

Aus der I. Orthopädischen Klinik  
Hessing-Anstalten Augsburg

Chefarzt: Prof. Dr. Klaus A. Matzen

**Früh- und mittelfristige Ergebnisse einer prospektiven  
Verlaufsstudie von 105 mehrsegmentalen Spondylodesen  
mit einem neu entwickelten Fixateur interne**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von  
Mario Mlinaric  
München  
2006

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. K. A. Matzen

Mitberichterstatter: Prof. Dr. S. B. Keßler  
Priv. Doz. Dr. C. v. Schulze Pellengahr  
Prof. Dr. H. Hertlein

Dekan: Prof. Dr. med. D. Reinhardt

Tag der mündlichen Prüfung: 12.10.2006

## Inhaltsverzeichnis

<u>1 Einleitung</u>	<u>4</u>
1.1 Ziel der Arbeit.....	4
1.2 Epidemiologie.....	4
1.3 Anatomie der Wirbelsäule.....	6
1.3.1 Allgemeines.....	6
1.3.2 Skelettelemente der Wirbelsäule und deren Verbindungen.....	6
1.3.3 Muskulatur.....	7
1.3.4 Funktion und Biomechanik.....	8
1.3.5 Pathogenese der Wirbelsäulendegeneration.....	9
1.4 Instrumentelle Wirbelsäulenstabilisierung.....	14
1.4.1 Geschichtlicher Rückblick.....	14
1.4.2 Pedikelschraubeninstrumentierung.....	15
1.4.3 Dorsolaterale Spondylodese.....	15
1.4.4 Ventrale Spondylodese.....	15
1.4.5 Pedikelschraubennavigation.....	16
<u>2 Material und Methodik</u>	<u>19</u>
2.1 Patientenkollektiv.....	19
2.2 Studiendesign und Untersuchungsmethoden.....	19
2.2.1 Fragebogen.....	19
2.2.2 Klinische Untersuchung.....	22
2.2.3 Radiologische Auswertung.....	23
2.2.4 Statistische Auswertung.....	23
2.3 Merkmale und Eigenschaften des Implantates.....	24
2.4 Perioperatives Vorgehen.....	25
2.4.1 Operationsvorbereitungen.....	25
2.4.2 Nachbehandlung.....	25
<u>3 Ergebnisse</u>	<u>27</u>
3.1 Anthropometrische Daten.....	27
3.1.1 Altersverteilung.....	27
3.1.2 Fusionierte Segmente.....	28
3.1.3 Ausdehnung der Spondylodeseestrecke.....	30
3.1.4 Operationsindikationen.....	31
3.1.5 Spondylodeseverfahren.....	32
3.1.6 Computernavigiertes Operationsverfahren.....	34
3.2 Radiologische Auswertung.....	35
3.2.1 Pedikelschraubenlockerung.....	35
3.2.2 Fusionsrate.....	38
3.3 Komplikationen.....	39
3.3.1 Allgemeine perioperative Komplikationen.....	39
3.3.2 Reoperationsrate.....	40
3.3.3 Knochenspendemorbidity.....	41
3.4 Fragebogenauswertung.....	44
3.4.1 Allgemeines.....	44
3.4.2 Schmerzscore.....	45
3.4.3 Oswestry-Disability-Index.....	52
3.4.4 Subjektive Beurteilung des Operationsergebnisses.....	58
<u>4 Fallbeispiele</u>	<u>66</u>
4.1 Multisegmentale Osteochondrosen.....	66
4.2 Degenerative Skoliose.....	68

4.3 Failed-Back-Surgery-Syndrome.....	70
4.4 Degenerative Instabilität.....	73
4.5 Degenerative Spinalkanalstenose.....	75
5 Diskussion	78
5.1 Allgemeines.....	78
5.2 Implantat.....	79
5.3 Fusionsraten.....	80
5.4 Komplikationen.....	82
5.4.1 Allgemeine Komplikationen.....	82
5.4.2 Spezifische und operationstechnische Komplikationen.....	82
5.4.3 Knochenspendemorbidity.....	83
5.4.4 Wundinfektion.....	84
5.4.5 Reoperationsrate.....	84
5.5 Klinische Ergebnisse.....	85
5.6 Fluoroskopische Pedikelschraubennavigation.....	88
6 Zusammenfassung	90
7 Literaturverzeichnis	92
8 Abkürzungsverzeichnis	98
9 Danksagung	100
Lebenslauf	102

