

Aus der Klinik für Orthopädie der  
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Direktor: Univ.-Prof. Dr. Krauspe

**Erforschung der möglichen Vorteile der  
Hybridversorgung gegenüber der rigiden Fusion unter  
Berücksichtigung von sagittaler Balance und dem  
Ausmaß der Degeneration**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Shejda Mokhaberi

2019

Als Inauguraldissertation gedruckt mit der Genehmigung der Medizinischen  
Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.: Shejda Mokhaberi

Dekan: Prof. Dr. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Prof. Dr. med. Christoph Zilkens

Zweitgutachter: PD Dr. med. Christoph Schleich

Ich widme diese Arbeit meinen Großeltern, die mich zu dem Menschen gemacht haben, der ich heute bin.

Und meinen Eltern, die mir mehr Liebe nicht hätten schenken können.

Teile dieser Arbeit wurden veröffentlicht:

- EUROSPINE 2017, 11th - 13th October 2017, CCD – Convention Centre Dublin, Ireland
- Markus R. Konieczny, Shejda Mokhaberi, Rüdiger Krauspe, (2019), Adjacent segment degeneration and topping off. Never stop at the apex. Orthopedic Reviews, Advance Online

# Zusammenfassung

Durch die zunehmende Lebenserwartung und die stetig älter werdende Gesellschaft spielen Rückenschmerzen und deren Behandlung eine immer größere Rolle. Bei einer operativen Behandlung ist die Entstehung von Anschlusssegmentdegenerationen (*Adjacent Segment Degeneration, ASD*) eine mögliche Folgeerscheinung. Die Abgrenzung einer ASD von einer natürlichen Degeneration und die Möglichkeiten, die Wahrscheinlichkeit einer ASD zu reduzieren, sind aktuelle Forschungsthemen. Im Hinblick auf Anschlussdegenerationen ist es noch unklar, ob die Anwendung einer *Topping-Off*-Technik mittels Hybrid-Instrumentation Vorteile gegenüber der rigiden Fusion aufweist.

Ziel dieser Arbeit war es herauszufinden, ob die Rate an ASD durch den Einsatz der *Topping-Off*-Methode reduziert werden kann.

Ferner gibt es noch keine Studie, die den Zusammenhang zwischen dem am kranialsten instrumentierten Segment, dem Scheitelpunkt (Apex) der Lendenlordose und der Auftretenswahrscheinlichkeit von ASD beschreibt. Deswegen war ein weiteres Ziel dieser Studie, zu eruieren ob ein Stopp der Instrumentierung am Apex einen Einfluss auf die Entstehung von Anschlussdegenerationen hat. Über den Zusammenhang zwischen dem am kranialsten instrumentierten Segment und der Entstehung von ASD, gibt es nach unserem Kenntnisstand, noch keine Daten. Zu dem Einfluss von verschiedenen OP- und Implantattechniken auf die Entstehung von ASD gibt es zwar Daten, jedoch zeigen diese kein konsistentes Ergebnis. Einige Autoren berichten von einem protektiven Effekt der Hybrid Versorgung mit *Topping-Off*-Technik auf die Anschlusssegmente, während andere von einem *Topping-Off* abraten.

Wir untersuchten insgesamt 134 konsekutive Patienten, welche im Zeitraum zwischen November 2009 bis Februar 2013 mittels dorsaler Spondylodese versorgt wurden. Im Rahmen der Nachuntersuchungen stellten sich 35 Patienten nicht wieder vor. Von den verbliebenen 99 Patienten analysierten wir die Röntgenaufnahmen der Wirbelsäule präoperativ, 6 und 12 Wochen postoperativ, sowie 12 und 24 Monate nach der Operation. Zusätzlich wurden die Patienten bezüglich Zufriedenheit, Schmerzfreiheit und ihrer Aktivität befragt.

60 % der Studienteilnehmer, welche mit der *Topping-Off*-Methode versorgt wurden und 55 % der Patienten mit rigide versorgter Wirbelsäule entwickelten eine ASD. Dieser Unterschied war statistisch nicht signifikant. Es entwickelten 82 % der Patienten, deren kranialstes instrumentiertes Segment am Apex der Lendenlordose gelegen war, eine ASD. Dieser Unterschied war statistisch signifikant.

Schlussfolgernd gab es in unserer Studienpopulation keinen Vorteil der Hybrid-Versorgung gegenüber der rigiden Versteifung in Bezug auf die Rate an ASD. Allerdings erwies sich eine Versorgung über den Scheitelpunkt der Lendenlordose hinaus als protektiv. Unsere Daten führen zu der Empfehlung, eine dorsale Instrumentierung der Wirbelsäule nicht am Apex der Lendenlordose enden zu lassen.

## Summary

Due to the increased life expectancy and the constant aging of our society, the issue of chronic back pain and its treatment, play a tremendous role. After an operative treatment, such as instrumented fusion, the development of ASD (adjacent segment degeneration) is a possible consequence. The differentiation of an ASD from natural degeneration, as well as possibilities to reduce its development are subjects of current research. Regarding adjacent segment degenerations it is still unclear, whether the topping-off technique, using hybrid fusion, has advantages over rigid fusion techniques.

The aim of this study was to find out if the appearance of ASD can be reduced by using dynamic stabilization (topping-off by hybrid technique). Further, there is no study describing the correlation between the highest instrumented vertebrae, the apex of lumbar lordosis and the risk of developing an ASD. Hence, another aim of this study was to investigate whether stopping the instrumentation at the apex of the lordosis has an impact on the development of adjacent segment degenerations.

To the best of our knowledge, there is still no data available that investigates the impact of the relation of the highest instrumented vertebrae and ASD. There is some data on the influence of different implant techniques and surgical methods, but they do not show a consistent result. Some authors refer to the positive effects of hybrid fusion, whilst other dis advise the use of topping-off techniques.

We examined a total of 134 consecutive patients treated with dorsal spondylodesis between November 2009 and February 2013. 35 patients were lost to follow-up, as they did not attend. Out of the remaining 99 patients we analyzed the spine radiographies preoperative, 6 and 12 weeks postoperative, as well as 12 and 24 months after surgery. In addition, the patients were interrogated relating satisfaction, freedom from pain and their activity.

60 % of the study participants who were treated with the topping-off method and 55 % of the study participants treated with rigid fusion, developed an ASD. This difference was statistically non-significant. 82 % of the patients whose highest instrumented vertebrae was located at the apex of the lumbar lordosis developed an ASD. This difference showed statistical significance.

In conclusion, the use of topping-off techniques by hybrid dynamic fusion compared to rigid fusion cannot be advocated according to the existing data, referred to the rate of ASD.

Certainly, a surgical treatment beyond the apex of the lumbar lordosis proved to be protective. Our research data suggest that instrumentation of the dorsal spine should not end on the apex of lumbar lordosis.

# Abkürzungsverzeichnis

<b>ASDeg</b>	<i>Adjacent Segment Degeneration</i>	<b>PDS</b>	<i>Posterior Dynamic Stabilisation</i>
<b>ASDis</b>	<i>Adjacent Segment Disease</i>	<b>PET</b>	Polyethylenterephthalat
<b>BMI</b>	<i>Body Mass Index</i>	<b>PI</b>	<i>Pelvic Incidence</i>
<b>BV</b>	Bildverstärker	<b>PSR</b>	<i>Pedicle screw/rod-based</i>
<b>BWK</b>	Brustwirbelkörper	<b>PT</b>	<i>Pelvic Tilt</i>
<b>CT</b>	Computer Tomographie	<b>ROM</b>	<i>Range of Motion</i>
<b>HIV</b>	Humanes Immundefizienz-Virus	<b>SKS</b>	Spinalkanalstenose
<b>ISD</b>	<i>Interspinous Spacer Devices</i>	<b>SS</b>	<i>Sacral Slope</i>
<b>LAV</b>	<i>Lumbar Apical vertebra</i>	<b>StD</b>	Standardabweichung
<b>LWK</b>	Lendenwirbelkörper	<b>SWK</b>	Sakralwirbelkörper
<b>MRT</b>	Magnetresonanztomographie	<b>TENS</b>	Transkutane elektronische Nervenstimulation
<b>MW</b>	Mittelwert	<b>TLIF</b>	<i>Transforaminale Interbody Fusion</i>
<b>pAVK</b>	periphere arterielle Verschlusskrankheit	<b>UIV</b>	<i>Upper Instrumented Vertebra</i>
<b>PCU</b>	Polycarbonat-Urethan	<b>NSAR</b>	Nicht-steroidale Antirheumatika

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	I
Summary.....	II
Abkürzungsverzeichnis .....	III
1. Einleitung .....	1
1.1 Begriffserklärungen.....	2
1.1.1 Spinalkanalstenose .....	2
1.1.2 Claudicatio spinalis (intermittens) .....	2
1.1.3 Bandscheibendegeneration .....	3
1.1.4 Bandscheibenprotrusion und -prolaps.....	3
1.1.5 Spondylolisthese .....	4
1.1.6 Spondylodiszitis .....	5
1.1.7 Wirbelkörperfraktur .....	5
1.2 Anschlusssegmentdegeneration (ASD).....	6
1.3 Sagittale Balance.....	8
1.4 Therapiemöglichkeiten: konservativ vs. operativ .....	11
1.5 Ziele der Arbeit .....	14
2. Material und Methoden .....	15
2.1 Studiendesign.....	15
2.2 Patientengut .....	15
2.3 Transition – Implantatsystem (® Globus Medical) .....	16
2.4 Operationstechnik.....	18
2.5 Postoperative Patientenuntersuchungen .....	20
2.6 Klassifikationen.....	24
2.7 Statistische Auswertung .....	26
3. Ergebnisse .....	28
3.1 Deskriptive Studiendaten.....	28
3.2 Entstehung der Anschlusssegmentdegeneration (ASD).....	29
3.3 Einfluss des Apex auf ASD-Rate .....	30
3.4 Patientenzufriedenheit.....	31
3.5 Komplikationen der Studie.....	32
4. Diskussion.....	33
5. Schlussfolgerung.....	44
6. Literaturverzeichnis .....	45

# 1. Einleitung

Rückenschmerzen stellen in der heutigen Gesellschaft ein häufiges und bei der Patientenzahl wachsendes Problem dar, weshalb deren Therapie eine stetig zunehmende Bedeutung bekommt. Durch die höhere Lebenserwartung und die steigenden Ansprüche an die Aktivität auch im höheren Alter wird die Therapie zum Erhalt der schmerzfreien Aktivität immer wichtiger. Die Jahresprävalenz von Rückenschmerzen in Deutschland liegt bei 75,5 % und die Lebensprävalenz sogar bei 85,2 % [1].

Es gibt zahlreiche operative und konservative (nicht operative) Behandlungsoptionen für Wirbelsäulenerkrankungen. Je nach Ursache und Verlauf der Erkrankung wird ein entsprechendes Therapieverfahren gewählt.

In dieser Arbeit liegt der Fokus auf den operativen Therapien, speziell auf der dorsalen rigiden Fusion und der dorsalen Hybrid-Instrumentierung der Wirbelsäule mit dynamischer Instrumentation des obersten Segmentes.

Die dorsale Stabilisierung der Wirbelsäule ist ein Standardverfahren in der operativen Versorgung und findet bei verschiedenen Wirbelsäulenerkrankungen, welche im Verlauf noch erläutert werden sollen, Anwendung. Bei der Hybridfixierung als *Topping-Off* Technik wird, zusätzlich zu der dorsalen Versteifung der betroffenen Segmente, das kraniale Anschlusssegment dynamisch instrumentiert. Diese Technik sollte theoretisch die Rate von Degenerationen der an die Instrumentierung anschließenden Segmente, reduzieren. Durch die dorsale Spondylodese wird der Bewegungsumfang in den operierten Segmenten zu 100 % unterbunden, während die benachbarten Segmente nicht in Ihrer Beweglichkeit eingeschränkt werden. Die *Topping-Off* Methode soll, den Übergang von „vollkommen unbeweglich“ zu „beweglich“ abfedern, um eine abrupt gesteigerte Belastung in den Anschlusssegmenten zu verhindern. Durch die Unbeweglichkeit der Fusion, kommt es in den darüber liegenden Segmenten zu einem erhöhten Bewegungsumfang. Diese vermehrte mechanische Belastung begünstigt die Entstehung vorzeitiger Degenerationen [2, 3]. Bei 23 – 43 % der Patienten wird nach der dorsalen Stabilisierung die Entstehung einer Anschlusssegmentdegeneration (*adjacent segment*

*degeneration*, ASD) beobachtet. Bei bis zu 36 % der Patienten mit ASD muss diesbezüglich eine erneute Operation (Revision) innerhalb der ersten 10 Jahre nach der Primärversorgung durchgeführt werden [4].

## **1.1 Begriffserklärungen**

### **1.1.1 Spinalkanalstenose**

Die Inzidenz einer lumbalen Spinalkanalstenose (SKS) bei über 60-jährigen liegt bei etwa 20 % [5].

Die Definition der Spinalkanalstenose ist eine Verengung des Wirbelkanals hinsichtlich des anterior-posterioren Durchmessers auf  $< 10$  mm (im CT) [6]. Nicht jede radiologisch erkennbare Stenose des Spinalkanals führt zwangsläufig zu Beschwerden.

Die Einengung des Spinalkanals kann knöchern, diskoligamentär oder fibrinös bedingt sein [7] und führt zu einer Kompression und konsekutiven Irritation der Nervenfasern, was zum klinischen Bild der *Claudicatio spinalis* führt.

### **1.1.2 Claudicatio spinalis (intermittens)**

Durch eine Stenose des Spinalkanals kann es zum Krankheitsbild der *Claudicatio spinalis (intermittens)* kommen, welche die führende Ursache für Rücken- und/oder Beinschmerzen, Behinderung und den Verlust der Unabhängigkeit bei Patienten im Alter über 65 Jahren darstellt [8].

Klinisches Leitsymptom der *Claudicatio spinalis* ist die Kraftlosigkeit in den Beinen vor allem bei Belastung, sowie beim aufrechten Gang mit konsekutiv eingeschränkter Gehstrecke [9].

Bei der *Claudicatio intermittens* bzw. *spinalis* führt das Vornüberbeugen des Rückens zu einer zeitweiligen Schmerzlinderung. Diese kurzzeitige Verbesserung der Beschwerden durch die sogenannte Kyphosierung des Rückens, kommt durch die geringgradige Erweiterung des Spinalkanals zustande. Außerdem einer damit einhergehenden Entlastung der gereizten Nervenfasern, sowie Verminderung der intraspinalen venösen Stauung und

damit des epiduralen Drucks. Die Reklination hingegen führt oft zur Schmerzprovokation [7].

### **1.1.3 Bandscheibendegeneration**

Eine weitere Ursache für Rückenschmerzen, vornehmlich in der älteren Gesellschaft, ist die Bandscheibendegeneration [7].

In einer Studie von Elfering et al. [10] fanden diese in 41 % (17 von 41) ihrer Studienteilnehmer degenerative Bandscheibenveränderungen bei Patienten ohne Rückenbeschwerden.

Der Grad der Bandscheibendegeneration kann nach Pfirrmann [11] eingeteilt werden und berücksichtigt verschiedene Kriterien, welche im MRT beurteilt werden. Je nach Helligkeit, Homogenität und Höhe der Bandscheibe kann man bei der Pfirrmann Klassifikation zwischen Grad I, II, III, IV und V unterscheiden. Pfirrmann et al. [11] gaben an, dass von 300 untersuchten lumbalen Bandscheiben, die meisten einem Grad 2 nach der Pfirrmann Klassifikation entsprachen. Grad I hatten nur 5 % der Studienteilnehmer (14/300), Grad II 27 % (82/300), Grad III 24 % (72/300), Grad IV 23 % (68/300) und Grad V 21 % (64/300) der Betroffenen.

