires zur Erfassung der aktuellen Schmerzsituation und der dadurch hervorgerufenen Beeinträchtigung im Alltag für Fragestellungen im Bezug auf Rückenschmerzen gut etabliert. Zahlreiche Studien bedienten sich dieser beiden Messinstrumente [Blumenthal 2006], [Büttner-Janzen 2002], [Putzier 2005], [Trouillier 2006].

Ebenso wird der Short Form-36 Fragebogen zur Erhebung des allgemeinen Gesundheitszustandes regelmäßig verwendet [Throckmorton 2003], [Glassman 2006], [Mc Afee 2005], [Trouillier 2006].

Dadurch ist eine gewisse Vergleichbarkeit der Ergebnisse gegeben. Es gilt allerdings zu berücksichtigen, dass diese Fragebögen für unterschiedliche Studientypen verwendet wurden. Dies reicht von randomisierten, multizentrischen bis zu retrospektiven Fall-Kontroll Studien. Die vorliegende Studie untersuchte den Schmerzzustand, die Alltagsbeeinträchtigung und den Gesundheitszustand zum Nachuntersuchungszeitpunkt. Dadurch ist leider keine Beurteilung des präoperativen Zustandes und der durch die operative Versorgung eingetretenen Verbesserung der Schmerzen und Einschränkungen möglich.

Der Fragebogen zur Nachuntersuchung wurde eigens für diese Studie verfasst. Es wurde auf keine vergleichbaren Fragebögen zurückgegriffen. Neben der Ergänzung der klinischen Untersuchung stand die Frage nach der subjektiven Zufriedenheit der Patienten mit ihrem jetzigen Gesundheitszustand im Vordergrund. Diese wurde von allen Patienten sinngemäß beantwortet.

Die teils mangelhafte Beantwortung der Fragen, die in den Rubriken Vorerkrankungen, Schmerzmedikation und Wiederaufnahme der normalen Tätigkeit zutage trat, zeigt aber die Schwäche des Fragebogens auf. Laut Patientenaussagen ist diese in erster Linie auf das mittlere Follow-up von 3,6 Jahren zurückzuführen, die sich dadurch nicht in der Lage sahen Fragen mit speziellem medizinischem Inhalt zu beantworten.

### **5.3.2 Klinische Untersuchung**

Unter Berücksichtigung aller Elemente, die zur Untersuchung der Wirbelsäule und der durch die Spinalnerven L1-S1 versorgten Strukturen zählen, wurden bei allen Personen nach einem festgelegten Schema Daten erhoben.

Die einzelnen Bestandteile der Wirbelsäulenuntersuchung sind vielfach in der Literatur genannt [Hildebrandt 2005], [Niethard 2003].

Der Vorteil hierbei war auf etablierte Untersuchungsmethoden zurückgreifen zu können.

### **5.3.3 Bewegungsanalyse**

Der sonoSens® Monitor wurde entwickelt um mobile Analysen anzufertigen. Der größte Vorteil dieses Gerätes besteht in der Möglichkeit zügig ein Bewegungsprofil ohne weitere Beeinträchtigungen der Patienten durch zusätzliche Apparaturen erstellen zu können. Die Herstellerfirma nutzte diese große Bewegungsmöglichkeit bereits bei der Durchführung einiger Studien. So war es beispielsweise möglich Messungen während dem Klavierspiel, bei Mitarbeitern eines Sägewerks und sogar während des Schlafes durchzuführen [Junghanns 2002], [Friedrich 2002], [Baum 1999]. Daher erschien der sonoSens® Monitor ideal für eine vergleichende Bewegungsanalyse. Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass Distanzänderungen der Haut und des darunterliegenden Gewebes erfasst werden. Die Genauigkeit, mit der die Messverfahren durch die Erfassung von Längenänderungen der Haut die Beweglichkeit der darunterliegenden knöchernen Strukturen widerspiegeln, wurde in verschiedenen Studien erforscht. So wurde bereits 1969 die Messmethode nach Schober von Macrea und Wright untersucht. Bei einem Vergleich zwischen den Längenänderungen der Haut und Winkeländerungen im lumbalen Wirbelsäulenbereich, die mit Röntgenaufnahmen bestimmt wurden, ergab sich nach Verwendung einer linearen Funktion ein Standardfehler von  $6,2^\circ$  [Macrea 1969].

Bryant und seine Mitarbeiter errechneten 1989 bei einer Untersuchung zur Abweichung der Messergebnisse zwischen Hautmarkern und darunterliegenden knöchernen Strukturen einen Wert von 0,4 cm [Bryant 1989].

Wendrock verglich 1989 die Daten eines ultraschallgestützten Messsystems zur Erfassung von Längenänderungen der Haut im Bereich der Brustwirbelsäule mit aus Videosequenzen berechneten Winkeln. Dabei zeigte sich ein starker linearer Zusammenhang [Wendrock 1989].

In der vorliegenden Studie wäre die genauere Eingrenzung der einzelnen operierten Bewegungssegmente wünschenswert gewesen, was allerdings durch die technischen Gegebenheiten des sonoSens® Monitors nicht möglich war. Somit konnten nur Aussagen zu den beiden Lendenwirbelsäulenbereichen zwischen Th 12 und L3 und L3 und S1 getroffen werden.

Um für alle Probanden und Patienten bezüglich der definierten Bewegungen gleiche Bedingungen zu schaffen, wurden die im Methodenteil beschriebenen Gerätschaften geschreinert. Messungen mit dem Goniometer stellten bei der Herstellung der verschiedenen Winkelaufsätze die Einhaltung der gewünschten Gradzahlen sicher.

Zur Aufzeichnung der definierten Bewegungen mussten die Personen soweit die Bewegung ausführen, bis der jeweilige Abschnitt des Rumpfes an dem Aufsatz anlag. Verfälschungen könnten sich vor allem bei der Flexion um 60° nach vorne durch ein zu ausladendes Abdomen oder bei Frauen durch die Brüste ergeben haben.

## **5.4 Ergebnisse**

### **5.4.1 Fragebögen**

Die Visuelle Analogskala (VAS) und der Oswestry Low Back Pain Disability Questionnaires (ODI) zeigten die erwarteten Ergebnisse, wobei die Gruppe der Gesunden bei beiden Fragebögen absolut schmerzfrei war und auch die Patienten mit einer Bandscheibenprothese in deutlich geringerem Ausmaße von Schmerzen geplagt oder durch diese eingeschränkt waren als diejenigen mit einer Spondylodese. Allerdings waren die Werte nur im Vergleich mit den gesunden Personen signifikant unterschiedlich, nicht aber zwischen den beiden verschiedenen Operationsverfahren. Leider lagen keine Daten zum präoperativen Zeitpunkt vor, so dass die durch die Operation hervorgerufene Verbesserung nicht erhoben werden konnte. Die zur Zulassung der Charite® Zwischenwirbel Endoprothese führende Studie der Food and Drug Administration zeigte nach einem Zeitraum von zwei Jahren ebenfalls bessere Werte in der Untersuchungsgruppe [Blumenthal 2005]. Nach 46 Monaten und somit einer vergleichbaren Zeitspanne lagen die Ergebnisse des ODI in einer Studie bei 24%. Aus diesem Grund erscheinen 16% in Gruppe Bandscheibenprothese als sehr gutes Resultat [Büttner-Janitz 2002]. Dieser Wert wurde auch in einer Untersuchung von Huang hinsichtlich des Auftretens einer Anschlusssegmentdegeneration bei Personen ohne Anzeichen dafür erreicht [Huang 2006]. In der Bewertung der lumbalen Fusion finden sich in der Literatur für den ODI Werte zwischen 22,9% und 35,7% zwei Jahre postoperativ [Kwon 2006], [Glassmann 2006].