# 1 Einleitung

## 1.1 Ziel der Arbeit

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Evaluierung des klinischen Nutzens eines seit 1998 in der Wirbelsäulen Chirurgie verwendeten, semirigiden Fixateur interne im Rahmen einer prospektiven Verlaufsstudie. Das Indikationsspektrum für die mehrsegmentalen dorsoventralen und dorsolateralen Spondylodesen umfasst Patienten mit degenerativen Lumbalskoliosen und Spinalstenosen, Osteochondrosen, Pseudospondylolisthesen im Bereich der Lenden- und kaudalen Brustwirbelsäule sowie Patienten mit Voroperationen an der Wirbelsäule. Patienten mit einer transpedikulären Instrumentierung über mehr als zwei Segmente sowie einem Nachuntersuchungszeitraum von mindestens sechs Monaten wurden in die Studie einbezogen. Bei der Auswertung wurde die objektive Bewertung des Therapieerfolges mittels Ergebnisscores evaluiert. Qualitätsmerkmale des verwendeten Fixateur-interne-Systems hinsichtlich Lockerungsraten der Pedikelschrauben oder Implantatversagen durch Schrauben- oder Längsträgerbruch wurden bewertet.

## 1.2 Epidemiologie

Rückenschmerzen treten in nahezu allen Schichten der Bevölkerung auf und gehören in Deutschland sowie anderen westlichen Industrienationen seit langem zu den größten Gesundheitsproblemen. So kommen Rückenschmerzen in der erwachsenen Bevölkerung mit einer Jahresprävalenz von mehr als 60% und einer Lebenszeitprävalenz von mehr als 80% vor (Raspe 2001). Bei den Frühberentungen

aufgrund vermindelter Arbeitsfähigkeit lag in Deutschland die Krankheitsgruppe der Dorsopathien im Jahre 2002 hinter den psychischen Krankheiten und Tumorerkrankungen noch vor den Herz-Kreislauf-Krankheiten auf Platz drei. Die durch Rückenschmerzen bedingten direkten (medizinische Behandlungskosten) und indirekten (verlorene Erwerbstätigkeitsjahre) Krankheitskosten erreichten in Deutschland mit Bezug auf das Jahr 1994 einen Anteil von etwa 1% des Bruttosozialproduktes, in Zahlen also ca. 20 Milliarden Euro (Hildebrandt *et al.* 2004).

Zum einen verursachen Rückenschmerzen daher enorme gesamtwirtschaftliche Kosten, zum anderen sind jedoch konservative und operative Therapieansätze oft wenig erfolgreich. Dies liegt unter anderem an der nicht unerheblichen Chronifizierungstendenz, aber auch an gegenwärtig immer noch bestehenden Wissenslücken hinsichtlich der Pathogenese des vielschichtigen Krankheitsbildes.

## 1.3 Anatomie der Wirbelsäule

### 1.3.1 Allgemeines

Angesichts der hohen Inzidenz von Wirbelsäulenerkrankungen verwundert es nicht, dass die Wirbelsäule häufig als eine Fehlentwicklung der Evolution angesehen oder ihr zumindest eine unzureichende Anpassung an die Bedürfnisse des aufrechten Ganges unterstellt wird. Die Anatomie der Wirbelsäule stellt vielmehr einen Kompromiss dar, der so viel Stabilität wie nötig und so viel Mobilität wie möglich erreicht (Putz *et al.* 1996). Außerdem sieht die Evolution eine wesentlich kürzere individuelle Lebensspanne vor.