Faktoren welche eine Bandscheibendegeneration begünstigen sind: Mechanische Belastung, Übergewicht, genetische Faktoren, Anordnung und Qualität der Kollagenfasern im Anulus fibrosus, sowie Bewegungsmangel [7, 12].

### **1.1.4 Bandscheibenprotrusion und -prolaps**

Einen vorgewölbten Bandscheibenring bei abnehmender Zwischenwirbelhöhe, bezeichnet man als „*bulging disc*“; Hierbei kann es durch die Vorwölbung zu einer Verengung des Spinalkanals und/oder der Foramina intervertebralia kommen [7].

In der Einteilung nach Krämer [13], wird der Unterschied zwischen Bandscheibenvorwölbung und Bandscheibenvorfall definiert. Die Dislokationsgrade I und II entsprechen einer Protrusion, wobei man zwischen der Vorwölbung innerhalb des Anulus fibrosus und der Vorwölbung bis zur äußeren Anulusschicht unterscheiden kann. Hierbei weist der Anulus Fibrosus noch keine Ruptur auf. Bei einem Anulusriss kann es zu einem Bandscheibenvorfall, oder

auch Prolaps, kommen. Man unterscheidet dabei die Dislokationsgrade III, IV und V [12]. Bei Dislokationsgrad V, liegt ein sog. „freier Sequester“ vor [7].

Mögliche Konsequenzen von Bandscheibenprotrusion- und prolaps sind je nach Lokalisation, positionsabhängige Schmerzen in der Lumbalregion, Verspannungen der Rückenmuskulatur, Klopfschmerzhaftigkeit über den Proc. Spinosi (Dornfortsätzen), radikuläre oder pseudoradikuläre Schmerzen, neurologische Defizite und generelle Bewegungseinschränkungen [12].

### **1.1.5 Spondylolisthese**

Als Spondylolisthese bezeichnet man das Gleiten eines Wirbelkörpers nach ventral relativ zum darunterliegenden Wirbelkörper. Die Inzidenz beträgt ca. 2 – 4 % und entsteht durch eine Unterbrechung der Interartikularportion. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 80 % ist LWK 5 betroffen und in 15 % LWK 4 [14].

Die Klassifikation nach Meyerding [15] wird anhand von sagittalen Röntgenaufnahmen durchgeführt und ermöglicht eine Einteilung in vier Schweregrade. Zur Beurteilung teilt man die Deckplatte des Sakrums von dorsal nach ventral in vier Segmente ein und betrachtet anhand dessen, wie weit die Hinterkante des kranial gelegenen Wirbelkörpers über dem darunterliegenden nach ventral verschoben ist. Die Einteilung wird wie folgt gegliedert: Grad I: < 25 %, Grad II: 25 – 50 %, Grad III: 51 – 75 % und Grad IV: > 75 %-ige Verschiebung des Wirbelkörpers nach ventral gegenüber dem darunterliegenden Wirbel.

Differentialdiagnostisch muss die Olisthese mit Spondylolyse (Fehlende Verbindung in der Interartikularportion) von einer Pseudospondylolisthese unterschieden werden. Von der Spondylolisthese vera („echte“) können alle Altersgruppen betroffen sein. Bei der Verschiebung des Wirbelkörpers gegen den unteren bleibt der Wirbelbogen dorsal. Im Gegensatz dazu steht die degenerativ bedingte Pseudospondylolisthese, welche vornehmlich die ältere Generation betrifft und meistens einem Grad I oder II nach Meyerding entspricht. Hierbei kommt es durch degenerative Veränderungen der Bandscheibe und der Wirbelgelenke zu einer Verschiebung des Wirbelkörpers und des Wirbelbogens gemeinsam nach ventral. Symptomatisch wird der Gleitprozess in Form von bewegungsabhängigen, lokalen Schmerzen. Bei fortschreitendem Krankheitsbild

kann es zu einem der Spinalkanalstenose ähnlichen Krankheitsbild unter anderem mit radikulären Schmerzen, Taubheit und Verkürzung der Gehstrecke kommen [7].

### **1.1.6 Spondylodiszitis**

Eine Spondylodiszitis ist eine Infektion von Wirbelkörpern und dazwischenliegender Bandscheibe. Sie beginnt bei Erwachsenen meist in der Bandscheibe und greift dann im Verlauf auf die benachbarten Grund- und Deckplatten über. Die Ursache ist meistens eine bakterielle Infektion, wobei der *Staphylococcus aureus* mit einem Anteil von 30-80 % der häufigste Erreger ist. Diese Infektion kann endogen durch eine hämatogene oder lymphogene Streuung oder exogen durch äußere Verletzungen oder medizinische Maßnahmen (iatrogen z.B. durch Infiltrationen) entstehen. Das Auftreten wird durch Risikofaktoren wie Multimorbidität, Alter, Immunsuppression, Humanes Immundefizienz-Virus (HIV), Tumorleiden und Diabetes Mellitus begünstigt [7].

### **1.1.7 Wirbelkörperfraktur**

In der von uns untersuchten Patientengruppe waren alle Wirbelkörperfrakturen auf osteoporotische Veränderungen zurück zu führen und sind ohne adäquates Trauma entstanden. Diese Form der Fraktur wird als pathologische Fraktur bezeichnet [7].

Bei Verletzungen der Wirbelsäule spielt die Beurteilung der Stabilität eine wichtige Rolle, um zu entscheiden ob eine operative Versorgung erfolgen sollte. Instabile Frakturen werden eher operativ versorgt, stabile Frakturen werden eher nicht operativ behandelt [16]. Denis [7] unterscheidet zwischen drei verschiedenen Graden an Instabilität: 1. mechanische Instabilität, 2. neurologische und 3. mechanische und neurologische Instabilität. Die aktuell geläufigste Klassifikation von Wirbelkörperfrakturen ist die nach Magerl. Diese Klassifikation unterteilt die Wirbelsäule in 2 Säulen und unterscheidet zwischen Typ A, B und C Frakturen. Bei Typ A handelt es sich um eine Kompressionsverletzung, welche zumeist durch eine axiale Krafteinwirkung entstanden ist. Durch dislozierte Knochenfragmente in den Spinalkanal kann es

zu neurologischen Schäden kommen. Die Distraktionsverletzung (Typ B) betrifft beide Säulen und ist meistens hochgradig instabil. Bei der Typ C Verletzung (Rotationsverletzung) tritt eine Torsion in Kombination mit den vorher beschriebenen Mechanismen (A und B Verletzung) auf. Die C-Fraktur weist eine hochgradige Instabilität sowie eine Beteiligung aller Säulen auf. Die Typ A Verletzung kann je nach Ausmaß entweder konservativ oder operativ versorgt werden, Typ B und C bedürfen in der Regel einer operativen Behandlung [16]. Die Prognose ist im Wesentlichen abhängig von der Schwere der Fraktur und den neurologischen Ausfällen [7].

## 1.2 Anschlusssegmentdegeneration (ASD)

Als Anschlussdegeneration werden degenerative Veränderungen bezeichnet, die mit einer Inzidenz von 23 % bis 43 % [17-23] nach erfolgter Spondylodese im Segment kranial oder kaudal der fusionierten Segmente auftreten.

Man unterscheidet zwischen ASDeg und ASDis (*adjacent segment degeneration* und *adjacent segment disease*). Als ASDeg wird jede radiologisch sichtbare Progression oder Neuentstehung von Degeneration bezeichnet, welche sich nach einer Operation der Wirbelsäule in den Segmenten entwickelt, die benachbart zum operierten Abschnitt der Wirbelsäule liegen („Anschlusssegment“). Falls sich durch die ASD klinische Beschwerden entwickeln, bezeichnet man dies als ASDis (*adjacent segment disease*) [24]. Die Inzidenz der klinisch relevanten ASDis wird nach operativer Fusion von Wirbelsäulenabschnitten mit einer Rate von 9,9 % bis 30 % deutlich seltener als die ASDeg beobachtet [18, 21, 23, 25, 26]. Radiologisch erkennbare Degeneration korreliert nicht mit den Symptomen der Patienten. So können sich starke degenerative Veränderungen klinisch vollständig asymptomatisch darstellen [27]. Um eine Anschlussdegeneration radiologisch zu definieren, verwendeten wir zur Beurteilung der Anschlusssegmente die Weiner Klassifikation, welche in Material und Methoden (Kapitel 2) noch genauer erläutert wird [28].

Die spinale Fusion führt in den versteiften Segmenten zu einem kompletten Verlust der segmentalen Bewegung. Konsekutiv kommt es in den

Anschlusssegmenten zu einer veränderten Biomechanik mit einem kompensatorisch erhöhten und veränderten Bewegungsumfang. Dadurch kommt es zu einem erhöhten Stresstransfer auf die angrenzenden Bandscheiben, welcher mit möglichen degenerativen Veränderungen einhergeht [29]. Ob und in wie weit die Fusion Ursache für die ASD ist, ist bisher nicht vollständig geklärt und Gegenstand der aktuellen Forschung, da degenerative Veränderungen der Wirbelsäule Teil des Alterungsprozesses sind und somit auch physiologischer Weise im Laufe des Lebens entstehen.

Boden et al. berichten von einer 57%igen Rate an asymptomatischen degenerativen Veränderungen in einer MRT der LWS bei Menschen über 60 Jahren [5]. Somit unterliegen degenerative Veränderungen bis zu einem gewissen Grad biologischen und nicht beeinflussbaren Faktoren, wie dem Alter und genetischer Disposition [24, 30, 31]. Deswegen ist die Unterscheidung, ob die Degeneration des Anschlusssegmentes durch die Instrumentierung bedingt ist oder einen natürlichen degenerativen Prozess darstellt, nicht eindeutig möglich.

Risikofaktoren, welche in der aktuellen Literatur für eine Progredienz oder Entstehung von Degeneration in den Anschlusssegmenten mitverantwortlich gemacht werden, können im Wesentlichen in zwei Gruppen unterteilt werden: Durch den Operateur beeinflussbare (iatrogene) Faktoren und patientenabhängige Faktoren, auf die der Chirurg keinen Einfluss hat [23]. Zur ersteren zählen: Die Instrumentierung als solches, da es durch die Versteifung zu einer vermehrten Belastung auf die kranial gelegenen Nachbarsegmente kommt und die Länge der Fusion [30, 32, 33]. Patientenabhängige Faktoren, die hochwahrscheinlich mit der Entwicklung von ASDeg und ASDis im Zusammenhang stehen, sind: das Patientenalter, präoperativ bereits degenerierte Anschlusssegmente und der Body Mass Index (BMI) [17, 23, 34-37].

Bei Patienten die zum Zeitpunkt des Eingriffes älter als 50 Jahre alt sind, stellt das Alter einen nachteiligen Faktor dar, da sie ein höheres Risiko besitzen postoperativ eine klinisch relevante ASD (ASDis) zu entwickeln, als solche die jünger sind [23]. Auch Übergewicht stellt einen Risikofaktor dar und begünstigt die Entwicklung von Anschlussdegenerationen nach lumbaler Fusion. Ou et al. [36] untersuchten das *Outcome* von Patienten mit einem BMI  $\geq 25$  kg/m<sup>2</sup> und BMI

$\leq 25 \text{ kg/m}^2$  und fanden heraus, dass Fettleibigkeit einen Risikofaktor für die Entstehung von ASD darstellt. Außerdem besteht ein erhöhtes Risiko für Bandscheibendegenerationen [38] und ein schlechtes *OP-Outcome* hinsichtlich der Entwicklung von Spinalkanalstenosen und globaler Unzufriedenheit [39]. Diese Studienergebnisse verdeutlichen den klinischen Stellenwert von körperlicher Betätigung und Ernährungsberatung.

Ein weiterer einflussreicher Faktor auf die Neuentwicklung oder Progredienz der Anschlussdegeneration ist die sagittale Balance, welche in einem eigenen Kapitel erläutert wird (Kapitel 1.3).

Im Rahmen der Operation ist die Wiederherstellung des natürlichen sagittalen Wirbelsäulenprofils von großer Bedeutung, da eine unbalancierte Wirbelsäule erhebliche Auswirkungen auf das Endresultat hat [40].

Durch die Versteifung eines Wirbelsäulenabschnittes und damit einhergehender Immobilisierung der betroffenen Bewegungssegmente kommt es konsekutiv zu einer signifikant gesteigerten Druckbelastung auf die Facettengelenke innerhalb der Bandscheibenfächer kranial und kaudal der Fusion [4]. Da die noch erhaltenen Segmente und Strukturen den durch die Fusion entstandenen Funktionsverlust teilweise „kompensieren“ [41]. Diese Umstände sind mögliche Ursachen für die Entstehung einer ASD. Dabei ist die Inzidenz für ASD kranial des fusionierten Segmentes häufiger als im kaudalen Abschnitt [42, 43]. Wegen der nachgewiesenen Auswirkungen der ASDis auf die Lebensqualität und der positiven Korrelation zwischen lumbalen Fusionen und ASD Entwicklung [22, 23, 30] ist die Erforschung von Möglichkeiten die Entstehung von ASD zu begrenzen von großer Bedeutung. Neben der Wiederherstellung der sagittalen und frontalen Balance gibt es noch keine einheitlich etablierten Richtlinien wie die Inzidenz der ASD reduziert werden kann.

### **1.3 Sagittale Balance**

Die Beurteilung, Erhaltung und Wiederherstellung der sagittalen Balance ist bei Wirbelsäulen-Operationen stets zu beachten.

Die Sagittale Balance ist das Resultat aus der Interaktion der knöchernen Strukturen von Becken und Wirbelsäule zusammen mit Bandscheiben,

Ligamenten und der Muskelkraft. Sie beschreibt die Situation, in welcher eine stabile und senkrechte Körperhaltung mit minimaler Muskelkraft aufrechterhalten werden kann. Im sagittalen Gleichgewicht befindet sich der Körper idealerweise dann, wenn sich freistehend der Kopf über dem Becken und den beiden Oberschenkelköpfen befindet. Um die globale Balance radiologisch korrekt zu erfassen, fällt man das sogenannte C7-Lot. Das Lot wird vom Zentrum des HWK 7 gefällt (senkrechte Linie nach kaudal) und landet idealerweise auf der Hinterkante des Bandscheibenfaches von LWK 5/SWK 1. Der Abstand zwischen dem Lot und der Hinterkante sollte  $< 3$  cm betragen. [40, 44, 45].

Roussouly [46] definiert die sagittale Balance mit Hilfe dreier Parameter:

- 1) Die Beckenparameter mit Beckenneigung, Beckeninzenz und Sakrumneigung
- 2) Das C7 Lot und
- 3) Die Wirbelsäulenform: repräsentiert durch die lumbale Lordose

#### Parameter des Beckens:

Die Beckeninzenz („*pelvic incidence*“, PI) beschreibt die Stellung des Beckens im Verhältnis zur Wirbelsäule und stellt einen anatomisch konstanten Winkel dar und ist für jeden Menschen individuell („Fingerabdruck der Wirbelsäule“). Nach Abschluss des Längenwachstums bleibt die PI auch bei Positionswechseln stets unverändert [44]. Die *Pelvic incidence* ist der Winkel zwischen der Geraden, welche von der Mitte der S1 Deckplatte zum Zentrum der Femurköpfe gezogen wird und der Geraden die rechtwinklig durch die Mitte der S1 Deckplatte verläuft. Die Beckenneigung („*pelvic tilt*“, PT) ist ein positionsabhängiger Parameter und somit variabel und keine konstante Größe, wie die Beckeninzenz. Der PT stellt den Winkel zwischen der nach kranial verlaufenden Vertikalen von der Mitte beider Femurköpfen und der Geraden, welche durch die S1 Mitte bis zum Zentrum der Femurköpfe verläuft, dar. Berechnet man den Winkel zwischen einer horizontal gezogenen Linie und der Tangente zur S1-Deckplatte, ergibt sich die Sakrumneigung („*sacral slope*“, SS). Ebenso wie die Beckenneigung, stellt auch die Sakrumneigung einen variablen Parameter dar, welcher durch Anteversion des Beckens zu- und durch Retroversion abnimmt [40].