Bei der Erfassung der allgemeinen Lebensqualität durch den Short Form 36 Fragebogen war ebenfalls nur eine Erfassung zum Untersuchungszeitpunkt möglich. Somit können leider keine Aussagen zur Verbesserung der einzelnen Kategorien durch die Operation getroffen werden. Ein Vergleich zwischen den Gruppen zeigt bei den Trägern einer Bandscheibenprothese annähernd die Ergebnisse der Probandengruppe. Dies wird im ersten Quartett der Fragen, welches die physische Gesundheit des Untersuchten eruiert, deutlich. Die stärkere Einschränkung der körperlichen Funktion, der höhere Schmerzlevel und ein reduzierter allgemeiner Gesundheitszustand in Gruppe Spondylodese korrelieren gut mit den Ergebnissen des ODI und der VAS.

Demgegenüber zeigt die psychische Gesundheit, die durch die Kategorien vier bis acht erfasst wird, hinsichtlich der Resultate nur geringe Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen auf. Die Zahlenwerte des Short Form 36 Fragebogens sind denen einer 2006 von Trouillier veröffentlichten Studie zu Untersuchungen der Integrität der Facettengelenke nach Implantation einer Bandscheibenprothese vor allem in Gruppe Bandscheibenprothese sehr ähnlich [Trouillier 2006].

Als häufigste präoperative Schmerzform wurde in beiden Patientengruppen im Fragebogen zur Nachuntersuchung die chronische Lumbalgie genannt. Postoperative Störungen des Urogenitaltraktes oder der Sexualfunktion traten in Gruppe Spondylodese häufiger auf. In beiden Patientengruppen war in jeweils einem Fall eine weitere Operation notwendig. Leider konnten keine vergleichbaren Studien zur Überprüfung der Relevanz dieser Beobachtungen herangezogen werden. Bei allen Patienten war eine gute subjektive Zufriedenheit mit den erhaltenen Operationsverfahren gegeben.

#### **5.4.2 Klinische Untersuchung**

In der klinischen Untersuchung konnte in allen Gruppen keine großen Abweichungen vom physiologischen Wirbelsäulenprofil in frontaler und sagittaler Ausrichtung festgestellt werden. Bezüglich der mit Hilfe eines Goniometers erfassten Seitneigungs- und Rotationsfähigkeit der Wirbelsäule zeigte sich eine Annäherung der Gruppe Bandscheibenprothese an die Gruppe Gesund. Die nur gering ausgeprägten Unterschiede in den beiden Patientengruppen bezüglich der Messungen nach Schober und Ott und des Fingerbodenabstands schließen aber keinesfalls eine verbesserte Beweglichkeit durch die Bandscheibenprothese auf Segmentebene aus, da die verwendeten Untersuchungsmethoden durch viele Faktoren beeinflusst werden und nur einen Gesamteindruck geben können. Auffällig war aber die vermehrte Klopferschmerzhaftigkeit der Dornfortsatzreihe auf Höhe des operierten Segmentes in der Gruppe der Spondylodese. Als Ergänzung der apparativen Bewegungsanalyse scheint eine strukturierte Untersuchung der Wirbelsäule sehr sinnvoll zu sein.

### **5.4.3 Bewegungsanalyse**

Verglichen wurden zum einen die maximalen Bewegungsausschläge der Wirbelsäule und zum anderen die Stellung derselbigen bei zuvor festgelegten Winkelgraden. Die hierbei erzielten Resultate sollten mit denen der Fragebögen und der klinischen Untersuchung verglichen werden um so ein Gesamtbild abzuliefern. Durch die Anordnung der Messelektroden wurde die Lendenwirbelsäule in einen oberen und einen unteren Abschnitt unterteilt. Da bis auf einen Patienten der Gruppe Spondylodese, der die Fusionsoperation zwischen L3 und L4 erhalten hatte, nur die Segmente L4 bis S1 operiert wurden, erscheint diese Einteilung der Lendenwirbelsäule zur Untersuchung deren postoperativen Beweglichkeit richtig gewählt. Eine die physiologischen Maße übertreffende Beweglichkeit wird durch eine verstärkte Belastung der angrenzenden Wirbelsäulenbereiche als Risikofaktor für die Entstehung einer Anschlusssegmentinstabilität angesehen [Denoziere 2006]. Demgegenüber birgt aber auch eine zu geringe Mobilität die Gefahr der negativen Beeinflussung auf die Gesamtfunktion der Wirbelsäule [Huang 2006]. Daher sollten die Bandscheibenprothesenträger ähnliche Werte erzielen wie die gesunden Probanden, wenn sie dem Hauptziel der Prothetik, der Wiederherstellung eines physiologischen Bewegungsmusters, gerecht werden wollen.

Es gilt bei allen Werten die Inhomogenität der Gruppe Bandscheibenprothese zu berücksichtigen. Des Weiteren konnten durch die Datenerhebungen mit dem sonoSens® Monitor nur der untere und obere Lendenwirbelsäulenbereich und nicht einzelne Bewegungssegmente erfasst werden. Der Vorteil der mobilen Bewegungsanalyse gereicht aber durch die gleichzeitige Ermöglichung diverser Ausweichbewegungen während des Untersuchungsablaufs der Genauigkeit der Messung zum Nachteil. Bei keiner der gemessenen Bewegungen lag ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Gruppe Spondylodese und der Gruppe Bandscheibenprothese vor. Nur bei vereinzelt Parametern zwischen den gesunden Probanden und den beiden Patientengruppen ergaben sich statistisch signifikant unterscheidende Ergebnisse. Hier wären höhere Fallzahlen für die jeweiligen Gruppen wünschenswert gewesen.

Eine Modellrechnung für den Parameter der maximalen Flexion der unteren Lendenwirbelsäule ergab allerdings eine Patientenzahl von 100 Personen als sinnvolle Zielgröße pro Gruppe um signifikante Unterschiede zwischen den Parametern der einzelnen Operationsverfahren zu erreichen.

Bei den Maximalbewegungen der oberen Lendenwirbelsäule zeigten sich für die Gruppe Bandscheibenprothese bei allen Bewegungen tendenziell die Ergebnisse, wie sie auch in der Gruppe Gesund erzielt wurden. Die Messungen mit den definierten Winkelgraden sind schwer zu interpretieren. Zum einen scheinen die gewählten Gradzahlen zu gering zu sein, als dass sie sinnvolle Aussagen zu den Veränderungen zulassen würden, zum anderen verfälschen viele Störeinflüsse die Resultate. Dies lässt sich auch an den großen Streubreiten und weit auseinander liegenden Minima und Maxima erkennen. Trotzdem kann man wiederum eine Annäherung der Gruppe Bandscheibenprothese an die Gruppe Gesund für die Flexion, die Lateralflexion nach rechts und die Torsion zu beiden Richtungen beobachten. Bei der Extension und der Lateralflexion nach links ermöglicht die Bandscheibenprothese die höchste Beweglichkeit.