Die menschliche Wirbelsäule besteht in der Regel aus 24 präsakralen Wirbelkörpern, an die sich das Kreuz- und Steißbein anfügen. Die Halswirbelsäule besteht aus sieben, die Brustwirbelsäule aus zwölf und die Lendenwirbelsäule aus fünf Wirbelkörpern. Die meist fünf Kreuzwirbel sind zum Kreuzbein vereinigt, die drei bis sechs (zumeist vier) Steißwirbel sind zum Steißbein verschmolzen. Abweichungen vom Regelfall zeigen sich am ehesten in der Lendenwirbelsäule. Bei einer Lumbalisation besteht eine unvollständige Verschmelzung des ersten Sakralwirbels mit den übrigen Kreuzbeinwirbeln. Die Lendenwirbelsäule wird in dem Fall als sechsgliedrig definiert. Im umgekehrten Fall verringert sich die Zahl der Lendenwirbel auf vier, wenn es zu einer knöchernen Vereinigung des letzten Lendenwirbels mit dem ersten Kreuzbeinwirbel kommt. Man spricht dann von einer Sakralisation. Beim Erwachsenen zeigt die Wirbelsäule in der Sagittalebene eine doppelte S-Krümmung, bestehend aus einer Halslordose (vom ersten bis sechsten Halswirbel), einer Brustkyphose (vom sechsten Hals- bis neunten Brustwirbel), der Lendenlordose (vom neunten Brust- bis fünften Lendenwirbel) sowie einer Sakralkyphose im Kreuz- und Steißbeinbereich (Frick *et al.* 1992).

### 1.3.2 Skelettelemente der Wirbelsäule und deren Verbindungen

Vereinfacht beschrieben stellt ein Wirbelkörper einen kortikospongiösen Zylinder dar, wobei die Querschnittsfläche der ohnehin mächtigeren Lendenwirbelkörper von kranial nach kaudal zunimmt, was ihre Tragkraft erhöht (Brinckmann *et al.* 1989). Dorsal schließt sich ein Wirbelbogen an, der über die beiden Bogenwurzeln, die so genannten Pedikel, mit dem Wirbelkörper verbunden ist. Wirbelkörper und Wirbelbogen stellen die Begrenzung des Spinalkanals dar. Der Wirbelbogen verfügt über obere und untere Gelenkfortsätze, die *Processus articulares superiores et inferiores*, sowie über den Dornfortsatz, *Processus spinosus*. Vom Wirbelbogen des Brustwirbels entwickelt sich im Unterschied zum Lendenwirbel zu beiden Seiten der Querfortsatz, *Processus transversus*. Der Lendenwirbel weist paarige Rippenfortsätze, die *Processus costales*, auf. Hinter dem *Processus costalis*, der den mit Wirbeln verschmolzenen Rippenanlagen entstammt, liegt ein variabel großer *Processus accessorius*, der gemeinsam mit dem *Processus mamillaris* den rudimentären Rest des Querfortsatzes, *Processus transversus*, darstellt. Die *Processus articulares superiores et inferiores* gehen vom Wirbelbogen etwas versetzt ab, der dazwischen liegende Abschnitt wird als Interartikularportion oder

Isthmus bezeichnet, welcher kaum Spongiosa enthält. Hier kann es zur ein- oder beidseitigen Spaltbildung kommen, die als Spodylolyse bezeichnet wird. Von der typischen Zylinderform eines Wirbelkörpers weicht lediglich der fünfte Lendenwirbelkörper ab, da dessen Endplatten einen nach ventral offenen Winkel von etwa 20° aufweisen, wodurch der lumbosakralen Krümmung Rechnung getragen wird (Putz 2004).

Zwei benachbarte Wirbelkörper stehen durch eine Zwischenwirbelscheibe, den Discus intervertebralis, miteinander in Verbindung. Dieser besteht aus einem derben Anulus fibrosus, der den aus wasserreichen Proteoglykanen zusammengesetzten Nucleus pulposus allseitig umschließt. Die Bandscheiben wirken zum einen als druckelastische Polster und gewährleisten eine möglichst gleichmäßige Spannungsverteilung auf die beteiligten Endplatten, zum anderen bewirkt die gegenläufige Anordnung der Fasern des Anulus fibrosus im Zusammenspiel mit den Wirbelgelenken und unter der Voraussetzung eines adäquaten Bandscheiben-Quellungsdrucks eine sichere Dämpfung der Bewegungsendstellungen (Putz 2004). Der Discus ist bis auf den äußersten Rand gefäßlos und ernährt sich mittels Diffusion über die Wirbelkörperendplatten, welche siebartig durchlöchernten Grenzflächen der Wirbelkörperspongiosa entsprechen.