Abbildung 1

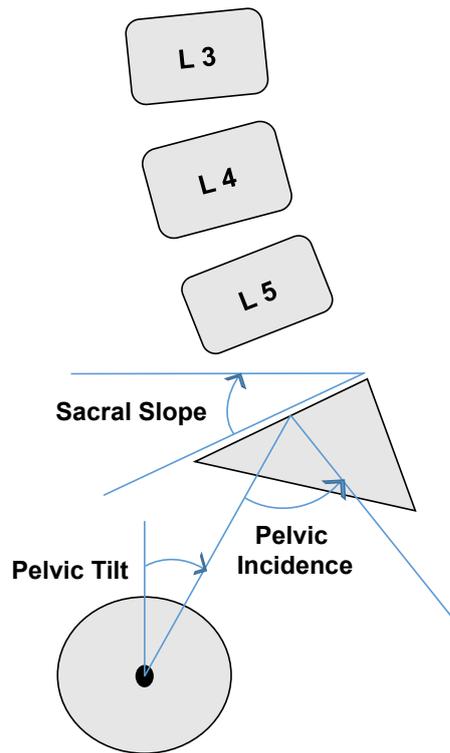


Abb. 1: Schematische Darstellung der Beckenparameter

PI, PT und SS stehen in einem mathematischen Zusammenhang zueinander. So ergibt die Summe aus PT und SS die PI [40].

$$PT + SS = PI$$

In der nachstehenden Tabelle (Tabelle 1) sind die Normwerte der Beckenparameter (Beckenneigung, Sakrumneigung und Beckeninzenz) in Grad als Mittelwerte mit jeweiliger Standardabweichung dargestellt [40]:

Tabelle 1

	Mittelwert (MW)	Standardabweichung (StD)
<i>Pelvic Tilt</i> (PT)	12°	6°
<i>Sacral Slope</i> (SS)	40°	8°
<i>Pelvic Incidence</i> (PI)	55°	11°

Tabelle 1: Referenzwerte für PT, SS und PI in Grad (MW + StD) *Dynamic instrumentation of the lumbar spine. Clinical and biomechanical analysis of success factors, Y.P. Charles et al. [40]*

## 1.4 Therapiemöglichkeiten: konservativ vs. operativ

Die Behandlung chronischer oder akuter Rückenschmerzen (*lower back pain*, LBP) lässt sich in konservative und operative Therapiemöglichkeiten einteilen.

Dringend behandlungsbedürftige Situationen, bei denen auch eine operative Versorgung erwogen werden kann, werden mit Hilfe der „*red flags*“ beschrieben. Zu den „*red flags*“ gehören die vier Säulen: Fraktur, Tumor, Infektion, Radikulopathien/Neuropathien. Notfallmäßiger Handlungsbedarf besteht außerdem bei Blasen-und/oder Mastdarmstörung. Bei starker therapieresistenter Schmerzsymptomatik trotz leitliniengerechter Behandlung, ist die Indikation für eine operative Versorgung ebenfalls in Erwägung zu ziehen [47].

Konservative Therapiemaßnahmen stellen immer den Anfang eines jeden Behandlungskonzeptes dar, wenn keine „*red flags*“ vorliegen.

Operative Behandlungen werden unter Anderem durchgeführt um je nach zugrundeliegender Ursache der Beschwerden, den verengten Spinalkanal zu erweitern, die Segmentstabilität wiederherzustellen oder additiv die Wirbelsäule mit oder ohne Instrumentation zu versteifen.

Es gibt verschiedene operative Techniken, unter Anderem [6]:

- 1) Die reine Dekompressionsoperation etwa mittels Laminektomie, Hemilaminektomie oder Foraminotomie mit Dekompression von Nervenwurzeln, Gefäßen und Dura, ohne ein Segment zu versteifen
- 2) Die Spondylodese (mono- oder multisegmental), welche durch einen Zugang von dorsal, ventral oder von dorsal und ventral durchgeführt werden kann. Die instrumentierte Versteifung der Wirbelsäulen Segmente von dorsal erfolgt etwa durch das Einbringen von Pedikelschrauben in die betroffenen Segmente, welche anschließend durch Längsstäbe miteinander verbunden werden
- 3) Der Einsatz von „*Non-Fusion*“ Techniken etwa mit Bandscheibenprothesen in Kombination mit Dekompression, ISP (*Interspinous spacer devices*), oder dynamischen Schrauben–Stab Systemen.

Im Rahmen unserer Studie untersuchten wir Spondylodesen mit rein dorsalem Zugang. Die dorsale Instrumentierung kann weiter unterteilt werden in rein rigide Instrumentierung, dynamische Instrumentierung oder Hybridinstrumentierung.

Bei der hybriden Versorgung wird ein Kombinationsverfahren aus rigide und dynamisch angewandt. Bei der Hybridversorgung mit *Topping-Off* Methode werden die von der Erkrankung betroffenen Segmente rigide versteift und zusätzlich wird ein Segment über dem ursprünglich betroffenen Segment dynamisch mitversorgt. Diese Technik wird im Kapitel 2.3 genauer erläutert. Eine Dekompression in Kombination mit dorsaler Instrumentierung ist ein häufiges OP Verfahren. Kommt es zu einer Verengung des Spinalkanals an unterschiedlichen Wirbelsäulenabschnitten so kann der verengte Abschnitt mittels Laminektomie knöchern dekomprimiert, Verwachsungen und vernarbte Strukturen gelöst und eingeeengte Wurzeln somit entlastet werden, sowie der dekomprimierte Bereich mittels dorsaler Spondylodese instrumentiert werden.

In unserer Patientengruppe wurde die Stabilisierung durch ein Pedikelschrauben-Stab-System durchgeführt. Ein optionales zusätzliches Verfahren bei Spondylodesen ist das Einbringen eines intervertebralen *Cages*. Dabei kann der *Cage* unter anderem von dorsal (PLIF, *posterior lumbar interbody fusion*), von ventral (ALIF, *anterior lumbar interbody fusion*) oder transforaminal von dorsolateral (TLIF, *transforaminale lumbar interbody fusion*) eingebracht werden. Wir verwendeten, bei den in dieser Arbeit analysierten Patienten, ausschließlich die TLIF-Technik. [9].

Mögliche Risiken oder Folgen einer Spondylodese sind unter anderem eine Metalllockerung, Infektionen, Schraubenfehlage (bei Verwendung eines Pedikelschrauben gestützten Systems) oder eine Anschlussdegeneration. In dieser Arbeit wird vor allem die Anschlussdegeneration (ASD) als Folge von Fusionsoperationen der Wirbelsäule untersucht.

Das Auftreten einer ASD ist möglicherweise Folge der Immobilisierung der fusionierten Bewegungssegmente bei einer rigiden Instrumentierung, mit konsekutiv gesteigerter Druckbelastung innerhalb des Bandscheibenfaches kranial des fusionierten Wirbelsäulenabschnittes [48]. Die Entstehung der ASD ist zwar multifaktoriell bedingt und möglicherweise ein natürlicher degenerativer Prozess, der auch ohne die Fusionsoperation entsteht, jedoch tritt sie häufig nach Fusionsoperationen auf [23, 30].

Die verbliebenen, nicht instrumentierten Segmente bewegen sich mehr als normal und degenerieren somit theoretisch belastungsbedingt schneller. Um diesem neu entstandenem Problem entgegenzuwirken wurden eine Vielzahl

verschiedener Techniken entwickelt, darunter auch die dynamische Stabilisierung, welche versucht die physiologische Wirbelsäulenbewegung weitestgehend beizubehalten [49]. Außerdem sollen semirigide Implantate die Beweglichkeit in den operierten Segmenten zumindest teilweise erhalten. Bei der *Topping-Off* Methode mit Hybridfusion sollen sie dabei helfen, den Übergang vom rigide fusionierten Bereich zum flexiblen, nicht-operierten Bereich der Wirbelsäule abzufedern und dadurch die Häufigkeit von ASD zu reduzieren [50]. Bei der *Topping-Off* Technik wird das rigide versorgte Segment kranial durch eine dynamische Stabilisierung ergänzt, um das Anschlusssegment vor Degenerationen zu schützen [51]. Biomechanische Studien konnten eine positive Wirksamkeit der *Topping-Off* Methode mit pedicle screw/rod-based devices (PSR) belegen, indem nachgewiesen wurde, dass diese den intradiskalen Druck und die Beweglichkeit des Anschlusssegmentes reduzieren können. Andere Studien wiederum berichten, dass es durch die dynamische Mitversorgung nur zu einem Stresstransfer auf das nächst höher gelegene Segment kommt. Somit wird das Problem der erhöhten Mobilität im Anschlusssegment nicht behoben, sondern nur nach kranial verschoben (new adjacent level) [50, 52].

Dementsprechend können einige Autoren [25, 26, 37, 50] keine klare Empfehlung für die Verwendung von *Topping-Off* aussprechen, da die Wirksamkeit bisher nicht sicher belegt werden konnte. Andere Autoren [52-55] hingegen sprechen von einer gewinnbringenden Möglichkeit den Bewegungsumfang in den Anschlusssegmenten zu reduzieren.

Durch die Verringerung des Bewegungsumfanges im Anschlusssegment könnte das Risiko für radiologisch bedeutsame Instabilitäten und degenerative Veränderungen, wie Spinalkanalstenosen und Bandscheibenveränderungen reduziert werden [52].

Aktuell gibt es noch keinen Konsens darüber ob die *Topping-Off* Methode klinische Vorteile bringt oder nicht.

Laut Literatur entstehen degenerative Veränderungen im Sinne einer ASD im postoperativen Verlauf, mit einer Wahrscheinlichkeit von 30 % bis 60 % und die Rate an Reinterventionen liegt bei ca. 36 % innerhalb von 10 Jahren [3, 22, 56]. Diese Zahlen erklären warum aktuell intensiv an Möglichkeiten geforscht wird, um die Rate an ASD zu verringern [57, 58].

Hierbei könnte die Hybridversorgung eine vielversprechende Alternative in der Wirbelsäulenchirurgie darstellen und einen gewinnbringenden Vorteil einbringen [51, 59]. Bei Patienten mit bereits vordegenerierten Anschlusssegmenten und anderen degenerativen Erkrankungen, wie SKS und Bandscheibendegeneration, könnte die dynamische Mitversorgung das *Outcome* positiv beeinflussen [53, 60]. Da die Lebensqualität signifikant durch die Entstehung von ASD verschlechtert wird, ist die weitere Erforschung von Techniken zur Vorbeugung von Anschlussdegenerationen von enormer Bedeutung [61].

## 1.5 Ziele der Arbeit

Ziel dieser Arbeit soll es sein, die Frage zu beantworten ob das *Topping-Off* als Hybridfixierung in Bezug auf die Entwicklung einer ASD Vorteile gegenüber der rigiden Fusion aufweist.

Des Weiteren werden Subgruppenanalysen durchgeführt, um zu prüfen ob das *Topping-Off* als Hybridfixierung grundsätzlich oder nur bei bestimmten Patientengruppen sinnvoll ist. Außerdem untersuchen wir den Einfluss des Abstandes des am kranialsten instrumentierten Segmentes zum Apex der lumbalen Lordose. Da eine vermehrte Beweglichkeit der Segmente am Scheitelpunkt der Lendenlordose bekannt ist, ist die Rate an ASD möglicherweise erhöht, wenn die Instrumentierung am Apex stoppt [62]. In Kombination mit der vermehrten Belastung des Anschlusssegmentes durch die darunterliegende Instrumentierung, könnte es zu einer erhöhten Rate an ASD am Scheitelpunkt der Lordose kommen.

Patienten, die in diese Studie eingeschlossen wurden, litten unter den weiter oben erläuterten Hauptdiagnosen: Spinalkanalstenose (SKS), Bandscheibenvorfall oder Bandscheibendegeneration, Spondylolisthese, Spondylodiszitis und Wirbelkörperfraktur, sowie Kombinationen der genannten Erkrankungen.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Studiendesign

Bei dieser Dissertation handelt es sich um eine retrospektive klinische Studie. Ein Ethikvotum wurde eingeholt (Studennummer: 4562). Diese Studie wurde gemäß der revidierten Deklaration von Helsinki durchgeführt. Es erfolgte eine Genehmigung durch die Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf.

### 2.2 Patientengut

Im Rahmen unserer Studie schlossen wir, nach Anwendung der Ein- und Ausschlusskriterien, 134 konsekutive Patienten ein, die im Zeitraum zwischen November 2009 bis Februar 2013 in unserem Institut, der Orthopädischen Klinik der Universitätsklinik Düsseldorf, mittels dorsaler Spondylodese operativ behandelt wurden.

Anhand des Therapieschlüssels (OPS – Code) wurden die Patienten selektiert, welche eine dorsale Fusion der lumbalen Wirbelsäule erhalten haben und anschließend deren Patientenakten aus dem Archiv angefordert.

Die Datensammlung wurde ausschließlich in pseudonymisierter Form durchgeführt, sodass eine Zuordnung der Daten zu den jeweiligen Patienten aus dem Datensatz nicht mehr möglich ist.

Die Einschlusskriterien für die Studie waren Patienten mit Spinalkanalstenose, Bandscheibendegeneration und Spondylolisthese die wegen der o.g. Diagnosen mittels dorsaler Spondylodese operativ behandelt wurden und bei denen für mindestens 6 Monate eine konservative Therapie erfolglos durchgeführt wurde. Ausschlusskriterien für die Studienteilnahme waren Patienten mit: malignen Erkrankungen, Skoliose mit einem Cobb-Winkel  $>20^\circ$ , Epilepsie, Morbus Parkinson, Immunsuppression und solche die eine Langzeittherapie mit Cortison, während der Behandlung oder im Jahr vor der Behandlung durchgeführt haben. 35 der 134 Patienten schieden im Rahmen der Nachuntersuchungen aus, da sie nicht am *Follow-Up* teilnahmen. 12 dieser 35 Patienten verstarben vor regulärer

Beendigung des *Follow-Ups*, aus nicht mit der Operation in Zusammenhang stehenden Gründen.

Weitere Faktoren welche prä- und perioperativ in die Analyse miteingeschlossen wurden waren: Nebendiagnosen und die Frage nach Vor-OPs an der Wirbelsäule, Vorliegen eines Wirbelkörpergleitens und Schweregrad der Spondylolisthese nach Meyerding Graden [15], Blutverlust während des Eingriffes (in ml), Bedarf und Anzahl der Erythrozytenkonzentrate, Operationszeit (in min), Einsatz von TLIF (*Transforaminal Lumbar Interbody Fusion*), Dauer des Klinikaufenthaltes (in Tagen), Komplikationsrate sowohl perioperativ als auch im Verlauf (Implantatversagen, Infektion, Lockerung, Revisions-OP) und Multimorbidität. Multimorbidität beschreibt das Vorhandensein mehrerer chronischer Erkrankungen gleichzeitig. Die am häufigsten vorkommenden Erkrankungen waren unter anderem: arterielle Hypertension, chronische Rückenschmerzen (*lower back pain*, LBP), Diabetes mellitus, Schilddrüsenerkrankung, Übergewicht, Herzinsuffizienz, chronisch ischämische Herzerkrankung, Asthma/COPD, Fettstoffwechselstörung und Gelenksarthrose. Das simultane Vorhandensein von mindestens drei chronischen Erkrankungen aus einer Liste mit 46 Krankheiten wird laut Definition als Multimorbidität bezeichnet [63, 64].