Im unteren Lendenwirbelsäulenbereich erreicht die Gruppe Bandscheibenprothese bei der maximalen Flexion, Extension und der beidseitigen Lateralflexion tendenziell die Resultate der Gruppe Gesund. Bei den Torsionsbewegungen sind die Ergebnisse der Gruppen Spondylodese und Bandscheibenprothese fast identisch und liegen für beide Gruppen unter denen der Gruppe Gesund. Bei der Interpretation der definierten Bewegungen müssen wiederum die vermehrten Störeinflüsse berücksichtigt werden. Es findet sich ebenfalls eine Annäherung der Ergebnisse zwischen Gruppe Bandscheibenprothese und Gruppe Gesund für die Flexion, die Extension und die Torsion nach links.

Gegenüber vorhandener Literatur konnte kein Anhalt für eine zu große Beweglichkeit bei den Bandscheibenprothesen als Risikofaktor für eine höhere Instabilität und die Entwicklung einer Anschlusssegmentinstabilität gefunden werden [Denoziere 2006]. Insgesamt sind in der Gruppe Bandscheibenprothese deutliche Tendenzen zu den Ergebnissen der Gruppe Gesund erkennbar.

Die Datenerhebung einer Ganganalyse erscheint auch für zukünftige Studien durch die vielfältigen beeinflussenden Störfaktoren wenig sinnvoll.

#### **5.4.4 Vergleich Röntgenfunktionsaufnahmen - sonoSens®Monitor**

Beim Vergleich zwischen den Röntgenfunktionsaufnahmen und den Messungen des sonoSens® Monitor konnten keine Korrelationen festgestellt werden. Dies liegt aber hauptsächlich daran, dass mit den Funktionsaufnahmen einzelne Bewegungssegmente untersucht werden und der sonoSens® Monitor Aussagen zu Wirbelsäulenabschnitten ermöglicht. Zwischen den Messungen nach Schober und den erhobenen Daten der Bewegungsanalyse findet sich stets ein gleichsinniger Zusammenhang je nach Patient im Sinne einer guten oder auch eingeschränkten Beweglichkeit der Lendenwirbelsäule.

#### **5.4.5 Schlussfolgerungen**

In Zusammenschau der eigenen Ergebnisse können folgende Aspekte bezüglich der operativen Versorgung durch eine posteriore lumbale Wirbelkörperfusion (Gruppe Spondylodese) und einer Charite® Zwischenwirbelendoprothese (Gruppe Bandscheibenprothese) festgehalten werden.

- Sowohl die Fusionsoperation als auch die Implantation einer Prothese verschaffen bei einem mittleren follow-up von 3,6 Jahren den Patienten eine ausreichende Schmerzfreiheit, die eine Erledigung der alltäglichen Anforderungen ermöglicht.
- Der Schmerzgrad zum Untersuchungszeitpunkt und die daraus resultierende Beeinträchtigung im Alltag waren in Gruppe Bandscheibenprothese geringer.
- Im Bereich der physischen Gesundheit des Short Form 36 Fragebogens zeigten sich bessere Ergebnisse für die Gruppe Bandscheibenprothese. Hinsichtlich der psychischen Gesundheit für alle Gruppen annähernd gleiche Resultate
- In beiden Gruppen war ein hohes Maß an subjektiver Zufriedenheit mit der erhaltenen Behandlung vorhanden. Auf einer Skala von eins bis fünf lassen sich höhere Werte für die Implantation der Charite® im Vergleich zur Spondylodese finden.
- Geringe Anzahl von Rezidivbehandlungen im Nachuntersuchungszeitraum sowohl bei den Spondylodesen als auch den Prothesen notwendig .
- Keine deutlichen Unterschiede in der klinischen Untersuchung zu Ungunsten eines der beiden Operationsverfahren.
- Die Analyse der Bewegungen zeigt trotz der Inhomogenität der Gruppe Bandscheibenprothese tendenziell gleichartige Ergebnisse wie sie in der Gruppe Gesund vorliegen.
- Keine Anzeichen für ein pathologisch verändertes Bewegungsmuster in den benachbarten Segmenten in Gruppe Bandscheibenprothese.
- Der sonoSens® Monitor stellt ein sinnvolles Verfahren für die Analyse der Wirbelsäulenbeweglichkeit dar. Der Genauigkeit der Datenerhebung sind durch mannigfaltige Störeinflüsse allerdings enge Grenzen gesetzt.

## **6 Zusammenfassung**

Bei der operativen Behandlung der erosiven Osteochondrose im Bereich der Lendenwirbelsäule finden hauptsächlich zwei Verfahren Anwendung. Den bisherigen Goldstandard stellt derzeit noch die Versorgung mit einer Spondylodese, also einem fusionierendem Verfahren dar. Bereits in den 1980er Jahren wurden allerdings große Bemühungen unternommen um alternative Möglichkeiten der Operation zu entwickeln. Vor allem die Störung des physiologischen Bewegungsmusters durch die Fusion zweier Segmente stellt einen Eingriff in die Gesamtfunktion der Wirbelsäule dar, den es zu umgehen gilt. In diesem Zusammenhang wird häufig von der Entstehung einer Anschlusssegmentinstabilität gesprochen. Daher wurden verschiedene Systeme des Zwischenwirbelersatzes entwickelt. Die Charite® Bandscheibenprothese stellt den derzeit am häufigsten verwendeten Typ dar. Nach wie vor konnte vor allem durch die geringe Anzahl an prospektiv angelegten Studien mit großen Fallzahlen und durch fehlende Langzeitergebnisse keine eindeutige Überlegenheit der Bandscheibenprothesen gegenüber den fusionierenden Verfahren festgestellt werden.

In einer retrospektiven Studie wurden von April bis August 2006 insgesamt 50 Personen, von denen 30 im Zeitraum von 2000 bis 2005 in der Orthopädischen Klinik und Poliklinik der Ludwig Maximilians Universität München, Klinikum Großhadern, entweder mit einer monosegmentalen, posterioren lumbalen Wirbelkörperperfusion mittels CONTACT Fusion Cages der Firma Synthes (Gruppe Spondylodese) oder einer Charite® Zwischenwirbelendoprothese (Gruppe Bandscheibenprothese) operativ versorgt wurden, untersucht. In Gruppe Bandscheibenprothese wurden allerdings auch Patienten die beide Verfahren erhalten hatten, aufgenommen. Die Erfassung der aktuellen Rückenschmerzsituation durch eine Visuelle Analogskala (VAS), die damit verbundene Beeinträchtigung im Alltag mittels Oswestry Low Back Pain Disability Questionnaires (ODI) und die Einschätzung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität mit dem Short Form 36 Fragebogen (SF-36) bildeten den einen Schwerpunkt der Studie.

Ein selbst entwickelter Fragebogen zur Nachuntersuchung evaluierte unter anderem die präoperative Schmerzsituation und die subjektive Zufriedenheit mit der operativen Versorgung.

Den zweiten Schwerpunkt stellte die Bewegungsanalyse der Lendenwirbelsäule mit dem auf Sonometrie basierenden sonoSens® Monitor der Firma Friendly Sensors AG und eine klinische Untersuchung dar. Durch veränderte Laufzeiten des Ultraschallsignals lassen sich Rückschlüsse über die Beweglichkeit der darunterliegenden Wirbelsäulenabschnitte ziehen.