Neben den genannten Strukturen werden die Wirbelkörper durch verschiedene Ligamente miteinander verbunden. Das Ligamentum longitudinale anterius stellt eine zugfeste Verbindung auf den Wirbelkörpervorderflächen dar. Im Gegensatz dazu ist das Ligamentum longitudinale posterius, welches an den dorsalen Flächen der Wirbelkörper verläuft, nicht mit diesen fest verwachsen, sondern lediglich am Anulus fibrosus der Bandscheiben fixiert. Die Ligamenta flava werden von dicken Bündeln elastischer Fasern gebildet und schließen die interarkualen Räume. Dorsal befinden sich zwischen den Dornfortsätzen die Ligamenta interspinalia sowie schwächere Bandzüge zwischen den Querfortsätzen der Brustwirbel respektive den Processus accessorii der Lendenwirbel, die so genannten Ligamenta intertransversaria. Zu Unrecht wenig beachtet werden die Ligamenta transversa - sie sind kräftige Kapselverstärkungen der lumbalen Wirbelgelenke und sind in der Lage, Rotationsbewegungen einzuschränken.

### **1.3.3 Muskulatur**

Sowohl aktive Bewegungen als auch eine dynamische Stabilisierung der Wirbelsäule sind durch ein umfangreiches System von Rumpfmuskeln realisierbar. Als M. erector spinae wird die Rückenstreckmuskulatur in ihrer Gesamtheit bezeichnet, sie wird von den Rami dorsales der Spinalnerven innerviert und besteht aus mehreren oberflächlichen und tiefen Anteilen. In Höhe der Brust- und Lendenwirbelsäule werden diese Muskeln durch die derbe Fascia thoracolumbalis in einem osteofibrösen Kanal geführt. Als Fascia nuchae wird sie im Halsbereich bezeichnet. Die autochtonen Rückenmuskeln lassen sich in einen medialen und lateralen Trakt unterteilen. Diese Gliederung erfolgt einerseits nach der Lage des einzelnen Muskels, andererseits nach der Aufteilung des dorsalen Spinalnervenastes in einen Ramus medialis und einen Ramus lateralis. Der mediale Trakt der autochtonen Rückenmuskulatur wird vom Ramus medialis, der laterale Trakt vom Ramus lateralis des Ramus dorsalis nervi spinalis versorgt. Letzterer liegt oberflächlich und erstreckt sich vom Becken bis zum Hinterhaupt. Sein Querschnitt nimmt entsprechend seiner

funktionellen Beanspruchung von kranial nach kaudal zu. Er ist maßgeblich am lumbalen Oberflächenrelief beteiligt. Am lateralen Trakt lassen sich ein intertransversales (Mm. intertransversarii et levatores costarum), ein sakrospinales (Mm. iliocostales et longissimi) und ein spinotransversales (M. splenius) System unterscheiden. Der mediale Trakt des M. erector spinae befindet sich in der Tiefe und wird vom lateralen Trakt bedeckt. Den besonders in Höhe der Lenden- und Halswirbelsäule kräftig ausgebildeten medialen Trakt gliedert man in ein spinales (Mm. spinales et interspinales) und ein transversospinales (Mm. rotatores breves et longi und Mm. multifidii et semispinales) System (Tillmann *et al.* 1987). Die wesentliche Aufgabe der kürzeren, tiefer gelegenen Muskeln besteht darin, die Feinpositionierung der Wirbel bei der Belastung abzustimmen (Bogduk *et al.* 1987). Als Flektoren können die Mm. iliopsoas, quadratus lumborum sowie die Bauchdeckenmuskulatur genannt werden. An der Rotation der Wirbelsäule beteiligen sich mehrere Systeme der autochtonen Rückenmuskeln sowie die Muskelschlinge der schrägen Bauchwandmuskeln.