Die 99 operativ versorgten Patienten wurden in zwei Hauptgruppen unterteilt:

1. Hybrid Versorgung mittels *Topping-Off* (Transition) und
2. Rigide Standard Methode, ohne *Topping-Off*

Zur 1. Gruppe zählen 30 Patienten und zur 2. Gruppe die restlichen 69. Von allen durchgeführten dorsalen Spondylodesen wurden 21 monosegmental versorgt, alle anderen Instrumentierungen umfassten mehrere Segmente.

### **2.3 Transition – Implantatsystem (® Globus Medical)**

TRANSITION™ der Firma ®Globus Medical ist ein semirigides Stabilisierungsimplantat, welches die Vorteile der rigiden- mit denen der dynamischen Fusion vereinen soll.

Es wurde entwickelt, um durch eine reduzierte Steifigkeit einen sanfteren Bewegungsübergang und eine günstigere Kraftverteilung auf die anschließenden Segmente auszuüben. Es besteht aus Titan, Polycarbonat-Urethan (PCU) und Polyethylenterephthalat (PET). Im Gegensatz zu rigiden Instrumenten, verbindet nicht ein fester Stab, sondern ein PCU-*Spacer* die Pedikelschrauben miteinander. Durch diesen verläuft eine reißfeste PET Schnur hindurch. Die bewegliche *Spacer*-Schnur-Kombination sorgt zwischen den Pedikelschrauben für Flexibilität und Stabilität gleichzeitig. Das obere Ende einer jeden Pedikelschraube ist mit einem *Bumper* versorgt, welcher Kompressionen abfedert (siehe Abbildung 2) [65].

**Abbildung 2**



Abb. 2: *Spacer*-Schnur-Kombination (© Globus Transition)

Durch die Verwendung von Transition soll die Beweglichkeit im Anschlusssegment und der intradiskale Druck in den kranial gelegenen Bandscheibenfächern reduziert werden. Dies soll eine biomechanisch günstigere Situation herstellen. In den Abbildungen 3 und 4 ist dies schematisch dargestellt.

**Abbildung 3**



Abb. 3: Schematische Darstellung des Transition Systems (© Globus Transition)

**Abbildung 4**

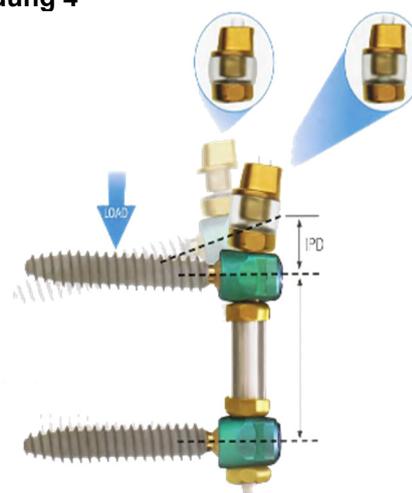


Abb. 4: Darstellung des Kraftvektors auf das Transition System (© Globus Transition)

## 2.4 Operationstechnik

Die dorsalen Spondylodesen werden nach gründlicher Desinfektion in Bauchlagerung durchgeführt. Der Zugang erfolgte bei unseren Patienten offen von dorsal mit schonender Präparation der autochthonen Rückenmuskulatur nach lateral. Nach sorgfältiger Präparation folgte die Darstellung der Pedikeleintrittspunkte in dem zu operierenden Areal. Die Abbildung 5 zeigt beispielhaft die Pedikeleintrittspunkte an den Wirbelkörpern L5-L3.

**Abbildung 5**



Abb. 5: Pedikeleintrittspunkte (© Globus Transition)

Anschließend folgt nach Teilresektion der Facettengelenke, die Eröffnung der Pedikeleintrittspunkte mit Hilfe eines Pfriems. Dann wird mit einer Ahle (3,5 mm), unter Röntgenkontrolle in zwei Ebenen (posterior-anterior und seitlich) der Pedikelkanal eröffnet. Es folgt die Entfernung der Ahle und das Austasten des Pedikelkanals mittels Pedikeltaster, um einen rein intraossären Verlauf zu verifizieren. Unter erneuter Röntgenkontrolle wird mit einer größeren Ahle (4,5 mm) derselbe Kanal mit Hilfe eines Pedikeltasters wiederholt ausgetastet. Durch die präoperative Planung und der intraoperativen Vergewisserung anhand von Bildgebung wird die ideale Schraubengröße eruiert, welche exakt für das Einbringen in diesen Pedikel und Wirbelkörper dimensioniert ist. Nachdem die Pedikelschrauben unter BV-Kontrolle auf beiden Seiten, in den bereiteten Kanal eingebracht werden, werden sie mit im idealen sagittalen Profil vorgebogenen Längsstäbe miteinander verbunden und verblockt. Im Falle einer Hybrid-Versorgung mittels *Topping-Off* wird das kranialste Segment nicht von dem

rigiden Stab mitgefasst, sondern das zuvor beschriebene Transition System wird zwischen den beiden kranialsten Schrauben eingesetzt. Nach dorsolateraler Dekortikation der Processi Transversi folgt die Anlagerung von intraoperativ gewonnenen und aufgearbeitetem Knochentransplantat auf die dekortizierten Areale. Schematisch ist dies in den Abbildungen 6 und 7 dargestellt:

**Abbildung 6**

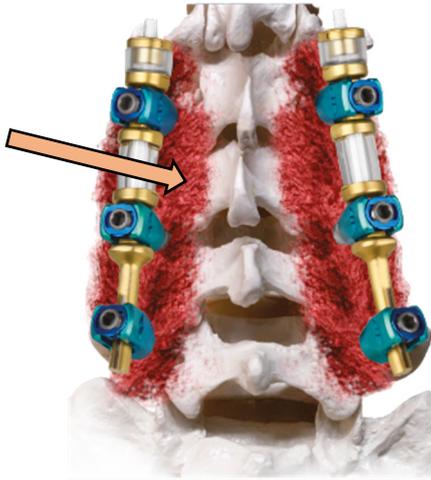


Abb. 6: Frontalansicht auf die Spongiosaanlage auf dekortizierte Areale (© Globus Transition)

**Abbildung 7**



Abb. 7: Sagittalansicht auf die Spongiosaanlage auf dekortizierte Areale (© Globus Transition)

Wenn ein TLIF eingesetzt wird, wird das Bandscheibenfach dargestellt, Dura und Nervenwurzeln werden mittels Love-Haken schonend beiseite gehalten und Blutungen werden subtil gestillt. Nach Resektion des Facettengelenkes folgt die Eröffnung des Bandscheibenfaches mittels Inzision und die Ausräumung des Faches unter Schonung der neuralen Strukturen. Anschließend wird dann der TLIF-*Spacer* (SIGNATURE ®Globus Medical) in der idealen Größe unter BV-Kontrolle in den Zwischenwirbelraum platziert. Zuvor wird aufgearbeitetes Knochenmaterial, welches bei der Operation gewonnen wurde in das Bandscheibenfach und in den *Cage* eingebracht. Um einen Abfluss von postoperativ noch entstehender Wundflüssigkeit zu gewährleisten, werden zwei tiefe Redon-Drainagen mit Ausleitung nach kaudolateral eingelegt. Es folgt ein schrittweiser Wundverschluss. Das postoperative Prozedere beinhaltet die röntgenologische Kontrolle unmittelbar nach Mobilisierung. Die Fäden wurden bei reizlosen Wundverhältnissen 21 Tage postoperativ entfernt. Für insgesamt 12 Wochen werden die Patienten mit einer T-Flex-Orthese versorgt und mit Hilfe

von Krankengymnastik, mit schrittweiser langsamer Belastungssteigerung, mobilisiert.

## 2.5 Postoperative Patientenuntersuchungen

Die routinemäßigen Nachuntersuchungen fanden im postoperativen Verlauf 6 Wochen, 12 Wochen, 12 Monate und 24 Monate nach der Operation statt und beinhalteten sowohl klinische Untersuchungen als auch radiologische Kontrollen mittels Röntgenaufnahmen von anterior-posterior sowie lateral. Das *Follow-Up* betrug im Mittel (MW) 20 Monate (StD 1,1 Monate) postoperativ. Um eine objektive Einschätzung des Therapieerfolges zu bekommen, wurden die Röntgenbilder unter Verwendung des Weiner *Gratings* [28] in Hinblick auf neu entstandene oder progrediente degenerative Veränderungen untersucht. Kam es zu einer Zunahme des Weiner *Scores* im Anschlusssegment um einen Grad oder mehr, wurde die Diagnose ASD gestellt. Wir verwendeten die Weiner Klassifikation, da bei postoperativen MRT Bildern die Pfirrmann Klassifikation durch Metallartefakte nicht adäquat zu erheben ist.

Klinisch galt es, im Rahmen der Nachuntersuchungen bei den einzelnen Vorstellungen die Zufriedenheit, den Schmerzzustand und die beschwerdefreie Gehstrecke zu erfassen.

Im Rahmen des *Follow-Ups* wurden die Patienten zu folgenden Fragen befragt:

- 1) Wie viele Wochen hat es gedauert bis Ihre Aktivität wieder das präoperative Niveau erreicht hat?
- 2) Nach welcher Zeit waren Sie wieder arbeitsfähig?
- 3) Ist Ihre Aktivität auf dem präoperativen Vorniveau, darunter oder darüber?
- 4) Wie würden Sie Ihren aktuellen Schmerzzustand beurteilen? Besser, schlechter oder gleich?
- 5) Sind sie zufrieden mit der Operation?

Die letzte Frage konnte mit Noten von 1-6 bewertet werden. Dabei waren die Noten 1 und 2 gleichzusetzen mit „sehr zufrieden“, Noten 3 und 4 mit „mittelmäßig zufrieden“ und die Noten 5 und 6 gleichbedeutend mit „unzufrieden“.

Auch die Eruiierung der Gehstrecke, welche beschwerdefrei zurückzulegen ist, war von großer Bedeutung, um den Therapieerfolg beurteilen zu können.

Um die Befunde radiologisch miteinander vergleichen zu können, galt ein großer Teil der Datenerhebung der Analyse von prä- und postoperativen Röntgenbildern. Folgende radiologische Parameter wurden erhoben: Beckenneigung (*pelvic tilt*), Sakrumneigung (*sacral slope*), Beckeninzidenz (*pelvic incidence*) und Lumbale Lordose (*lumbar lordosis*).

Die Gesamtheit dieser Werte wurde sowohl auf den seitlichen Röntgenbildern der präoperativen Untersuchungen erhoben, als auch auf denen, die im Rahmen der *Follow-Up*-Untersuchungen entstanden sind.

Des Weiteren beurteilten wir die individuelle Lage des Apex (Scheitelpunkt der Lordose der lumbalen Wirbelsäule) und eruierten, ob die Instrumentierung über diesen Punkt hinausging oder nicht und wenn ja, wie viele Segmente darüber.

Nachfolgend die postoperativen Röntgenaufnahmen (Abbildungen 8 und 9) einer 37-jährigen Patientin im lateralen und anterior-posterioren (a.p.) Strahlengang. Die Patientin stellte sich mit der Diagnose Bandscheibendegeneration vor und wurde mit Hilfe der *Topping-Off*-Methode versorgt. Die Segmente L3 bis S1 wurden rigide instrumentiert und das kraniale Anschlusssegment L2-L3 dynamisch versorgt. Außerdem wurden in die Segmente L5/S1 und L4/L5 jeweils ein intervertebraler *Cage* (TLIF) eingebracht.

Die Abbildungen 10 und 11 zeigen selbige Patientin im Rahmen der Nachuntersuchungen, 2 Jahre postoperativ.

**Abbildung 8**



Abb. 8: Sagittalan­ sichtsicht der hybriden Versorgung der LWS von dorsal

**Abbildung 9**



Abb. 9: Frontalan­ sichtsicht der hybriden Versorgung der LWS von dorsal

**Abbildung 10**

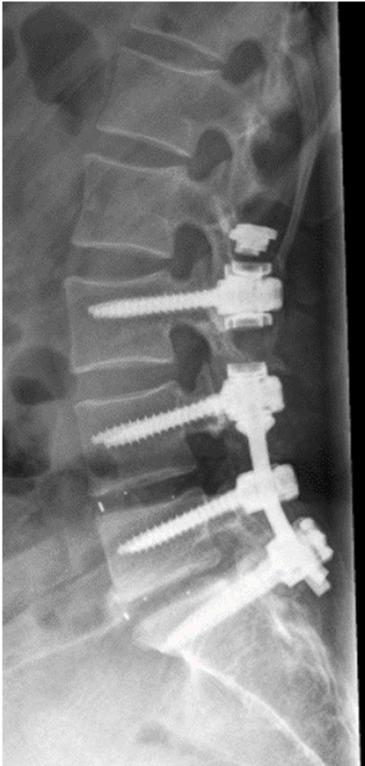


Abb. 10: Sagittale Röntgenaufnahme  
2 Jahre postoperativ

**Abbildung 11**



Abb. 11: Frontale Röntgenaufnahme  
2 Jahre postoperativ

**Abbildung 12**



Abb. 12: Rigide Versorgung der LWS  
(sagittal)

**Abbildung 13**



Abb. 13: Rigide Versorgung der LWS  
(frontal)

Die Abbildungen 12 und 13 zeigen die dorsale Lendenwirbelsäule eines anderen Patienten. Dieser wurde bei klinisch symptomatischer Spinalkanalstenose, mittels rigider Fusion der Segmente S1 bis L1, ohne Verwendung eines TLIF in unserem Hause versorgt.

## 2.6 Klassifikationen

Zur präoperativen Beurteilung der Bandscheiben verwendeten wir die Pfirrmann Klassifikation. Um den Bandscheibenzustand präzise beurteilen zu können, bedarf es einer zuverlässigen und allgemeingültigen Systematik.

Magnetresonanztomografische (MRT) Bilder stellen den Goldstandard zur Beurteilung der Bandscheibe dar. Die in der Pfirrmann-Klassifikation verwendeten Kriterien der Bandscheibendegeneration sind im Folgenden aufgelistet: Höhe des Bandscheibenfaches normal, verringert oder kollabiert, Struktur weiß und homogen oder grau bis schwarz und inhomogen, Unterschied zwischen Nucleus Pulposus und Anulus Fibrosus, ob diese scharf sind, unscharf oder gar nicht voneinander abgrenzbar sind und zuletzt die Signalintensität von hyper- bis hypointens. Die nachstehende Tabelle (Tabelle 2) zeigt die Pfirrmann Klassifikation [11].