Die Ergebnisse der beiden Patientengruppen wurden mit denen eines wirbelsäulengesunden Probandenkollektivs (Gruppe Gesund) verglichen.

Dadurch sollte einerseits gezeigt werden, dass durch die Zwischenwirbelendoprothese im Gegensatz zu fusionierenden Verfahren ein physiologischeres Bewegungsmuster wiederhergestellt wird und diese Therapieoption ein beschwerdefreieres Leben im Alltag ermöglicht.

Das untersuchte Kollektiv stellt sowohl in der Art der Zusammenstellung als auch im Untersuchungsansatz eine bisher einmalige Patientenserie dar.

Der Altersdurchschnitt der Gruppe Gesund lag bei 29 Jahren (22 bis 55 Jahre) Das Durchschnittsalter zum Operationszeitpunkt betrug in Gruppe Spondylodese 48 Jahre (34 bis 63 Jahre) in Gruppe Bandscheibenprothese 40 Jahre (28 bis 51 Jahre). Das mittlere follow up für die Gruppen Spondylodese und Bandscheibenprothese lag bei 3,6 Jahren (3,5 in Gruppe Spondylodese, 3,7 in Gruppe Bandscheibenprothese).

Zur Operation führte hauptsächlich die Diagnose einer erosiven Osteochondrose in den Wirbelsäulensegmenten L4 bis S1. Dies war in Gruppe Bandscheibenprothese bei allen Patienten der Fall. In Gruppe Spondylodese lag in sechs Fällen eine Spondylolisthesis vor in den übrigen eine erosive Osteochondrose.

Die Visuelle Analogskala ergab bezüglich der zum Untersuchungszeitpunkt vorhandenen Rückenschmerzen Medianwerte von null in Gruppe Gesund, fünf in Gruppe Spondylodese und zwei in Gruppe Bandscheibenprothese.

Beim ODI lagen sie bei 0%, 26% und 16% Beeinträchtigung im Alltag. Der SF-36 zeigte im Bereich der physischen Gesundheit schlechtere Resultate für die Gruppe Spondylodese, wohingegen sich Gruppe Bandscheibenprothese der wirbelsäulengesunden Probandengruppe annäherte. Die psychische Gesundheit lieferte gleiche Ergebnisse für alle Gruppen. Die häufigste präoperative Schmerzform war die chronische Lumbalgie. Zusätzlich hatten 86% der Patienten in Gruppe Spondylodese und 60% in Gruppe Bandscheibenprothese eine Ischialgie.

Alle Patienten zeigten eine hohe subjektive Zufriedenheit mit dem erhaltenen Operationsverfahren. Postoperativ traten in Gruppe Spondylodese bei zwei Patienten Störungen der Harnfunktion in Form einer hypokontraktilen Blase auf. In zwei Fällen fühlten sich Patienten durch nicht näher bezeichnete Schmerzen beim Geschlechtsverkehr beeinträchtigt. In Gruppe Bandscheibenprothese fühlte sich eine Patientin durch ein anhaltendes Taubheitsgefühl in der Leistengegend in ihrer sexuellen Aktivität beeinträchtigt.

Die Bewegungsanalyse der Wirbelsäule zeigte bei den meisten Bewegungen trotz der Inhomogenität der Gruppe Bandscheibenprothese tendenziell gleichartige Ergebnisse wie sie in Gruppe Gesund vorlagen. Keine Anzeichen für eine zu geringe oder pathologisch zu hohe Beweglichkeit in den an das operierte Segment angrenzenden Wirbelsäulenabschnitten konnten beobachtet werden. Somit erscheint die Versorgung mit einer Bandscheibenprothese vor allem in Zusammenschau mit den Ergebnissen der Fragebögen mittelfristig als bessere Therapieoption.

Der sonoSens® Monitor stellt aufgrund der mobilen Einsatzmöglichkeit ein sinnvolles Verfahren für die Analyse der Wirbelsäulenbeweglichkeit dar. Der Vorteil eines mobilen Einsatzes wird allerdings durch die damit vermehrt entstehenden Störeinflüsse nachteilig beeinflusst. Da dies der Genauigkeit der Messung zum Nachteil gereicht, sollte in zukünftigen Studien der sonoSens® Monitor mit einem bildgebenden Verfahren zum direkten Nachweis der Beweglichkeit des untersuchten Segments kombiniert werden.

## **7 Literaturverzeichnis**

Adler D., Mobile Ganganalyse zur Diagnostik von Änderungen im Bewegungsmuster der Wirbelsäule. Diplomarbeit Friedrich Schiller Universität Jena, 2005, S.17-20

Baum K., Essfeld D., Origin of back pain during bedrest: A new hypothesis. European Journal of medical research. 1999; 4: 389-393

Bellach B. M., Ellert U., Radoschewski M., Der SF-36 im Bundesgesundheitsurvey. Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz 2000; 43: 210-216

Blumenthal et al., A prospective, randomized, multicenter Food and Drug Administration Investigational Device Exemptions Study of Lumbar total disc replacement with the Charite™ Artificial disc versus lumbar fusion. Spine 2005; 30: 1565-1575

Blumenthal S., Mc Afee P.C., Guyer R.D., Hochschuler S.H., Geisler F.H., Holt R.T., Garcia R. Jr., Ragan J.J., Ohnmeiss D.D., Total Disc Replacement with the Charite Artificial Disc was as effective as lumbar interbody fusion. J. Bone Joint Surg. Am. 2006; 88:1168

Bono C.M., Garfin S.R., History and evolution of disc replacement. The Spine Journal, 2004; 4: 1-9

Bullinger M., Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität mit dem SF-36-Health Survey. Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz. 2000; 43: 190-197

Büttner-Janz K., S. Hahn, K. Schikora, H. D. Link, Grundlagen der erfolgreichen Anwendung der Link® Zwischenwirbel-Endoprothese Modell SB Charite™. Der Orthopäde, 2002; 31: 441-45

Bryant J. T., Reid J.G., Smith B.L., Stevenson J. M.: Method for Determining Vertebral Body Positions in the Sagittal Plane Using Skin Markers. Spine, 1989; 14: 258-265

Debrunner A.M., Orthopädie, orthopädische Chirurgie. Verlag Hans Huber, Bern, 2002; 4.Auflage: 775-870

Denoziere G., D.N. Ku, Biomechanical comparison between fusion of two vertebrae and implantation of an artificial intervertebral disc. Journal of Biomechanics, 2006; 39: 766-775

Errico T.J., Lumbar disc arthroplasty. Clinical orthopaedics, 2005; 435: 106-117

Errico T.J., Why a mechanical disc. The spine journal, 2004; 4:151-157

Ewerbeck V., Wentzensen A. Standardverfahren in der operativen Orthopädie und Unfallchirurgie. Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 2004; 4. Auflage: 291-295

Etebar S., D. W. Cahill, Risk factors for adjacent segment failure following lumbar fixation with rigid instrumentation for degenerative instability. Journal of Neurosurgery, 1999; 90:163-169.