#### 1.3.4 Funktion und Biomechanik

Die menschliche Wirbelsäule ist der wichtigste und größte Anteil des Achsenskeletts und besitzt im Wesentlichen vier Hauptfunktionen: *Stützfunktion, Mobilität, Schutz und Kontrolle* (Pope *et al.* 1997).

Die *Stützfunktion* erfüllt die Wirbelsäule, indem sie - insbesondere seit der Aufrichtung des Menschen - nicht unbeträchtliche axiale Kräfte aufzunehmen vermag. Sie trägt die Masse des Stammes (Kopf, Hals, Rumpf) und der oberen Extremitäten und ist imstande, äußere Kraftereinwirkungen suffizient durch ihren doppelt-S-förmigen Aufbau zu absorbieren.

Die Wirbelsäule zeichnet sich durch eine hohe *Mobilität*, also ein ausgeprägtes Bewegungsausmaß in allen Ebenen aus. Hierfür ist der Aufbau der Wirbelsäule aus funktionellen Einheiten, den sog. Bewegungssegmenten nach Junghanns (Junghanns 1951), verantwortlich. Ein Bewegungssegment setzt sich aus zwei benachbarten Wirbeln, der Zwischenwirbelscheibe, den paarigen Wirbelgelenken und den umgebenden Weichteilen, wie Muskeln, Bändern, Nerven und Gefäßen zusammen. Ein einzelnes Bewegungssegment hat nur ein geringes Bewegungsausmaß, in ihrer Gesamtheit ermöglichen sie jedoch ganz beträchtliche Bewegungen in allen Ebenen.

Die Architektur der Wirbelsäule bietet Rückenmark und Nerven *Schutz* auf ihrem Weg zum Bestimmungsort, was durch den Wirbelkanal und die Foramina intervertebralia gewährleistet ist.

Schließlich übt sie eine *Kontrollfunktion* aus, indem die menschliche Wirbelsäule durch ihre osteoligamentären Strukturen eine Dämpfung von dynamischen Rotationsbewegungen einleitet. Dies geschieht einerseits durch die Ausrichtung der Gelenkflächen der Wirbelgelenke (Facettengelenke), andererseits durch die Anordnung der längs, schräg und quer verlaufenden Ligamente. Form und die nahezu horizontale Stellung der Gelenkflächen begünstigen in der Halswirbelsäule Bewegungen in alle Richtungen, während die beinahe frontal gestellten Gelenkflächen der Brustwirbelsäule eine ausgiebige Ventralflexion erlauben - die Dorsalextension wird durch die Form und Ausrichtung der Dornfortsätze limitiert. Die

Wirbelgelenke der Lendenwirbelsäule sind in der Lage, nach ventral gerichtete Schubkräfte aufzunehmen und sind damit entscheidend an der Begrenzung des Rotationsausmaßes beteiligt; sie erlauben jedoch Flexions-Extensionsbewegungen und eine begrenzte Seitneigung.