**Tabelle 2**

<b>Grade</b>	<b>Structure</b>	<b>Distinction of Nucleus and Anulus</b>	<b>Signal Intensity</b>	<b>Height of Intervertebral Disc</b>
<i>I</i>	<i>Homogenous, bright white</i>	<i>Clear</i>	<i>Hyperintense, isointense to cerebrospinal fluid</i>	<i>Normal</i>
<i>II</i>	<i>Inhomogenous with or without horizontal bands</i>	<i>Clear</i>	<i>Hyperintense, isointense to cerebrospinal fluid</i>	<i>Normal</i>
<i>III</i>	<i>Inhomogenous, gray</i>	<i>Unclear</i>	<i>Intermediate</i>	<i>Normal to slightly decreased</i>
<i>IV</i>	<i>Inhomogenous, gray to black</i>	<i>Lost</i>	<i>Intermediate to hypointense</i>	<i>Normal to moderately decreased</i>
<i>V</i>	<i>Inhomogenous, black</i>	<i>Lost</i>	<i>Hypointense</i>	<i>Collapsed disc space</i>

Tabelle 2: Pfirrmann-Klassifikation [11] zur Beurteilung der Bandscheibenzustandes

Da die Anschlusssegmente vor allem bei Verwendung der *Topping-Off* Methode, aber auch bei der rein rigiden Fusion, wegen Artefakten durch das implantierte Material im MRT nicht adäquat zu beurteilen sind, verwendeten wir zur Verlaufsbeurteilung die Weiner Klassifikation.

Diese berücksichtigt die Entwicklung von Osteophyten, die Höhe des Bandscheibenfaches, das Vorhandensein von Luft einschlüssen in der radiologischen Bildgebung („Vakuumphänomen“), mögliche degenerative Veränderungen der Wirbelkörper und das Bestehen subchondraler Sklerosierung. So ist eine Grad 1 Veränderung nach Weiner definiert als: leichte degenerative Veränderungen mit <25%iger Verringerung der Bandscheibenhöhe, keinem Vakuumphänomen, kleine Osteophyten und minimaler Sklerosierungen subchondral. Mit voranschreitender Degeneration nimmt die Höhe des Bandscheibenfaches weiter ab (25–75% Verringerung Grad 2 und >75% Grad 3) und die subchondralen Sklerosierungen sowie die Osteophytengröße weiter zu. Wir beurteilten den Weiner Grad [28] des Anschlusssegmentes und bei dynamisch fixierten Anschlusssegmenten sowohl das dynamisch fixierte, als auch das darüber liegende „zweite Anschlusssegment“ prä- und postoperativ, im Rahmen aller *Follow-Up*-Untersuchungen, um herauszufinden, ob in den Segmenten kranial der Instrumentierung eine ASD auftrat.

Die nachstehende Tabelle 3 zeigt die Beurteilung der Facettengelenke mittels Weiner Klassifikation [28].

**Tabelle 3**

**Weiner Classification: Scale Description**

***Facet joints:***

*Grade 0: Normal facet joints*

*Grade 1: Narrowing of joint and/or mild eburnation*

*Grade 2: Moderate narrowing and moderate eburnation and osteophytes*

*Grade 3: Severe osteoarthritis with narrowing, eburnation and osteophytes*

Tabelle 3: Weiner Klassifikation [28] zur Beurteilung der Facettengelenke

## 2.7 Statistische Auswertung

Zur Beantwortung unserer Fragestellung stellten wir die Nullhypothese, dass es keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der ASD Rate bei Patienten mit rigide versorgter Wirbelsäule gegenüber den Patienten mit Hybrid-Versorgung gibt. Dementsprechend lautet die Alternativhypothese, dass es einen signifikanten Zusammenhang zwischen den beiden OP-Methoden und der ASD Rate gibt.

Zur Auswertung unserer Daten verwendeten wir das Statistikprogramm SPSS 23 (©IBM). Die deskriptiven Daten werden als Mittelwert (MW) und Standardabweichung (StD) dargestellt. Um den Einfluss auf die ASD Rate in der Hybridversorgung, der Höhe des obersten instrumentierten Segmentes in Relation zum Apex der Lendenlordose und dem präoperativen Grad an degenerativer Veränderung des Anschlusssegmentes zu prüfen, führten wir einen einseitigen Chi-Quadrat-Test durch.

Dies ist ein Hypothesentest, welcher die Beziehung zwischen verschiedenen Variablen ermittelt und Häufigkeitsverteilungen überprüft. Beim Chi-Quadrat-Test stehen sich kategorische Variablen gegenüber, deren statistischer Zusammenhang untersucht wird. Dies dient dazu, die Beziehung zwischen Parametern zu ermitteln, um herauszufinden ob die Merkmale voneinander abhängig sind oder nicht. Das Signifikanzlevel wurde auf  $p < 0,05$  festgelegt. Dies bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit für den Alphafehler, also die Wahrscheinlichkeit die Nullhypothese abzulehnen, obwohl sie in Wirklichkeit zutrifft, unter 5 % liegt. Wenn also in unserer Analyse die Wahrscheinlichkeit für einen Alphafehler mit  $p < 0,05$  angegeben wird, sehen wir das Ergebnis als statistisch signifikant an.

Überprüft man, wie in der vorliegenden Arbeit, mehrere Hypothesen an einem Datensatz, so kumulieren die Alphafehler. Das kumulierte Risiko bezeichnet hierbei die Wahrscheinlichkeit, dass mindestens eine der überprüften Nullhypothesen abgelehnt wird, obwohl sie in Wahrheit zutrifft. Bei vier unabhängigen Tests mit dem Signifikanzniveau 5 % beträgt das kumulierte Risiko bereits etwa 18 %. Wir verwendeten die Bonferroni-Adjustierung, um die

Alphafehler, beim Vergleich der verschiedenen Variablen miteinander, zu minimieren. Hierfür dividierten wir das Alpha-Niveau durch die Anzahl der durchgeführten Tests, sodass das kumulierte Risiko nicht höher als 5 % ist.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Deskriptive Studiendaten

Peri- und postoperativ erhoben wir die Daten über den intraoperativen Blutverlust (in ml), die OP-Dauer (in min) die Anzahl der im Krankenhaus verbrachten Tage sowie die durchschnittliche Nachuntersuchungszeit (*Follow-Up* in Monaten, FU) und das Durchschnittsalter (in Jahren). Tabelle 4 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen dieser Daten.

Tabelle 4

	Alter (Jahre)	Intraoperativer Blutverlust (ml)	OP- Dauer (min)	Krankenhaus- aufenthalt (Tage)	Follow- Up (Monate)
Anzahl (n)	99	37	93	96	99
Mittelwert (MW)	62,7	1432,4	196	19	20
Standardabw. (StD)	1,3	164,2	5,9	1,2	1,1

Tabelle 4: Alter, Blutverlust, OP-Dauer, Krankenhausaufenthalt, FU-Zeit

16 der 99 Patienten (16 %) hatten vor dem Indexeingriff schon einmal eine Voroperation an der Lendenwirbelsäule und 84 von 99 (84 %) wurden nach der Definition von Bussche et al. [63] als multimorbide eingestuft. Die Häufigkeit der Vor-Operationen sind der Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 5

	Häufigkeit (n)	Kumulierte Prozente (%)
Vor-OP an LWS	16	16,2
Keine Vor-OP an LWS	83	83,8
<b>Gesamt</b>	<b>99</b>	<b>100</b>

Tabelle 5: Anzahl der Vor-Operationen an der LWS

Im Durchschnitt wurden 2,9 Segmente fusioniert (StE 0.14): Mindestens eines und das Maximum lag bei 8 instrumentierten Segmenten. Insgesamt wurde in 21 von 99 Fällen eine monosegmentale Versteifung durchgeführt (21 %).

### 3.2 Entstehung der Anschlusssegmentdegeneration (ASD)

Das Hauptziel dieser Arbeit war es zu eruieren, wie häufig sich im Verlauf einer operativen Instrumentierung eine Anschlussdegeneration entwickelt. Dies war bei 56 der 99 Patienten (56 %) der Fall. Dabei waren 60 % (18 von 30) der Patienten aus Gruppe 1 (Hybrid Versorgung) und 55 % (38 von 69) der Patienten aus Gruppe 2 (rigide Versorgung) betroffen. Dieser Unterschied war statistisch nicht signifikant ( $p > 0,05$ ).

Die nachstehende Tabelle 6 zeigt die Auftretenswahrscheinlichkeit einer ASD.

**Tabelle 6**

	<b>Häufigkeit (n)</b>	<b>Kumulierte Prozente (%)</b>
Keine ASD	43	43,4
ASD	56	56,6
<b>Gesamt</b>	<b>99</b>	<b>100</b>

Tabelle 6: Anzahl der Patienten, die im Verlauf eine ASD entwickelten

Aus dem Gesamtkollektiv wurde im Rahmen der radiologischen Voruntersuchungen bei 73 von 99 Patienten (73 %) bereits präoperativ eine Degeneration im Anschlusssegment identifiziert. Die Degenerationen entsprachen mindestens einer Grad 1 Veränderung nach der Weiner Klassifikation [28]. Bei 26 von 99 Patienten zeigte das Anschlusssegment vor der Operation keine degenerativen Veränderungen. Von den 73 Patienten mit bereits vor der Operation bestehenden degenerativen Veränderungen im Anschlusssegment entwickelten 34 (47 %) postoperativ eine ASD (Erhöhung des Weiner Grades um mindestens eine Stufe).

Bei 24 dieser 73 Patienten entsprach der präoperativ festgestellte Verschleiß im Anschlusssegment bereits einem Grad 2 oder 3 nach Weiner.

Bei keinem dieser 24 Patienten konnte eine Progression des Weiner Grades und somit keine ASD nach der Indexoperation festgestellt werden (0 von 24).

Von den 26 Patienten die präoperativ keinerlei Abnutzung in den Anschlusssegmenten aufwiesen (Weiner Grad 0), entwickelten 22 (85 %) eine ASD mit Progression des Weiner Scores. Dieser Unterschied war statistisch signifikant ( $p < 0,05$ ).

Bei 17 Patienten (17 %) war UIV (*upper instrumented vertebrae*, das kranialste instrumentierte Segment) am LAV (*lumbar apical vertebrae*, dem Scheitelpunkt der Lendenlordose) gelegen. 14 von diesen 17 Patienten (82 %) entwickelten eine ASD.

### **3.3 Einfluss des Apex auf ASD-Rate**

Ferner galt es herauszufinden, welchen Bezug der am kranialsten liegende instrumentierte Wirbelkörper, jeweils zum Scheitelpunkt der lumbalen Lordose hatte und welche Auswirkungen dieser in Bezug auf die Rate von Anschlussdegenerationen hat. Die Frage diesbezüglich war, ob sich ein signifikanter Unterschied bemerkbar macht, je nachdem bis zu welchem Segment, bezogen auf den Apex der Wirbelsäule, die Versteifung durchgeführt wird.

Bei 16 der 22 Patienten (73 %) mit ASD im Verlauf war das am kranialsten gelegene Segment genau am Scheitelpunkt der LWS gelegen. Aus dem gesamten Kollektiv stoppte bei 17 Patienten (17 %) die Instrumentierung am Apex der Wirbelsäule und war somit das als letzte noch mitinstrumentierte Segment. 82 % dieser Patienten entwickelten daraufhin eine ASD (14 von 17). Dieser Unterschied war statistisch signifikant ( $p < 0,05$ ). Das nachstehende Balkendiagramm (Tabelle 7) zeigt diesen Unterschied.

Wir führten außerdem noch eine Analyse von Untergruppen durch und beurteilten den radiologischen Verlauf der Patienten, bei denen die Instrumentierung bis ein Segment oberhalb des Apex reichte. Diese Gruppe unterteilten wir in die Gruppen 1a und 2a, mit jeweils 4 und 20 Patienten. Patienten der Gruppe 1a waren jene, deren rigide Instrumentierung auf Höhe des Scheitelpunktes endete und kranial davon ein weiteres Segment dynamisch mit Hilfe von *Topping-Off* ergänzt wurde. Patienten der Gruppe 2a wurden mit einer rein rigiden Instrumentierung versorgt, welche bis ein Segment über dem Apex reichte. 50 % der Patienten aus Gruppe 1a (2 von 4) und 65 % derer aus Gruppe 2a (13 von 20) entwickelten eine ASD. Dieser Unterschied war statistisch nicht signifikant ( $p > 0,05$ ).

**Tabelle 7**

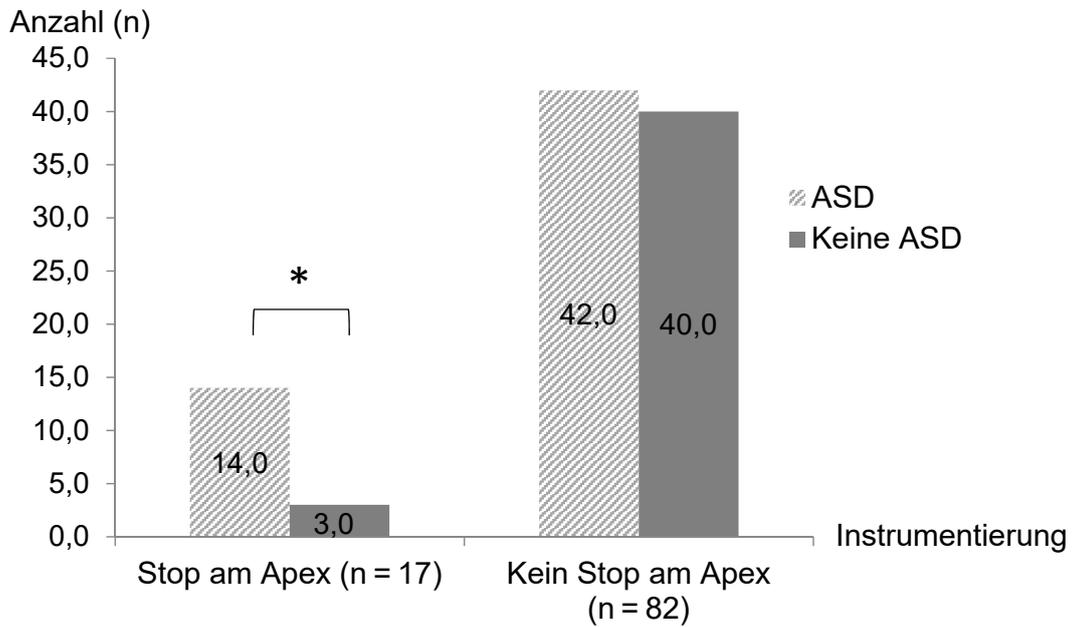


Tabelle 7: ASD-Häufigkeit in Abhängigkeit vom Apex

### 3.4 Patientenzufriedenheit

Die Auswertung der Fragen, bezüglich Zufriedenheit und Schmerzfreiheit, sind aus den nachfolgenden Tabellen zu entnehmen. 61 Patienten beantworteten die Fragen, 38 lehnten eine Antwort ab.

37 der 61 befragten Patienten (61 %) bestätigten die Frage, dass sich ihr Krankheitszustand gegenüber dem Vorniveau gebessert hat. Für 39 % der Patienten (24 von 61) war der Allgemeinzustand im postoperativen Verlauf nicht verbessert. 49 % der Befragten (46 von 94) berichten von einem postoperativ gebesserten Schmerzzustand. Nur 21 % bemerkten keine Veränderung bezüglich Schmerzfreiheit und 30 % berichteten von einer Verschlimmerung. Diese Zahlen sind der nachfolgenden Tabelle 8 zu entnehmen.

Tabelle 8

	Häufigkeit (n)	Kumulierte Prozente (%)
<b>Zufriedenheit</b>		
Zufrieden	14	23
Nicht zufrieden	19	31,1
Sehr zufrieden	28	45,9
<b>Gesamt</b>	<b>61</b>	<b>100</b>
<b>Schmerzen</b>		
Postoperativ unverändert	20	21,3
Postoperativ stärker	28	29,8
Postoperativ verbessert	46	48,9
<b>Gesamt</b>	<b>94</b>	<b>100</b>

Tabelle 8: Zufriedenheit und Schmerzzustand der Patienten postoperativ

### 3.5 Komplikationen der Studie

Im Rahmen der Nachuntersuchungszeit mussten sich 7 von 99 Patienten (7 %) einer Revisions-Operation, auf Grund einer klinisch relevanten ASDis unterziehen. Einer aus Gruppe 1 und 6 Patienten aus der Gruppe 2. Die Komplikationsrate zeigte keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen 1 und 2 ( $p > 0,05$ ). Jedoch ist durch die geringe Anzahl der Patienten in den Subgruppen, die Aussagekraft begrenzt. Die Tabelle 9 zeigt die jeweiligen Komplikationen. Diese waren in absteigender Häufigkeit: mechanische Komplikationen, Infektionen und Duraleck.