Fairbank J.C.T., P.B. Pynsent, The Oswestry Disability Index. Spine, 2000; 25: 2940-2953

Friedrich M., Measuring lumbar sagittal posture in sewage workers using an ultrasonic device. Journal of Musculoskeletal research, 2002; 6:135-145

Ghiselli G.,J. C. Wang, N. N. Bhatia, W. K. Hsu, E. G . Dawson, Adjacent Segment Degeneration in the Lumbar Spine. J. Bone Joint Surg. Am. 2004; 86: 1497-1503

Glassman S., Gornet M.F., Branch C., Polly D. Jr., Pelozo J., Schwender J.D., Carreon L., MOS Short Form 36 and Oswestry Disability Index outcomes in lumbar fusion: a multicenter experience. The Spine Journal, 2006; 6: 21-36

Hildebrand J., Müller G., Pfingsten M. (Hrsg.) Lendenwirbelsäule. Urban&Fischer Verlag, München : 2005; 1. Auflage:S.68-200

Hilibrand A.S., Robbins M., Adjacent segment degeneration and adjacent segment disease. The spine Journal, 2004; 4:190-194

Huang R. C., P.Tropiano, T. Marnay,F.P. Girardi,M.R. Lim,F.P. Cammisa,Range of motion and adjacent segment degeneration after lumbar total disc replacement. The Spine Journal, 2006; 6: 242-247

Junghanns A., Friedrichs A., Seidel E.J, Untersuchungen der Wirbelsäulengeometrie während mehrstündigem Klavierspiel- ein neuer messtechnischer Ansatz, Die Wirbelsäule des Musikers, Institut für Musikpädagogik und Musiktheorie, Bad Kössen 2003

Krämer J., Kleinert H., Sengen A., Rubenthaler F., Bandscheibenprothesen: Rückblick, Augenblick, Ausblick. Zentralblatt Orthopädie 2005; 143: 281-286

Kummer B., Biomechanik. Deutscher Ärzteverlag, Köln:2005; 1.Auflage: 543-551

Kwon B., Katz J.N., Kim D.H., Jenis L.G., Lumbar fusion versus nonsurgical treatment for chronic low back pain: A multicenter randomized controlled trial from the Swedish lumbar spine study group. Spine, 2006; 31: 245-249

Lee C.K., Goel V.K., Artificial disc prosthesis: design concepts and criteria. The Spine Journal, 2004; 4: 209-218

Lee C.K., Langrana N.A., A review of spinal fusion for degenerative disc disease: need for alternative treatment approach of disc arthroplasty? The Spine Journal, 2004; 4:173-176

Link H.D., History, design and biomechanics of the Link SB Charite artificial disc. Eur. Spine J, 2002; 11: 98-S105

Link® SB Charite™ Zwischenwirbel-Endoprothese , Informationsbroschüre

Lippert H.(Hrsg) Lehrbuch der Anatomie. Urban und Schwarzenberg, München: 1996; 4.Auflage: 245- 276

Macrea I.F., Wright V., Measurement of back movement. Annals of the Rheumatic Diseases 1969; 29: 558-584

Moll K.J., Moll M. , Kurzlehrbuch Anatomie. Urban& Fischer Verlag, München. 2000; 16.Auflage: 364-368

Mayer H.M., Degenerative Erkrankungen der Lendenwirbelsäule-Bandscheibenersatz als Alternative zur Spondylodese? Der Orthopäde, 2005; 34: 1-14

Mc Afee P.C., Cunningham B., Holsapple G., Adams C., Blumenthal S., Guyer R., Dmietriev A., Maxwell J.H., Ragan J.J., Isaza J., A Prospective, Randomized, Multicenter Food and Drug Administration Investigational Device Exemption Study of Lumbar Total Disc Replacement With the Charite™ Artificial Disc versus Lumbar Fusion, Part II. Spine, 2005; 30:1576-1583

Niosi C.A., Oxland T.R., Degenerative mechanics of the lumbar spine. The Spine Journal, 2004; 4: 202-208

Niethard F.U., Pfeil J., Orthopädie. Duale Reihe, Thieme Verlag , Stuttgart. 2003; 4.Auflage: 331-332

Ooij A. van, F. C. Oner, A. J. Verbout, Complications of Artificial disc replacement. Journal of Spinal Disorders & Techniques, 2003; 16: 369-383

Park P., H. J. Garton, V. C. Gala, J. T. Hoff, J. E. Mc Gillicuddy, Adjacent Segment Disease after Lumbar or Lumbosacral fusion: Review of the Literature. Spine, 2004; 29: 1938-1944

Putzier M., J. F. Funk, S. S. Schneider, Ch. Gross, S. W. Tohtz, C. Khodadadyan-Klostermann, C. Perka, F. Kandziora, Charite total disc replacement-clinical and radiographical results after an average follow-up of 17-years. European Spine Journal, 2006;15: 183-195

Salzmann M., Experimentelle Bewegungs- und Druckanalyse an humanen Lendenwirbelsäulenpräparaten bei Implantation von Zwischenwirbelendoprothesen mit parallel prospektiv klinischer Studie. Dissertation Ludwig Maximilians Universität München, 2005

Schmidt C.O., Kohlmann T, Was wissen wir über das Symptom Rückenschmerz? Zentralblatt für Orthopädie,2005; 143: 292-298

Schulte T.L., Bullmann V., Lerner T., Halm H. F., Liljenquist, Hackenberg L., Lumbale Bandscheibenprothesen. Der Orthopäde,2005; 34: 801-813

sonoSens® Monitor Gebrauchsanweisung. Friendly Sensors AG Jena, 2005

Synthes CONTACT fusion cage. Operationstechnik Informatiosbroschüre

Throckmorton T.W., Hilibrand A.S., Menico G.A., Hodge A., Spengler D.M., The impact of adjacent level Disc degeneration on Health status Outcomes following Lumbar Fusion. Spine, 2003; 28: 2546-2550

Tortolani P.J.,B.W. Cunningham, P.C. Mc Afee, G.A. Holsapple, K.A. Adams, Prevalence of Heterotopic Ossification following total Disc Replacement. J Bone Joint Surg. Am.2007; 89: 82-88

Trouillier H., P. Kern, H.J. Refior, M. Müller-Gerbl, A prospective morphological study of facet joint integrity following intervertebral disc replacement with the Charite Artificial disc. European Spine Journal, 2006; 15: 174-182

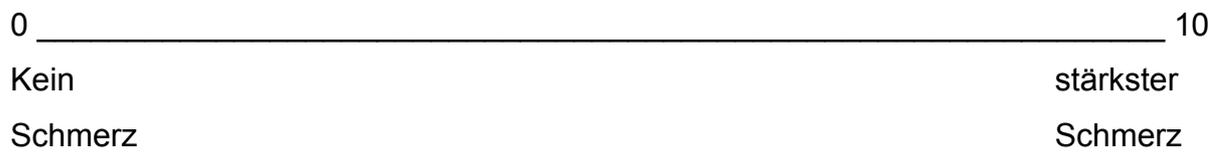
Walker M.H., Anderson D.G., Molecular basis of intervertebral disc degeneration. The Spine Journal, 2004; 4:158-166

Wendrock L., Erfassung der Körperhaltung mit einem Ultraschall-Meßsystem. Wissenschaftliche Hausarbeit zur ersten Staatsprüfung für das Lehramt am Gymnasium, Friedrich Schiller Universität Jena 1989

Zigler J., Delamarter R., Spivak J.M., Linovitz R.J., Danielson G.O., Haider T.T., Cammissa F., Zucherman J., Balderston R., Kitchel S., Foley K. Watkins R. Bradford D., Yue J., Yuan H., Herkowitz H., Geiger D., Bendo J., Peppers T., Sachs B., Girardi F., Kropf M., Goldstein J., Results of the Prospective, Randomized, Multicenter Food and Drug Administration Investigational Device Exemption Study of the ProDisc®-L Total Disc Replacement versus circumferential fusion for the Treatment of 1-Level Degenerative Disc Disease. Spine, 2007; 32: 1155-1162

## 8 Anhang

### 8.1 Visuelle Analogskala



Geben Sie bitte Ihre aktuelle Stärke der Rückenschmerzen an

## 8.2 Oswestry Low Back Pain Disability Questionnaire

In diesem Fragebogen geht es um die Beurteilung Ihrer Funktionseinschränkung im Alltag. Der Bogen ermöglicht es nachzuvollziehen, wie Sie im Alltag zurechtkommen. Bitte beantworten Sie jede Kategorie von 1 bis 10 mit jeweils nur einem Kreuz, indem sie die für Sie am besten zutreffende Textzeile auswählen.