Bei der Betrachtung der Wirbelsäule als funktionelle Einheit kommt der Muskulatur eine zuggurtende Funktion zu. Biomechanisch kann die Wirbelsäule in einen vorderen und einen hinteren Abschnitt eingeteilt werden, wobei der vordere Abschnitt aus den Wirbelkörpern und Bandscheiben, der hintere Anteil aus Wirbelbögen mit den Facettengelenken sowie den diese verbindenden Bändern besteht. Da die Achse des Körperschwerpunktes vor der Wirbelsäule liegt, wird der vordere Anteil auf Druck, der hintere auf Zug beansprucht. Bei der intakten Wirbelsäule fungiert die vordere Säule als Distractionssystem, die hintere „Kette“ als Kompressionssystem. Bei einer axial wirkenden Kraft werden die Lasten von der dorsal angreifenden Muskulatur in der Art verändert, dass sich 80% als ventrale Kompressionskraft und 20% als horizontale Schubkraft auf das einzelne Bewegungssegment verteilen (so genanntes „load-sharing“-Prinzip) (Kummer 1991). Die Kraftübertragung in einem Bewegungssegment erfolgt nach dem Prinzip der Dreipunktlagerung und wird gewährleistet durch die Zwischenwirbelscheibe sowie die beiden Wirbelbogengelenke. Die Belastung eines Segmentes erfolgt durch eine Resultierende, die sich aus der Vektorsumme des Teilkörpergewichtes und den Gleichgewicht herstellenden Muskel- und Bandkräften zusammensetzt. Die Resultierende verläuft schräg von dorso-cranial nach ventro-kaudal und erzeugt - wie oben beschrieben - neben einer Kompressionskraft eine nach ventral gerichtete Schubkraft. Durch die Kompressionskraft werden die Wirbelkörper über den Diskus axial auf Druck beansprucht, während die Schubkraft von Zwischenwirbelscheibe und den Wirbelbogengelenken neutralisiert wird (Tillmann 1987). Die biomechanische Betrachtung der Wirbelsäule hat sich bisher in erster Linie auf die Untersuchung der Beanspruchung der knöchernen Strukturen beschränkt. Mit diesen Modellen wird jedoch nur ein Bruchteil der funktionell relevanten Strukturen berücksichtigt und der klinische Nutzen bleibt damit limitiert.

### **1.3.5 Pathogenese der Wirbelsäulendegeneration**

#### **1.3.5.1 Bandscheibendegeneration**

Die Zwischenwirbelscheibe ist die größte avaskuläre Gewebsstruktur im menschlichen Organismus (Urban *et al* 2004). Die Substrate, wie Wasser, Sauerstoff, Glucose und Aminosäuren - um nur einige zu nennen - erhält der Diskus per diffusionem. Die Nährstoffversorgung vollzieht sich zum größeren Teil durch die siebartige Öffnungen enthaltenden Wirbelkörperendplatten, zum anderen von der gut vaskularisierten Anulus-fibrosus-Peripherie aus. Auf demselben Weg entledigt sich die Bandscheibe schädlicher Stoffwechselabbauprodukte, wie z.B. Laktat und Kohlendioxid.

Die interindividuellen Unterschiede hinsichtlich der Diskusdegeneration werden im Wesentlichen durch drei Faktoren beeinflusst: *Nährstoffversorgung der Zwischenwirbelscheibe, genetische Voraussetzungen und biomechanische Einflüsse* (Roughley 2004).

Degenerativ bedingte Sklerosierung der knorpelig überzogenen Wirbelkörperendplatten sowie ein altersabhängiger Umbau des Kollagenfasernetzes stellen eine Diffusionsbehinderung dar. Der dadurch entstehende oxidative Stress und Nährstoffmangel führen zu intradiskalem pH-Abfall mit vorzeitigem Zelltod von Chondrozyten und damit zur Zerstörung der Bandscheibenstruktur durch vermehrte Freisetzung proteolytischer Enzyme (Roughley 2004). Durch dieselben Mechanismen wird die Synthesekapazität und damit die Regenerationsfähigkeit der Bandscheibe herabgesetzt. Histologisch nachweisbare Spalten und Risse bilden sich bereits im frühen Erwachsenenalter (18-30 Jahre) aus (Nerlich *et al.* 2004).

Familiäre Häufung von degenerativen Bandscheibenschäden und klassische Zwillingsstudien führen zu der Annahme eines genetischen Zusammenhanges. Dabei scheint die biochemische Zusammensetzung der Bandscheiben sowie deren enzymatischer Katabolismus durch genetischen Polymorphismus vorbestimmt (Roughley 2004 und Heikkilä *et al.* 1989), was sich in vergleichsweise geringerer Toleranz des Diskus bezüglich mechanischer Beanspruchung äußern kann.