Tabelle 9

Art der Komplikation	Anzahl der Komplikationen (n)	Kumulierte Prozente (%)
Duraleck	4	4,0
Infektion	10	10,1
Mechanische Komplikation	17	17,2
Keine Komplikation	65	65,7
Andere	3	3,0
<b>Gesamt</b>	<b>99</b>	<b>100</b>

Tabelle 9: Art und Anzahl der aufgetretenen Komplikationen

## 4. Diskussion

Die dynamische Stabilisierung des kranialen Anschlusssegmentes durch die *Topping-off* Methode soll den Übergang vom rigide versorgten Bereich zur nicht-instrumentierten Wirbelsäule abfedern. In unserer Studie konnten wir in Hinblick auf Anschlussdegenerationen keinen Vorteil für die Verwendung von Hybrid Systemen gegenüber der rigiden Fusion feststellen.

Wir konnten jedoch einen signifikanten Unterschied in der ASD Rate beobachten, zwischen der Versorgung bis zum Apex und einer Instrumentierung darüber hinaus. Patienten, deren Instrumentierung über den Scheitelpunkt der Wirbelsäule hinausreichte, entwickelten signifikant ( $p < 0,05$ ) seltener eine ASD, als solche bei denen die Versorgung am Apex endete.

Durch die Versteifung eines Wirbelsäulenabschnittes kommt es im unmittelbaren Anschlusssegment zu mehr Mobilität und damit zu einem höheren intradiskalen Druck als vor der OP. Dies könnte zu einer vorzeitigen Degeneration des Anschlusssegmentes führen [2, 3]. Penta et al. jedoch beziehen degenerative Veränderungen nach spinaler Fusion nicht auf die Fusion, sondern auf den altersbedingten degenerativen Prozess des Individuums [66].

Boden et al. [5] berichten von einer 57 %igen Rate an abnormalen MRT Befunden bei Menschen im Alter über 60 Jahre, die unabhängig von einem operativen Eingriff bei Patienten ohne Beschwerden gefunden wurden. Die radiologisch nachweisbaren degenerativen Veränderungen korrelieren nicht mit dem Schmerzzustand der Patienten: Von den 67 Probanden ohne Rückenschmerzen, die Boden untersuchte, wurde bei 36 % ein vorgewölbter Nucleus Pulposus und bei 21 % eine Spinalkanalstenose gefunden. 66 der 67 Probanden wiesen Bandscheibendegenerationen auf, wobei keine klinisch symptomatisch war. Diese Resultate unterstützen die Auffassung, dass degenerative Prozesse auch altersbedingt und unabhängig von lumbalen spinalen Fusionsoperationen entstehen. Ein ähnliches Studienergebnis präsentieren Elfering et al. [10], die in 41 Individuen eine natürliche Progredienz der Degeneration feststellen konnten. 41 % der Teilnehmer (17 von 41) präsentierten im Rahmen einer 5-jährigen *Follow-Up*-Periode eine zunehmende Bandscheibendegeneration, wobei es keinen Bezug zwischen radiologischer Veränderung und klinischen Parametern gab. Neben dem Patientenalter, fanden Elfering et al. auch einen

Zusammenhang zwischen Nacharbeit, sowie geringer sportlicher Aktivität und dem Schweregrad des Bandscheibenprolapses. Dekutoski et al. und Chou et al. [67, 68] hingegen sahen einen Zusammenhang zwischen Fusionsoperationen und degenerativen Veränderungen. Sie äußerten, dass es durch die fusionsbedingte Hypermobilität zu einer vermehrten Belastung und erhöhtem Stress auf angrenzende Bandscheiben, Wirbelkörperendplatten und Facettengelenken kommt.

Ghiselli [22] bestätigte die Hypothese, dass eine gesteigerte intradiskale Druckbelastung durch den kompensatorisch erhöhten Bewegungsumfang im Anschlusssegment, nach einer Fusion als mögliche Ursache für eine ASD anzusehen ist.

Um diesen potenziellen Risikofaktor zu minimieren wurden dynamische Implantate entwickelt, deren Ziel es ist den Verschleiß zu begrenzen. Die *Topping-off* Methode kombiniert dynamische und rigide Stabilisierung und soll die Degeneration des Anschlusssegmentes verhindern [53, 54]. Alternative Implantattechnologien wie PDS oder Interspinöse *Spacer*, sogenannte ISD (*interspinosus spacer devices*), erhalten ebenfalls einen Teil der Beweglichkeit des Segmentes in kontrollierter Form [69, 70]. Dabei haben sich laut Deyo et al. ISD, auf Grund einer erhöhten Rate an Revisions-Operationen, nicht bewährt [71]. Laut Maserati et al. [59] hat *Topping-Off* das Potenzial die Entstehung von Anschlussdegenerationen zu verhindern. Auch Baioni et al. [60] finden positive Effekte durch die Verwendung hybrider Instrumente zur Behandlung degenerativer Erkrankungen. Sie berichten von einer niedrigen ASD Rate von 10 % (3 von 30 Patienten) in ihrer Studie, jedoch auch von einer Reoperationsrate von 6,6 % innerhalb der 5-jährigen *Follow-Up*-Periode. Ein Bericht über Komplikationen fehlt in dieser Studie. Insgesamt ziehen Baioni et al. jedoch die Schlussfolgerung, dass die Hybridversorgung Vorteile bringt.

Dies stellt eine gegensätzliche Einschätzung zu unseren Studienergebnissen dar, bei welchen wir keinen Vorteil der dynamischen Versorgung gegenüber der rigiden, hinsichtlich der Entstehung von ASD fanden. 55 % der Patienten mit rigide instrumentierter Wirbelsäule und 60 % der Patienten deren rigide Versorgung mit Hilfe von *Topping-Off* ergänzt wurde, entwickelten eine ASD.

Ein ähnliches Resultat präsentieren Putzier et al. [37]. in ihrer Studie, die ebenfalls trotz des radiologischen Vorteils, ein Voranschreiten des degenerativen

Prozesses verhindern zu können, keinen klinischen Unterschied im Endresultat zwischen der dynamischen Mitversorgung des Anschlusssegmentes oder einer monosegmentalen rigiden Fusion sahen. Putzier untersuchte in einer prospektiven randomisierten Studie 60 Patienten (31 Männer und 29 Frauen) mit einem durchschnittlichen Alter von 45 Jahren. Es wurde eine Zuweisung in zwei Gruppen durchgeführt. Die erste Gruppe (Kontrollgruppe) wurde mit Hilfe einer monosegmentalen Fusion versorgt (Allospine<sup>TM</sup> Zimmer, Winterthur, Schweiz) und die restlichen 30 Patienten aus der Studiengruppe erhielten eine zusätzlich dynamische Mitfixierung des kranialen Anschlusssegmentes (Dynesys<sup>®</sup> Pedikelschrauben, Zimmer, Winterthur, Schweiz). In der Studienpopulation mit der dynamischen Fixierung des Anschlusssegmentes konnte die Rate an ASD in diesem Segment zwar reduziert werden, jedoch unter Inkaufnahme einer höheren Rate an Implantatversagen. Bei 3 von 22 (13 %) Patienten entstanden Komplikationen im Sinne von Bruchschäden der Pedikelschrauben oder des Implantatstabes. Die Studienteilnehmer der monosegmental versorgten Population erfuhren keine unerwünschten Implantatkomplikationen. Bei sechs Patienten (6 von 25) aus der monosegmentalen Fusions-Gruppe war eine Progression der Degeneration zu verzeichnen, wobei die Anzahl in der dynamisch fixierten Gruppe bei einem Patienten lag (1 von 22). Allerdings beschrieben Putzier et al. auch, dass das Problem der Anschlussdegeneration nicht gelöst, sondern auf die nächst höher gelegene Ebene verschoben wurde. So erfuhr keiner aus der monosegmentalen, aber 2 Patienten (2 von 22) aus der dynamischen Gruppe in dem Segment oberhalb der dynamischen Instrumentierung, eine Progression der ASD. Nach gründlicher Evaluation des *Outcomes* dynamischer Fixierung in initial degenerierten, aber asymptomatischen Segmenten, konnte zwar ein radiologischer Vorteil festgestellt werden, nicht jedoch ein klinisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Operationsmethoden. Ähnliche Erkenntnisse bezüglich einer Verschiebung der Problematik auf das nächsthöhere Segment berichten auch Mageswaran et al. [50]. Dieser führte eine biomechanische Studie an Kadavern durch. Dafür verwendete er die Lendenwirbelsäulen von 7 Kadavern mit einem durchschnittlichem Alter von 60 Jahren. Die Wirbelsäule wurde alsdann in den folgenden drei Zuständen untersucht: 1) intakte nicht-

instrumentierte Wirbelsäule, 2) rigide Versorgung von L4/5 mit Hilfe eines Pedikelschrauben-Stab-Systems und 3.) dynamische Erweiterung des Anschlusssegmentes mittels *Topping-Off* im Bereich von L3/4 (Optima System, Zimmer, Inc.). Ein industrieller Roboter (KUKA Robotics GmbH) setzte die Lendenwirbelsäule kontrolliert den Bewegungen Flexion-Extension, seitliche Neigung und axiale Rotation aus und es wurden jeweils die biomechanischen Eigenschaften in den drei verschiedenen Zuständen untersucht. Es ging darum die Auswirkungen des Bewegungsumfanges auf die Anschlusssegmente in den einzelnen Konstrukten zu messen und miteinander zu vergleichen. Durch die hybride Anschlussfixierung soll theoretisch das kraniale Segment vor einem übermäßigen Bewegungsumfang geschützt werden. Dies soll realisiert werden, indem ein weicherer Bewegungsübergang zwischen der rigide versorgten Wirbelsäule und dem nicht-instrumentierten Abschnitt hergestellt wird. Dadurch soll die beschleunigte Degeneration im Anschlusssegment verhindert werden. Mageswaran et al. kamen zu dem Ergebnis, dass die Reduktion des Bewegungsumfanges (ROM, *range of motion*) in beiden Konstrukten (Konstrukt A mit rigider 1-Level Fusion und Konstrukt B mit dynamischer Fixierung des Anschlusssegmentes) annähernd gleichwertig war. Es konnte kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Rigidität und Stabilität festgestellt werden. Demzufolge konnte nur das unmittelbare Anschlusssegment durch eine dynamische Mitversorgung geschont werden, unter Inkaufnahme einer signifikant erhöhten Belastung auf alle verbliebenen darüberliegenden Segmente. Durch die Erzeugung einer Mehretagen-Fusion wurden die kranial gelegenen Segmente einer messbar erhöhten ROM (*range of motion*) ausgesetzt, welche zur vermehrten Belastung dieser führte. Durch die Implantatverlängerung mittels dynamischer Stabilisierung, wurde die Problematik folglich nicht behoben, sondern nur um ein Level nach kranial verschoben, mit der Konsequenz eines neu entstandenen Anschlusssegmentes („*new adjacent level*“). Cabello et al. [52] wiederum berichteten, dass dynamische Konstruktionen vermutlich einen protektiven Effekt haben und die Auftretenswahrscheinlichkeiten von degenerativen Bandscheibenveränderungen in Anschlusssegmenten verringern. Um dies zu beweisen führte er eine biomechanische Studie mit 6 menschlichen lumbalen Wirbelsäulen Kadavern (durchschnittlich 49,5 Jahre alt) durch, welche im Bereich L5/S1 mit einem rigiden Schrauben-Stab-Implantat und in L4/L5 mit

einem dynamischen Implantat versorgt wurden. Mit Hilfe eines Druckwandlers wurde der intradiskale Druck in den drei Situationen: intakte Wirbelsäule, L5/S1 rigide Instrumentierung alleine und L5/S1 rigide Instrumentierung mit zusätzlich dynamischer Anschlussstabilisierung in L4/L5 gemessen. Die Druckmessung erfolgte in den Segmenten zwischen L3/L4 (Anschlusssegment des dynamischen Segments), L4/5 (dynamisches Segment und Anschlusssegment der rigiden Fusion) und L5/S1 (rigides Segment) unter axialer Kompression, Ventralflexion und Extension. Es galt herauszufinden, ob sich der Druck in den Anschlusssegmenten erhöht und ob dieser Anstieg durch eine dynamische Mitversorgung unterbunden werden kann. Cabello et al. fanden heraus, dass durch die rigide Fusion der intradiskale Druck im L5/S1 Segment um 65 % sank und konsekutiv im Anschlusssegment (L4/L5) um 20 % anstieg. Der Druck im Segment oberhalb des Anschlusssegmentes (L3/L4) blieb unverändert. *Topping-Off* im Bereich von L4/L5 führte in diesem Segment zu einer Reduktion des intradiskalen Drucks um 50 %, einer unveränderten Reduktion um 65 % im rigiden L5/S1 Segment und einer verringerten Erhöhung im Anschlusssegment (L3/L4) um nur 10 %. In seinem Versuchsaufbau war es von Vorteil, eine rigide Fusion durch eine dynamische Mitversorgung zu ergänzen, um den intradiskalen Druck im Anschlusssegment um 50 % zu reduzieren.

In Übereinstimmung mit Cabello [52], berichten auch Morishita et al. [55] von einer erheblich höheren Rate an Bandscheibendegenerationen im Anschlusssegment bei Patienten, die mit rigider Fusion versorgt wurden. Morishita untersuchte 77 Patienten mit Spinalkanalstenose und degenerativer Spondylolisthese, von denen 41 mit dynamischer Stabilisierung (Ulrich GmbH & Co., KG, Ulm, Deutschland) und 36 Patienten rigide versorgt wurden. Postoperativ, im Rahmen der 36-monatigen *Follow-Up*-Untersuchungen, konnten drei Untersucher unabhängig voneinander eine signifikante Verschlechterung, mit zunehmenden degenerativen Veränderungen, bezüglich der Bandscheibenstruktur und -höhe in L2/L3, L4/L5 und L5/S1 der rigide versorgten Kohorte feststellen. Durch die rigide Versteifung kam es bei den Patienten zu einem kompletten Verlust der Segmentbeweglichkeit. Die dadurch verminderte Anzahl an beweglichen lumbalen Segmenten, verändert auch das biomechanische Verhalten benachbarter, noch mobiler Segmente und führte potenziell zu einer vorzeitigen Degeneration der Bandscheiben. Morishita et al.

[55] folgerten aus ihren Studienergebnissen, dass durch die Verwendung dynamischer Stabilisierungsmethoden die Bandscheiben entlastet werden können, ohne dass es zu einem vollständigen Verlust des Bewegungsumfanges im instrumentierten Segment kommen muss.

Weitere Autoren berichteten von einer nicht-Überlegenheit der hybriden Konstrukte [26, 37, 50].