### 1. Schmerzintensität:

- Ich halte meine Schmerzen aus, ohne Schmerzmittel einnehmen zu müssen
- Der Schmerz ist schlimm, aber ich komme ohne Schmerzmittel aus
- Schmerzmittel verschaffen mir vollkommene Linderung
- Schmerzmittel verschaffen mir leichte Linderung
- Schmerzmittel verschaffen mir nur sehr leichte Linderung
- Schmerzmittel wirken bei meinen Schmerzen nicht, daher nehme ich keine ein.

### 2. Körperpflege:

- Ich kümmere mich selbst um meine Körperpflege ohne dabei Schmerzen zu verspüren.
- Ich kümmere mich selbst um meine Körperpflege, habe dabei aber Schmerzen
- Die Körperpflege ist schmerzhaft, deswegen bin ich langsam und vorsichtig dabei
- Ich benötige etwas Hilfe, schaffe aber fast alles selbst
- Ich benötige jeden Tag Hilfe, und zwar in allen Bereichen der Körperpflege
- Ich bin bettlägerig, kann mich nicht selbstständig ankleiden und werde gewaschen

### 3. Heben von Gewichten:

- Ich kann schwere Gewichte heben ohne dabei Schmerzen zu verspüren
- Ich kann schwere Gewichte heben, habe aber dabei Schmerzen
- Wegen der Schmerzen kann ich keine schweren Gewichte vom Boden aufheben- Es sei denn, das Gewicht liegt günstig( z.B. auf einem Tisch)
- Wegen der Schmerzen kann ich überhaupt keine schweren Gewichte heben. Aber ich kann leichte bis mittelschwere Gewichte heben, wenn sie günstig liegen
- Ich kann nur sehr leichte Gewichte heben
- Ich kann überhaupt nicht heben oder tragen

### 4. Gehen:

- Ich kann ohne schmerzen weite Strecken gehen
- Schmerzen halten mich davon ab, mehr als 1,5 Km zu gehen
- Schmerzen halten mich davon ab, mehr als 800 Meter zu gehen
- Schmerzen halten mich davon ab, mehr als 400 Meter zu gehen
- Ich kann nur mit einem Stock oder mit Krücken gehen
- die meiste Zeit liege ich im Bett und kann nur mit Schwierigkeiten auf die Toilette gehen

### 5. Sitzen:

- Ich kann auf jeder Art von Stuhl solange sitzen, wie ich will
- Ich kann nur auf einem bequemen Stuhl so lange sitzen, wie ich will
- Wegen der Schmerzen kann ich nicht länger als 1 Stunde sitzen
- Wegen der Schmerzen kann ich nicht länger als 1/2 Stunde sitzen
- Wegen der Schmerzen kann ich nicht länger als 10 Minuten sitzen

- Wegen der Schmerzen kann ich überhaupt nicht sitzen

#### 6. Stehen:

- Ich kann ohne Schmerzen solange stehen wie ich will
- Ich kann solange stehen bleiben wie ich will, verspüre dabei aber Schmerzen
- Wegen der Schmerzen kann ich nicht länger als 1 Stunde stehen
- Wegen der Schmerzen kann ich nicht länger als 1/2 Stunde stehen
- Wegen der Schmerzen kann ich nicht länger als 10 Minuten stehen
- Wegen der Schmerzen kann ich überhaupt nicht stehen

#### 7. Schlafen:

- Schmerzen halten mich nicht davon ab, gut zu schlafen
- Ich kann nur gut schlafen, wenn ich Tabletten einnehme
- Auch wenn ich Tabletten einnehme, schlafe ich weniger als 6 Stunden
- Auch wenn ich Tabletten einnehme, schlafe ich weniger als 4 Stunden
- Auch wenn ich Tabletten einnehme, schlafe ich weniger als 2 Stunden
- Wegen der Schmerzen kann ich überhaupt nicht mehr schlafen

#### 8. Sexualeben:

- Mein Sexualeben verläuft normal und verursacht keinen weiteren Schmerz
- Mein Sexualeben verläuft normal, verursacht aber weiteren Schmerz
- Mein Sexualeben verläuft fast normal, ist aber mit großen Schmerzen verbunden
- Mein Sexualeben wird durch Schmerzen extrem beeinträchtigt
- Aufgrund der Schmerzen ist ein Sexualeben fast unmöglich
- Aufgrund der Schmerzen gibt es kein Sexualeben

### 9. Sozialleben:

- Mein Sozialleben gestaltet sich normal und bringt keine zusätzlichen Schmerzen mit sich
- Mein Sozialleben gestaltet sich normal, ist aber mit vermehrten Schmerzen verbunden
- Schmerzen haben keinen wesentlichen Einfluss auf mein Sozialleben, solange ich nicht an anstrengenden Aktivitäten teilnehme ( z. B. Tanzen )
- Schmerzen schränken mein Sozialleben ein und deswegen gehe ich nicht mehr so oft aus.
- Wegen der Schmerzen bleibt mein Sozialleben auf Zuhause beschränkt
- Wegen der Schmerzen hab ich überhaupt kein Sozialleben mehr

### 10. Mobilität:

- Ich kann überall hin verreisen, ohne zusätzliche Schmerzen
- Ich kann überall hin verreisen. Dies ist aber mit zusätzlichen Schmerzen verbunden
- Die Schmerzen sind schlimm, aber ich schaffe Ausflüge bis zu 2 Stunden
- Wegen der Schmerzen beschränke ich mich auf Ausflüge von weniger als 1 Stunde
- Wegen der Schmerzen beschränke ich mich auf die nötigsten Erledigungen, die nicht länger als ½ Stunde dauern
- Wegen der Schmerzen beschränke ich mich auf Arzt- und Klinikbesuche

### 8.3 Short Form 36

#### 1. Wie würden Sie Ihren Gesundheitszustand im Allgemeinen beschreiben?

Ausgezeichnet	Sehr gut	Gut	Weniger gut	Schlecht
1	2	3	4	5

#### 2. Im Vergleich zum letzten Jahr, wie würden Sie Ihren derzeitigen Gesundheitszustand beschreiben?

Derzeit viel besser schlechter	Derzeit etwas besser	Etwa wie vor einem Jahr	Derzeit etwas schlechter	Derzeit viel
1	2	3	4	5

Im Folgenden sind einige Tätigkeiten beschrieben, die Sie vielleicht an einem normalen Tag ausüben.