Grob et al. [26] analysierten innerhalb eines Nachuntersuchungszeitraumes von mindestens 2 Jahren die Daten von 31 Patienten, welche mit dem semirigiden Dynesys Implantat versorgt wurden. 19 % der Patienten (6 von 31) mussten sich einer Revisions-Operation unterziehen und auch das globale *Outcome* war nicht zufriedenstellend. So berichteten nur 40 % der Patienten (12 von 31) von einer verbesserten physischen Leistungsfähigkeit und nur der Hälfte aller Patienten konnte 2 Jahre postoperativ durch eine Steigerung ihrer Lebensqualität geholfen werden. Grob et al. fanden keinen Vorteil des *Topping-Offs* gegenüber der klassischen Fusion hinsichtlich des *Outcomes*. Auffällig waren jedoch die günstigeren Ergebnisse bei jenen Patienten, welche zusätzlich eine Dekompression in Ergänzung zur Versorgung mit Dynesys bekamen. So berichteten 69 % (9 von 13 Patienten) aus der Gruppe mit beiden Behandlungen von einer verbesserten Lebensqualität und beschrieben den Eingriff als „sehr hilfreich“. Im Gegensatz dazu berichteten nur 35 % (6 von 18 Patienten) aus der allein mit Dynesys versorgten Gruppe von einer verbesserten Lebensqualität und gesteigerten physischen Leistungsfähigkeit.

Die meisten Studien, die wir hinsichtlich ihres klinischen *Outcomes* mitbewertet haben, verwendeten das Dynesys System (® Zimmer) [25, 26, 59, 60]. Dynesys ist ein nicht-Fusions Pedikelschrauben-Stab System, welches entwickelt wurde, um die Nachteile der rigiden Fusion zu überwinden, jedoch eine ihr gleichwertige Stabilität gewährleistet [26]. Diese PDS (*pedicle screw/rod-based devices*) als dynamisches Konstrukt aus Titan, verspricht eine Bewegungskontrolle in allen Ebenen, indem laut Produktinformation nahezu physiologische Bedingungen erlaubt werden. Im Gegensatz zur alleinigen Dekompression soll die Verwendung des Dynesys Systems die Wiederherstellung von Stabilität ermöglichen und Instabilitäten verhindern. Außerdem dient die abfedernde Wirkung als weicherer Übergang zwischen fusionierten und nicht-fusionierten Arealen, um Hypermobilität in den Anschlusssegmenten zu verhindern [25].

Dennoch konnten die meisten aufgeführten Autoren [25, 26, 59, 60] die theoretischen positiven Effekte nicht bestätigen.

Wir verwendeten in unserer Studie das TRANSITION™ System (® Globus Medical, Inc. Audubon, PA). TRANSITION™ weist im Vergleich zum Dynasis System eine reduzierte Steifigkeit, durch die Verwendung von PCU *Spacer*n und einer Schnur anstatt eines Stabes, auf. Außerdem besteht die Möglichkeit der aktiven intraoperativen Wiederherstellung des lumbalen Lordoseverlustes. Ein weiterer Vorteil gegenüber Dynesys ist die Verwendung eines zusätzlichen Stoßdämpfers (*Bumper*). Die Kombination aus Flexibilität und Stabilität erlaubt theoretisch verbesserte kinematische Verhältnisse. TRANSITION™ ermöglicht somit eine gleichmäßige Lastverteilung, sowie eine einheitliche Reduktion des Bewegungsumfanges in den operierten Segmenten. Diese biomechanisch günstigere Situation birgt theoretisch eine geringere Gefahr der Hypermobilität in den Anschlusssegmenten [65, 72]. Wie eine Reihe von Autoren [22, 23, 30, 48] bereits belegt haben, führt Hypermobilität und damit einhergehende Mehrbelastung der Anschlusssegmente nach stattgehabter lumbaler oder lumbosakraler Fusion, als einer der wesentlichen Faktoren, zu ASD.

Lee et al. und Kim et. al [2, 3] unterstützen ebenfalls die Aussage, dass die Segmente, welche an eine Instrumentierung angrenzen, nach der Operation deutlich mehr Bewegung aufweisen als vor dem Eingriff. Dabei sind laut Kereochana et al. vor allem apikal liegende Segmente signifikant mobiler als kaudale und somit besonders gefährdet eine beschleunigte Degeneration zu erfahren [62].

Vor diesem Hintergrund könnte die Wahl des Apex als Endpunkt der Instrumentierung eine erhöhte Rate an ASD auslösen. Zum einen ist das Segment im Scheitel der Lordose beweglicher als die übrigen [62] und zum anderen, führt die Hypermobilität im Anschlusssegment nach rigider Fusion zur Belastung der Bandscheiben und der Facettengelenke in diesem Bereich und trägt somit zur Entstehung degenerativer Erkrankungen, wie der ASD, bei.

Dies unterstützt die Ergebnisse unserer Studie: Hierbei reichte bei 17 von 99 Patienten die Instrumentierung nur bis zum Scheitelpunkt der Wirbelsäule und nicht darüber hinaus. Bei 82 % dieser Studienteilnehmer entwickelte sich eine ASD (14 von 17).

Die Wahrscheinlichkeit eine ASD zu entwickeln war in unserem Kollektiv deutlich höher, wenn das kranialste instrumentierte Segment jenes am Scheitelpunkt der Wirbelsäule war. Durch die natürliche Mehrbewegung im Apex und die vermehrte Bewegung im Anschlusssegment nach stattgehabter Fusion kommt es zu einer gesteigerten Belastung auf Bandscheiben und Facettengelenke in diesem Bereich. Aus diesem Grunde sollte die Instrumentierung bis mindestens ein Segment über dem Scheitelpunkt der Lendenlordose reichen.

Werner et al. [73] beschreiben, dass Anschlusssegmentdegenerationen vor allem bei L4/5 auftreten. Der Abschnitt L4/5 ist häufig der Apex der Lordose und somit bestätigt dies unsere Ergebnisse.

In unserer Kohorte fanden wir einen signifikant nutzbringenden Effekt darin, wenn das zuletzt instrumentierte Segment den Apex der Lendenlordose überschreitet. Hinsichtlich des *Outcomes* war in unserem Patientenkollektiv kein signifikanter Unterschied feststellbar, zwischen einer allein rigiden Fusion über den Scheitelpunkt hinaus oder einer rigiden Fusion bis zum Apex mit dynamischem *Topping-Off* kranial davon.

Die Länge der Fusion spielt in der ASD Entwicklung ebenfalls eine wichtige Rolle. So erachten wir es als indiziert, die Fusion bis zum niedrigsten noch möglichen Segment durchzuführen, um die Invasivität der Operation möglichst gering zu halten. Je mehr Segmente fusioniert werden, desto höher ist das Operationsrisiko unter anderem durch längere OP-Zeit und mehr Blutverlust. Zudem hat der Erhalt möglichst vieler Bewegungssegmente klinische Vorteile.

Cheh et al. [23] untersuchten die Bedeutung der Länge der Fusion hinsichtlich ASD. Im Rahmen ihrer Versuche fanden sie heraus, dass 27,2 % der Patienten mit monosegmentaler Fusion, 35 % mit 2-Level Fusion und 45,1 % derer mit 3- oder 4-Level Fusion eine klinisch relevante ASD entwickelten. Dies bestätigt die Annahme, dass je länger die Fusion ist, desto wahrscheinlicher das Auftreten degenerativer Veränderungen im Anschlusssegment wird. Diese Ergebnisse stimmen mit denen von Gillet et al. [32] überein, die ebenfalls, je nach Ausdehnung der Instrumentierung eine erhöhte Inzidenz und Schwere an ASD feststellen konnten. Li et al. [17] führten eine Studie mit 102 Patienten durch (38 Männer und 64 Frauen), welche mittels posteriolateraler Fusion eines, zweier oder dreier Segmente versorgt wurden. Er fand einen signifikanten Unterschied innerhalb der drei verschiedenen Gruppen: Patienten mit monosegmentaler

Fusion entwickelten in 13,6 % der Fälle eine ASD (6/44) und Patienten mit einer zwei-Level Fusion bereits in 26,3 % (10/38). Die höchste Wahrscheinlichkeit für eine ASD Entstehung im postoperativen Verlauf betraf mit 50 % (10/20) solche Patienten, die mit einer drei-Level Fusion behandelt wurden.

Im Gegensatz dazu steht die Aussage von Ghiselli et al. [22], welcher annimmt, dass bei Patienten mit einer langstreckigen Fusion von der thorakalen Wirbelsäule bis zum Sakrum weniger Segmente verbleiben, welche einem potenziellen Risiko für Degeneration ausgesetzt sind. Wohingegen bei einer kurzen Fusion, beispielsweise zwischen L3-L4, potenziell vier Segmente der Lendenwirbelsäule degenerieren können. Somit seien Patienten mit monosegmentaler Fusion wahrscheinlicher davon betroffen eine ASD zu entwickeln als solche, die mit einer mehr Etagen Fusion versorgt wurden. Baioni et al. und Wiltse et al. fanden keine Übereinstimmung zwischen der Anzahl an fusionierten Segmenten und der Entstehung von Anschlussdegenerationen [60, 74].

Bothmann et al. [75] bemerkten hingegen eine leichte Tendenz zu einem schlechteren *Outcome* in Fällen, wo mehr als ein Segment stabilisiert wurde. Dasselbe galt für Patienten, die vor der Index Operation bereits an der lumbalen Wirbelsäule operiert wurden.

Wir raten daher unter Berücksichtigung aller Daten von einer Verlängerung der Instrumentierung durch *Topping-Off* ab.

Erhöhter *Body Mass Index* (BMI) und die Menopause der Frau sind weitere begünstigende Faktoren für die Entwicklung einer Anschlusssegmentdegeneration [56].

Als weiteren Risikofaktor beschreiben Liang et al. [35] und Li et al. [17] Anschlusssegmente, die initial bereits degenerative Veränderungen aufweisen. Für Liang et al. [35] haben Patienten mit einem erhöhten BMI, einem vordegenerierten Anschlusssegment im MRT und Bandscheibenvorwölbungen im CT, das höchste individuelle Risiko wegen einer symptomatischen ASD eine Revisions-Operation zu benötigen. Auch Li et al. [17] berichten von einem besseren *Outcome* nach lumbaler posterolateraler Fusion bei Patienten ohne initial bestehende Bandscheibendegeneration, zwischen Patientengruppen mit ähnlichen Eigenschaften bezüglich Alter, Diagnose, Operationsmethode und Anzahl der fusionierten Segmente. Das höchste Risiko für eine Progression der ASD fanden sie bei Patienten mit degenerativen Veränderungen in den

Bandscheiben kranial der Fusion. Somit haben altersbedingte degenerative Faktoren einen höheren Einfluss auf die Entstehung von ASD als biomechanische Faktoren. Auch Putzier et al. [37] und Park et al. [48] zählen bereits vorhandene degenerative Veränderungen zu potenziellen Risikofaktoren für eine Anschlusssegmentdegeneration. So schätzen diese die Auftretenswahrscheinlichkeit von ASD als deutlich höher ein, wenn zum Zeitpunkt der Operation, das Anschlusssegment bereits degenerative Veränderungen aufweist.

Im Gegensatz dazu war in unserem Patientenkollektiv ein vordegeneriertes Segment kein Risikofaktor für eine ASD. Wir fanden interessanterweise eine erhöhte Rate an ASD bei jenen Patienten, die präoperativ keinerlei degenerative Veränderungen im jeweiligen Anschlusssegment aufwiesen. Von den 99 Patienten aus unserer Studie wiesen 73 % (73 von 99) vor dem Indexeingriff bereits degenerative Anzeichen in den Anschlusssegmenten auf, welche mindestens einem Weiner Grad 1 entsprachen. Von diesen 73 Patienten, entwickelten 47 % (34 von 73) eine ASD. Bei 26 Studienteilnehmern (26 %) war initial kein vordegeneriertes Segment vorhanden. Jedoch entwickelten 85 % dieser Patienten (22 von 26), ohne degenerative Zeichen, im postoperativen Verlauf eine ASD. Bei 14 dieser 22 Patienten (64 %) war allerdings das oberste instrumentierte Segment am Apex der lumbalen Lordose gelegen. Somit lag die Ursache für die ASD Entwicklung vermutlich nicht daran, dass das Anschlusssegment noch keine Degeneration aufwies, sondern war eher durch die Lage des am kranialsten instrumentierten Segmentes am Apex zu erklären. Die Ergebnisse dieser Studie mit hoher Rate an ASD und Unzufriedenheit mit dem Ergebnis der Operation sind unter anderem durch das hohe Durchschnittsalter (durchschnittlich 63 Jahre) der Patienten, die hohe Rate an Multimorbidität und die meist multisegmentale Instrumentierung (im Durchschnitt 2,9 Segmente) zu erklären. Das klinische *Outcome* bezüglich Zufriedenheit, Schmerzfreiheit, Gehstrecke und Verbesserung der allgemeinen Lebensqualität wäre in einem anderen Patientenkollektiv möglicherweise anders ausgefallen. Somit könnte es sein, dass die Ergebnisse und Rückschlüsse, die wir aus unserer Studie ziehen, für jüngere und gesunde Patienten nicht dieselbe Aussagekraft besitzen. 84 % der Patienten galten nach der Definition von Bussche et al. [63] als multimorbide, 16 % waren vor der Indexoperation schon

einmal an der LWS operiert worden und 24 % wiesen vor dem Eingriff bereits ein vordegeneriertes Anschlusssegment auf. Die Kombination aus diesen drei potenziell ungünstigen Faktoren könnte das klinische *Outcome* erklären.

Wir erfassten außerdem die Daten über den intraoperativen Blutverlust, die Dauer des operativen Eingriffes und die Komplikationsrate. Der Zusammenhang zwischen verlängerter Operationszeit und vermehrtem Blutverlust sowie erhöhter Komplikationsrate ist bekannt. Um eine Mehrfachtestung zu vermeiden, haben wir diese drei Faktoren nicht in unsere Auswertung mit aufgenommen, da deren Beziehung zueinander bereits mehrfach erforscht wurde und bekannt ist [76].

Die Untersuchung ob eine dynamische Instrumentierung über den Apex der Lendenlordose hinaus eine positive Auswirkung auf die Rate an Anschlussdegenerationen hat, bietet die Möglichkeit der weiteren Erforschung. In unserer Subgruppen Analyse (dynamische Mitversorgung eines Segmentes über den Apex hinaus oder rein rigide Versorgung über Apex) war die Anzahl der betroffenen Patienten (24) gering und somit ist die Aussagekraft der Ergebnisse nicht von hoher Evidenz.

## 5. Schlussfolgerung

Wir konnten nicht bestätigen, dass durch die *Topping-Off* Methode die Rate an ASD gesenkt werden kann. In unserer Studienpopulation zeigte sich keinen Vorteil dieser Technik gegenüber der Standard Versorgung.

Eine Versorgung über den Scheitelpunkt der Lendenlordose hinaus erwies sich als protektiv. Stoppte die Instrumentierung am Apex war die Rate an ASD deutlich höher, als in den Fällen wo über den Apex hinaus instrumentiert wurde. Aus diesem Grund empfehlen wir eine dorsale Instrumentierung der Wirbelsäule bei älteren Patienten nicht am Apex der Lendenlordose zu stoppen, sondern mindestens ein weiteres Segment über den Apex hinaus mit zu instrumentieren.

## 6. Literaturverzeichnis

1. Schmidt, C.O., et al., *Back pain in the German adult population: prevalence, severity, and sociodemographic correlates in a multiregional survey*. Spine (Phila Pa 1976), 2007. **32**(18): p. 2005-11.
2. Lee, C.K. and N.A. Langrana, *Lumbosacral spinal fusion. A biomechanical study*. Spine (Phila Pa 1976), 1984. **9**(6): p. 574-81.
3. Kim, H.J., et al., *The influence of facet joint orientation and tropism on the stress at the adjacent segment after lumbar fusion surgery: a biomechanical analysis*. Spine J, 2015. **15**(8): p. 1841-7.
4. Rahm, M.D. and B.B. Hall, *Adjacent-segment degeneration after lumbar fusion with instrumentation: a retrospective study*. J Spinal Disord, 1996. **9**(5): p. 392-400.
5. Boden, S.D., et al., *Abnormal Magnetic-Resonance Scans of the Lumbar Spine in Asymptomatic Subjects*. The Journal of Bone and Joint Surgery, 1990.
6. Kalff, R., et al., *Degenerative lumbar spinal stenosis in older people: current treatment options*. Dtsch Arztebl Int, 2013. **110**(37): p. 613-23; quiz 624.
7. Grifka, J. and M. Kuster, *Orthopädie und Unfallchirurgie 2011*, Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
8. Ammendolia, C., et al., *Nonoperative treatment for lumbar spinal stenosis with neurogenic claudication*. Cochrane Database Syst Rev, 2013(8): p. CD010712.
9. Kothe, R., C. Ulrich, and L. Papavero, *Die lumbale Spinalkanalstenose*. Orthopädie und Unfallchirurgie up2date, 2008. **3**(05): p. 301-316.
10. Elfering, A., et al., *Young Investigator Award 2001 winner: Risk factors for lumbar disc degeneration - A 5-year prospective MRI study in asymptomatic individuals*. Spine, 2002. **27**(2): p. 125-134.
11. Pfirrmann, C.W., et al., *Magnetic resonance classification of lumbar intervertebral disc degeneration*. Spine (Phila Pa 1976), 2001. **26**(17): p. 1873-8.
12. Theodoridis, T., J. Krämer, and M. Wiese, *Bandscheibenbedingte Erkrankungen*. Orthopädie und Unfallchirurgie up2date, 2006. **1**(6): p. 495-520.
13. Krämer, J., *Bandscheibenbedingte Erkrankungen*. 5 ed. 2006, Stuttgart Thieme Verlag.
14. Matzen, K.A. and W. Noack. *AWMF Leitlinien - Spondylolisthesis*. Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische

Chirurgie 2000 01 Apr 2002 [cited 2017 16 Jan]; Available from:  
<http://www.leitliniensekretariat.de/files/MyLayout/pdf/spondylolisthesis.pdf>.

15. Meyerding, H., *Spondylolisthesis* The Journal of Bone and Joint Surgery, 1931.
16. Siewert, R. and R. Brauer, *Basiswissen Chirurgie*. 2 ed. 2010, Heidelberg: Springer Verlag.
17. Li, C., et al., *The fate of adjacent segments with pre-existing degeneration after lumbar posterolateral fusion: the influence of degenerative grading*. Eur Spine J, 2015. **24**(11): p. 2468-73.
18. Nakashima, H., et al., *Adjacent Segment Disease After Posterior Lumbar Interbody Fusion: Based on Cases With a Minimum of 10 Years of Follow-up*. Spine (Phila Pa 1976), 2015. **40**(14): p. E831-41.
19. Kumar, M., A. Baklanov, and D. Chopin, *Correlation between sagittal plane changes and adjacent segment degeneration following lumbar spine fusion*. European Spine Journal, 2001. **10**(4): p. 314-319.
20. Okuda, S., et al., *Risk factors for adjacent segment degeneration after PLIF*. Spine (Phila Pa 1976), 2004. **29**(14): p. 1535-40.
21. Radcliff, K., et al., *Risk for adjacent segment and same segment reoperation after surgery for lumbar stenosis: a subgroup analysis of the Spine Patient Outcomes Research Trial (SPORT)*. Spine (Phila Pa 1976), 2013. **38**(7): p. 531-9.
22. Ghiselli, G., et al., *Adjacent segment degeneration in the lumbar spine*. J Bone Joint Surg Am, 2004. **86-A**(7): p. 1497-503.
23. Cheh, G., et al., *Adjacent segment disease following lumbar/thoracolumbar fusion with pedicle screw instrumentation: a minimum 5-year follow-up*. Spine (Phila Pa 1976), 2007. **32**(20): p. 2253-7.
24. Harrop, J.S., et al., *Lumbar adjacent segment degeneration and disease after arthrodesis and total disc arthroplasty*. Spine (Phila Pa 1976), 2008. **33**(15): p. 1701-7.
25. Stoll, T.M., G. Dubois, and O. Schwarzenbach, *The dynamic neutralization system for the spine: a multi-center study of a novel non-fusion system*. Eur Spine J, 2002. **11 Suppl 2**: p. S170-8.
26. Grob, D., et al., *Clinical experience with the Dynesys semirigid fixation system for the lumbar spine: surgical and patient-oriented outcome in 50 cases after an average of 2 years*. Spine (Phila Pa 1976), 2005. **30**(3): p. 324-31.
27. Lehmann, T.R., et al., *Long-term follow-up of lower lumbar fusion patients*. Spine (Phila Pa 1976), 1987. **12**(2): p. 97-104.

28. Weiner, D.K., et al., *Does Radiographic Osteoarthritis Correlate with Flexibility of the Lumbar Spine*. Journal of the American Geriatrics Society, 1994. **42**(3): p. 257-263.
29. Lee, C.K. and N.A. Langrana, *A review of spinal fusion for degenerative disc disease: need for alternative treatment approach of disc arthroplasty?* Spine J, 2004. **4**(6 Suppl): p. 173S-176S.
30. Levin, D.A., J.J. Hale, and J.A. Bendo, *Adjacent segment degeneration following spinal fusion for degenerative disc disease*. Bull NYU Hosp Jt Dis, 2007. **65**(1): p. 29-36.
31. Battie, M.C., et al., *1995 Volvo Award in clinical sciences. Determinants of lumbar disc degeneration. A study relating lifetime exposures and magnetic resonance imaging findings in identical twins*. Spine (Phila Pa 1976), 1995. **20**(24): p. 2601-12.
32. Gillet, P., *The fate of the adjacent motion segments after lumbar fusion*. J Spinal Disord Tech, 2003. **16**(4): p. 338-45.
33. Cheh, G., et al., *Adjacent Segment Disease Following Lumbar/Throacolumbar Fusion With Pedicle Screw Instrumentation*. Spine, 2007. **31**.
34. Aota, Y., K. Kumano, and S. Hirabayashi, *Postfusion instability at the adjacent segments after rigid pedicle screw fixation for degenerative lumbar spinal disorders*. J Spinal Disord, 1995. **8**(6): p. 464-73.
35. Liang, J., Y. Dong, and H. Zhao, *Risk factors for predicting symptomatic adjacent segment degeneration requiring surgery in patients after posterior lumbar fusion*. Journal of Orthopaedic Surgery and Research, 2014.
36. Ou, C.Y., et al., *Impact of body mass index on adjacent segment disease after lumbar fusion for degenerative spine disease*. Neurosurgery, 2015. **76**(4): p. 396-401; discussion 401-2; quiz 402.
37. Putzier, M., et al., *Dynamic stabilization adjacent to single-level fusion: part II. No clinical benefit for asymptomatic, initially degenerated adjacent segments after 6 years follow-up*. Eur Spine J, 2010. **19**(12): p. 2181-9.
38. Liuke, M., et al., *Disc degeneration of the lumbar spine in relation to overweight*. Int J Obes (Lond), 2005. **29**(8): p. 903-8.
39. Knutsson, B., K. Michaelsson, and B. Sanden, *Obesity Is Associated With Inferior Results After Surgery for Lumbar Spinal Stenosis*. Spine, 2013. **38**(5): p. 435-441.
40. Charles, Y.P., et al., *[Dynamic instrumentation of the lumbar spine. Clinical and biomechanical analysis of success factors]*. Orthopade, 2011. **40**(8): p. 703-12.

41. Roussouly, P., et al., *Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position*. Spine (Phila Pa 1976), 2005. **30**(3): p. 346-53.
42. Disch, A.C., et al., *Higher risk of adjacent segment degeneration after floating fusions: long-term outcome after low lumbar spine fusions*. J Spinal Disord Tech, 2008. **21**(2): p. 79-85.
43. Bastian, L., et al., *Evaluation of the mobility of adjacent segments after posterior thoracolumbar fixation: a biomechanical study*. European Spine Journal, 2001. **10**(4): p. 295-300.
44. Ferraris, L., et al., *Die Bedeutung der sagittalen Balance in der Wirbelsälenchirurgie*. 2012.
45. Moshirfar, A., F.F. Rand, and K.M. Kebaish, *Fixed Sagittal Plane Deformity: Causes, Prevention, and Treatment Options*. Seminars in Spine Surgery, 2011. **23**(2): p. 135-141.
46. Roussouly, P. and J.L. Pinheiro-Franco, *Biomechanical analysis of the spino-pelvic organization and adaptation in pathology*. Eur Spine J, 2011. **20 Suppl 5**: p. 609-18.
47. Bundesärztekammer (BÄK), Kassenärztliche Bundesvereinigung (KBV), and Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF). *Nationale VersorgungsLeitlinie Kreuzschmerz – Langfassung*. 2010 Oktober 2015 [cited 2016 07 Dez]; 1. Auflage:[Available from: <http://www.kreuzschmerz.versorgungsleitlinien.de/>].
48. Park, P., et al., *Adjacent segment disease after lumbar or lumbosacral fusion: review of the literature*. Spine (Phila Pa 1976), 2004. **29**(17): p. 1938-44.
49. Gomleksiz, C., et al., *A short history of posterior dynamic stabilization*. Adv Orthop, 2012. **2012**: p. 629698.
50. Mageswaran, P., et al., *Hybrid dynamic stabilization: a biomechanical assessment of adjacent and supraadjacent levels of the lumbar spine*. J Neurosurg Spine, 2012. **17**(3): p. 232-42.
51. Siewe, J., et al., *Comparison of standard fusion with a "topping off" system in lumbar spine surgery: a protocol for a randomized controlled trial*. BMC Musculoskelet Disord, 2011. **12**: p. 239.
52. Cabello, J., et al., *The protective role of dynamic stabilization on the adjacent disc to a rigid instrumented level. An in vitro biomechanical analysis*. Arch Orthop Trauma Surg, 2013. **133**(4): p. 443-8.
53. Caserta, S., et al., *Elastic stabilization alone or combined with rigid fusion in spinal surgery: a biomechanical study and clinical experience based on 82 cases*. Eur Spine J, 2002. **11 Suppl 2**: p. S192-7.

54. Kim, Y.S., et al., *Nitinol spring rod dynamic stabilization system and Nitinol memory loops in surgical treatment for lumbar disc disorders: short-term follow up*. Neurosurg Focus, 2007. **22**(1): p. E10.
55. Morishita, Y., et al., *Kinematic evaluation of the adjacent segments after lumbar instrumented surgery: a comparison between rigid fusion and dynamic non-fusion stabilization*. Eur Spine J, 2011. **20**(9): p. 1480-5.
56. Etebar, S. and D.W. Cahill, *Risk factors for adjacent-segment failure following lumbar fixation with rigid instrumentation for degenerative instability*. J Neurosurg, 1999. **90**(2 Suppl): p. 163-9.
57. Faraj, A.A. and J.K. Webb, *Early complications of spinal pedicle screw*. Eur Spine J, 1997. **6**(5): p. 324-6.
58. Pihlajamaki, H., P. Myllynen, and O. Bostman, *Complications of transpedicular lumbosacral fixation for non-traumatic disorders*. J Bone Joint Surg Br, 1997. **79**(2): p. 183-9.
59. Maserati, M.B., et al., *The use of a hybrid dynamic stabilization and fusion system in the lumbar spine: preliminary experience*. Neurosurgical Focus, 2010. **28**(6).
60. Baioni, A., et al., *Does hybrid fixation prevent junctional disease after posterior fusion for degenerative lumbar disorders? A minimum 5-year follow-up study*. Eur Spine J, 2015. **24 Suppl 7**: p. 855-64.
61. Yang, J.Y., J.K. Lee, and H.S. Song, *The impact of adjacent segment degeneration on the clinical outcome after lumbar spinal fusion*. Spine (Phila Pa 1976), 2008. **33**(5): p. 503-7.
62. Keorochana, G., et al., *Effect of sagittal alignment on kinematic changes and degree of disc degeneration in the lumbar spine: an analysis using positional MRI*. Spine (Phila Pa 1976), 2011. **36**(11): p. 893-8.
63. van den Bussche, H., et al., *A comparative study demonstrated that prevalence figures on multimorbidity require cautious interpretation when drawn from a single database*. J Clin Epidemiol, 2013. **66**(2): p. 209-17.
64. Schram, M.T., et al., *Setting and registry characteristics affect the prevalence and nature of multimorbidity in the elderly*. J Clin Epidemiol, 2008. **61**(11): p. 1104-12.
65. Sengupta, D., et al., *Does semi-rigid instrumentation using both flexion and extension dampening spacers truly provide an intermediate level of stabilization?* Adv Orthop, 2013. **2013**: p. 738252.
66. Penta, M., A. Sandhu, and R.D. Fraser, *Magnetic resonance imaging assessment of disc degeneration 10 years after anterior lumbar interbody fusion*. Spine (Phila Pa 1976), 1995. **20**(6): p. 743-7.

67. Dekutoski, M.B., et al., *Comparison of in vivo and in vitro adjacent segment motion after lumbar fusion*. Spine (Phila Pa 1976), 1994. **19**(15): p. 1745-51.
68. Chou, W.-Y., et al., *Adjacent segment degeneration after lumbar spinal posterolateral fusion with instrumentation in elderly patients*. Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery, 2014. **122**(1): p. 39-43.
69. Khoueir, P., K.A. Kim, and M.Y. Wang, *Classification of posterior dynamic stabilization devices*. Neurosurg Focus, 2007. **22**(1): p. E3.
70. Sengupta, D.K. and R.C. Mulholland, *Fulcrum assisted soft stabilization system: a new concept in the surgical treatment of degenerative low back pain*. Spine (Phila Pa 1976), 2005. **30**(9): p. 1019-29; discussion 1030.
71. Deyo, R.A., et al., *Interspinous spacers compared with decompression or fusion for lumbar stenosis: complications and repeat operations in the Medicare population*. Spine (Phila Pa 1976), 2013. **38**(10): p. 865-72.
72. Sengupta, D.K. and H.N. Herkowitz, *Pedicle screw-based posterior dynamic stabilization: literature review*. Adv Orthop, 2012. **2012**: p. 424268.
73. Werner, I., M. Rauschmann, and C. Fleege, *Anschlussdegeneration Langzeitkomplikation nach lumbaler Fusion*. Sport-Orthopädie - Sport-Traumatologie - Sports Orthopaedics and Traumatology, 2014. **30**(3): p. 256-266.
74. Wiltse, L.L., et al., *Comparative study of the incidence and severity of degenerative change in the transition zones after instrumented versus noninstrumented fusions of the lumbar spine*. J Spinal Disord, 1999. **12**(1): p. 27-33.
75. Bothmann, M., et al., *Dynesys fixation for lumbar spine degeneration*. Neurosurg Rev, 2008. **31**(2): p. 189-96.
76. Zheng, F., et al., *Factors predicting hospital stay, operative time, blood loss, and transfusion in patients undergoing revision posterior lumbar spine decompression, fusion, and segmental instrumentation*. Spine (Phila Pa 1976), 2002. **27**(8): p. 818-24.

## **Danksagung**

Mein Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr. med. Zilkens, der sich meiner Arbeit mit Verständnis angenommen hat. Für viel Geduld und konstruktive Kritik gilt mein besonderer Dank meinem Betreuer Dr. med. Markus Konieczny. Außerdem danke ich PD Dr. med. Schleich und PD Dr. med. Slotty, die meine Doktorarbeit als Zweit- und Drittgutachter betreut haben.