#### 3. Sind sie durch Ihren jetzigen Gesundheitszustand bei diesen Tätigkeiten eingeschränkt? Wenn ja, wie stark? (Bitte schreiben Sie in jede Zeile die Zahl, die für sie am besten zutrifft)

1 bedeutet: ja, stark eingeschränkt

2 bedeutet: ja, etwas eingeschränkt

3 bedeutet: nein, keine Einschränkung

**3.a) Anstrengende Tätigkeiten** z. B. schnell laufen, schwere Gegenstände heben

**3.b) Mittelschwere Tätigkeiten** z.B. einen Tisch verschieben, kegeln, golfen

**3.c)** Einkaufstasche heben oder tragen:

**3.d)** mehrere Treppenabsätze steigen:

**3.e)** einen Treppenabsatz steigen:

**3.f)** sich beugen, knien, bücken:

**3.g)** mehr als einen Kilometer zu Fuß gehen:

**3.h)** mehrere Straßenkreuzungen weit zu Fuß zu gehen:

**3.i)** eine Straßenkreuzung weit zu Fuß zu gehen:

**3 j)** sich baden oder anzuziehen:

**4. Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen aufgrund Ihrer körperlichen Gesundheit irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause?**

	ja	nein
<b>4.a)</b> Ich konnte nicht so lange wie üblich tätig sein	1	2
<b>4 b)</b> Ich habe weniger geschafft als ich wollte	1	2
<b>4.c)</b> Ich konnte nur bestimmte Dinge tun	1	2
<b>4 d)</b> Ich hatte Schwierigkeiten bei der Ausführung	1	2

**5. Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen aufgrund seelischer Probleme irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause ( z.B. weil sie sich niedergeschlagen oder ängstlich fühlten)**

	ja	nein
<b>5.a)</b> Ich konnte nicht solange wie üblich tätig sein	1	2
<b>5.b)</b> Ich habe weniger geschafft als ich wollte	1	2
<b>5.c)</b> Ich hatte Schwierigkeiten bei der Ausführung	1	2

**6. Wie sehr haben Ihre körperliche Gesundheit oder seelische Probleme in den vergangenen 4 Wochen Ihren normalen Kontakte zu Familienangehörigen, Freunden, Nachbarn oder zum Bekanntenkreis beeinträchtigt?**

Überhaupt nicht	Etwas	Mäßig	Ziemlich	Sehr
1	2	3	4	5

**7. Wie stark waren Ihre Schmerzen in den vergangenen 4 Wochen?**

Keine Schmerzen	Sehr leicht	Leicht	Mäßig	Stark	Sehr Stark
1	2	3	4	5	6

**8. Inwieweit haben die Schmerzen Sie in den vergangenen 4 Wochen bei der Ausübung Ihrer Alltagstätigkeiten zu Hause und im Beruf behindert?**

Überhaupt nicht	Ein bißchen	Mäßig	Ziemlich	Sehr
1	2	3	4	5

In diesen Fragen geht es darum, wie Sie sich fühlen und wie es Ihnen in den vergangenen 4 Wochen gegangen ist. (Bitte schreiben Sie in jede Zeile die Zahl, die am besten für Sie zutrifft)

1 = immer    2=meistens    3=ziemlich oft    4=manchmal    5=selten    6=nie

**9. Wie oft waren Sie in den vergangenen 4 Wochen.....**

**9.a)** .... voller Schwung?

**9.b)** ....sehr nervös?

**9.c)** .... so niedergeschlagen, dass Sie nichts aufheitern konnte?

**9.d)** .....ruhig und gelassen?

**9.e)**.....voller Energie?

**9.f)** .....entmutigt und traurig?

**9.g)** .....erschöpft?

**9.h)** ....glücklich ?

**9.i)** .....müde ?

**10. Wie häufig haben Ihre körperliche Gesundheit oder seelische Probleme in den vergangenen 4 Wochen Ihre Kontakte zu anderen Menschen ( Freunde, Verwandte ) beeinträchtigt?**

immer	meistens	manchmal	selten	nie
1	2	3	4	5

Inwieweit trifft jede der folgenden Aussagen auf Sie zu?

1= trifft ganz zu      2= trifft weitgehend zu      3= weiß nicht  
4= trifft weitgehend nicht zu      5=trifft überhaupt nicht zu

**11.a)** Ich scheine etwas leichter als andere krank zu werden:

**11.b)** Ich bin genauso gesund wie alle anderen, die ich kenne:

**11.c)** Ich erwarte, dass meine Gesundheit nachlässt:

**11.d)** ich erfreue mich ausgezeichneter Gesundheit:

## **8.4 Fragebogen zur Nachuntersuchung**

### **Diagnose präoperativ**

#### **Schmerzform?**

- Schmerz in der Lende lokalisiert ( LWS- Syndrom / LS )
- chronischer Kreuzschmerz ( low back pain/ LLS ) – in der Lumbosakralregion
- Hexenschuss ( Lumbago/ Akutes LS )
- Ischialgie ( Schmerzen im Bereich des N. Ischiadicus )
- Lumboischialgie ( kombinierte Kreuz- und Ischiasschmerzen )

#### **Vorerkrankungen/ Unfall / Wirbelsäulenoperation?**

#### **Stoffwechselerkrankungen( z.B. Diabetes mellitus, Osteoporose)**

#### **Störungen der Harn-/ Sexualfunktion?**

#### **Subjektive Zufriedenheit**

-Würden Sie erneut einer Spondylodese / Bandscheibenprothesenimplantation zustimmen?

Ja

Nein

-Wie sehr sind Sie mit Ihrer operativen Versorgung zufrieden?

5-4-3

2-1-0

## **Schmerzmedikation**

a) Welche Schmerzmedikamente wurden von Ihnen vor der OP eingenommen?

b) Welche Schmerzmedikamente wurden von Ihnen im letzten Monat im Zusammenhang mit Rückenschmerzen eingenommen?

**Wann konnten Sie nach der Operation wieder Ihrer normalen Tätigkeit/ Arbeit nachgehen?**

**Waren bei Ihnen weitere Behandlungen /Operationen aufgrund derselben/ wiederkehrender Schmerzen notwendig?**

## 8.5 Untersuchungsbogen

### 1. Wirbelsäulenform: Statische Wirbelsäulenparameter

a) sagittales Profil:  physiologisch     Hyperkyphose     Hyperlordose  
 hohlrund     flach

b) frontales Profil:  Beckenstand:  
 Tailliendreiecke:  
 Schulterniveau:

### 2. Funktionsprüfung:

<i>Radix</i>	<i>Aufforderung</i>	<i>re. Bein</i>	<i>li. Bein</i>
L2/S2	Kniebeuge	+/-	+/-
L4/S1	Einbeinstand	+/-	+/-
L5	Fersengang	+/-	+/-
S1	Zehengang	+/-	+

### 3. Motorik ( 1/5-5/5 )

L1-L5: Hüftflexion: rechts: links:

L4-S1: Trendelenburgzeichen  
rechts: links:

L4-S1: Großzehenheber: rechts: links:  
Fußheber: rechts: links:

L5-S2: Großzehensenker: rechts: links:  
Fußsenker: rechts: links

#### 4.Schmerzprüfung ( In Bauchlage )

Berührungs-/Klopf-/ Druckschmerz der Wirbelsäule:  ja

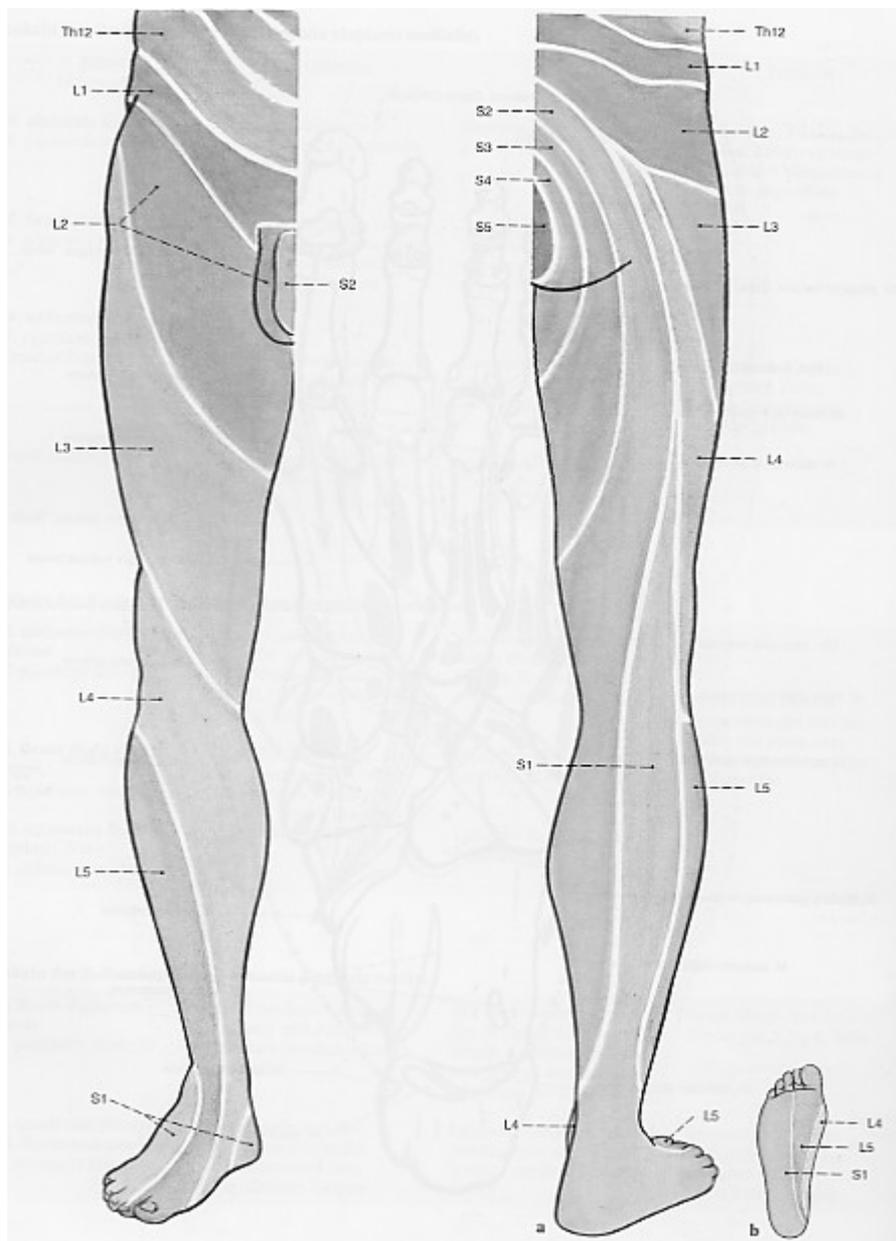
nein

Muskelhartspan paravertebral:

ja

nein

#### 5.Sensibilität (dermatombezogen)



**Abbildung 12:** Dermatomeübersicht der unteren Extremität [aus Sobotta, Atlas der Anatomie des Menschen. Urban& Fischer Verlag]

## 6. Reflexstatus( seitengleich: erloschen,abgeschwächt,normal, verstärkt)

Patellarsehnenreflex: (L4)                      rechts:                      links:

Tibialis posterior Reflex: ( L5 )            rechts:                      links:

Achillessehnenreflex: ( S1 )                rechts:                      links:

## 7. Wirbelsäulenbeweglichkeit:

a) Schober über S1:            /10/            cm                      ( Norm 15/10/8 cm)

b) Ott über C7:                /30/            cm                      (Norm 32/30/29 cm)

Fingerbodenabstand ( FBA):                cm

## 8. Bewegungsanalyse sonoSens-Monitor®:

a) Maximalbewegungen

- Flexion/ Extension
- Seitneigung links/rechts
- Rotation

b) Definierte Bewegungen:

- Flexion/ Extension                      60°/0°/20°
- Seitneigung links/rechts                30°/0°/30°
- Rotation                                      30°/0°/30°

c) Normales Gehen 5 Minuten bei einer Schrittfrequenz von 100/min

## **9 Danksagungen**

Mein vornehmlichster Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. med. Christoph von Schulze-Pellengahr für die Überlassung des Themas und die hervorragende Betreuung bei der Anfertigung der Dissertation.

Des Weiteren danke ich Herrn Christoph Schilling als Mitarbeiter der Firma Äskulap für die Unterstützung von den ersten Ideen der Studie, über die Durchführung bis zu deren Abschluss.

Dank gilt Herrn Lars Schliak als EDV-Beauftragter der Orthopädischen Klinik für die wertvollen Anregungen, die mir während der ganzen Studie oft sehr interessante Aspekte eröffnet haben.

Ich danke den Mitarbeitern der Firma Friendly Sensors in Jena, namentlich Frau Daniela Adler und Frau Simone Metzler für deren Hilfe.

Besonders danken möchte ich meinem Vater Erich Gottwald für die Unterstützung bei der Planung und Anfertigung der Gerätschaften zur Erfassung der definierten Bewegungen der Bewegungsanalyse.

Des Weiteren bedanke ich mich sehr herzlich bei meiner Freundin Sabrina Wilfling und Ihrer Mutter Gabriele Wilfling für die große Unterstützung bei computertechnischen Fragen.

Schließlich möchte ich meiner ganzen Familie für Ihre Unterstützung während der Dissertation und meines Medizinstudiums und besonders meinen Eltern für die Ermöglichung desselbigen danken.

## **10 Lebenslauf**

1981	Geboren am 19.Oktober in München
1988-1992	Besuch der Grundschule in Töging am Inn
1992-2001	Besuch des Ruperti Gymnasium Mühldorf am Inn
1999	Eintritt in den aktiven Dienst der Freiwilligen Feuerwehr Töging am Inn
2001	allgemeine Hochschulreife
2001	Rettungsdiensthelferlehrgang in Hohenfels
2001-2002	Zivildienst auf der BRK-Rettungswache Mühldorf am Inn
2002	Beginn des Studiums der Humanmedizin an der LMU München
2003-2007	Werksstudententätigkeit bei der Deutschen Apotheker- und Ärztebank
2004	Bestehen der Ärztlichen Vorprüfung
2005	Beginn der Dissertation
2007-2008	Praktisches Jahr im Klinikum Landshut in den Fächern Chirurgie und Innere Medizin ; Radiologie am Institut für diagnostische Radiologie Universität München, Campus Innenstadt
2008	Bestehen des Zweiten Abschnitts der Ärztlichen Prüfung
2009	Seit 01. Januar 2009 Assistent der Abteilung für Anästhesiologie und Intensivmedizin an der Klinik Mühldorf am Inn