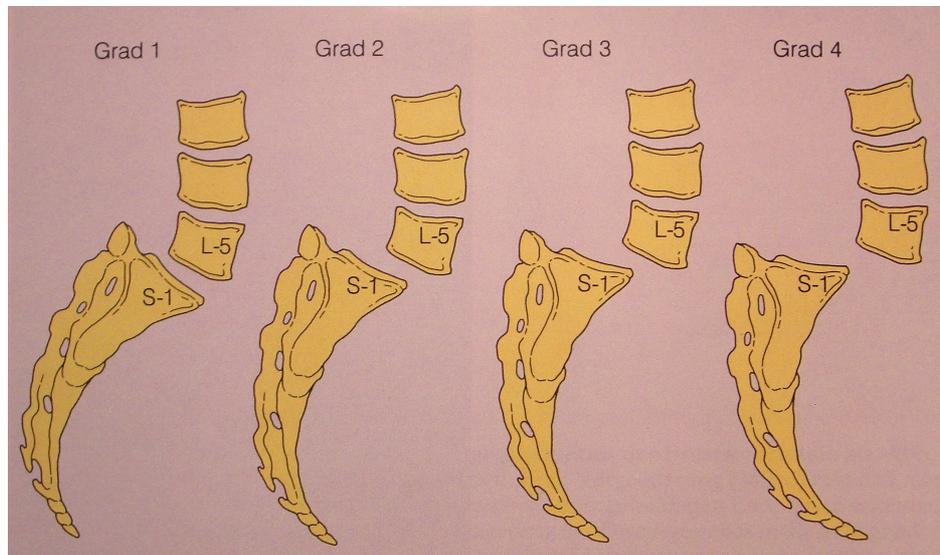
Der biomechanische Aspekt darf jedoch nicht außer Acht gelassen werden. Es hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass sowohl konstante, statisch-komprimierende Belastung als auch die völlige Abwesenheit von Beanspruchung die Diffusionskapazität herabsetzen und die Bandscheibendegeneration fördern. Der Metabolismus der Diskuszelle wird hingegen positiv beeinflusst durch intermittierenden Druck (Roughley 2004).

Letztlich kommt es durch die qualitativen und quantitativen Veränderungen der Extrazellulärmatrix zum progressiven Verlust an Bandscheibenmaterial und zur Abnahme des Quellungsdrucks und damit des Bandscheibenvolumens mit der Folge einer Überbelastung und eines Verschleißes der Facettengelenke mit deren Funktionsverlust. Besteht eine Diskusdegeneration mit Höhenminderung des Intervertebralraumes mit radiologisch fassbarer Reizsklerose der benachbarten Grund- und Deckplatte, so spricht man von einer Osteochondrose.

#### 1.3.5.2 Degenerative Spondylolisthesis

Im Verlauf der Bandscheibendegeneration kommt es zu einer Höhenminderung des Intervertebralraumes mit sekundären Degenerationen an den Facettengelenken und Ligamenten durch die Lastverschiebungen zu Ungunsten des hinteren Wirbelsäulenabschnittes. Bei einem Verschleiß der die Schubkraft neutralisierenden Strukturen resultiert eine Gefügelockerung im betreffenden Bewegungssegment mit einem progredienten Gleiten des gesamten Wirbels auf dem darunter liegenden nach vorne (Fritsch 2003). Eine auffällig sagittale Orientierung der Wirbelgelenke des betreffenden Bewegungssegmentes wird in diesen Fällen oft gefunden (Benini 1997). Die daraus resultierende Ventralisation der Schwerkraftlinie mit Verlängerung des Hebelarmes verstärkt die Scherkräfte noch weiter. Ergebnis ist eine so genannte degenerative Spondylolisthesis (Newman und Stone 1963) bzw. Pseudospondylolisthesis (Junghanns 1930). Die degenerative Spondylolisthese betrifft meist das Segment LWK<sub>4/5</sub>, dann folgen die nächsthöheren. Eine Frontalstellung der Gelenkflächen LWK<sub>5</sub>/SWK<sub>1</sub>, kräftige Querfortsätze LWK<sub>5</sub> und starke iliolumbale Ligamente verhindern ein rein degeneratives Abgleiten des LWK<sub>5</sub> (Schulitz 2004). Eine Röntgenseitenaufnahme im Stehen ist Grundlage für die Diagnose und erlaubt die Bestimmung des Gleitgrades nach Meyerding (Meyerding 1932) in vier Schweregrade, wobei die Position der Hinterkante des Gleitwirbels auf

der Deckplatte des darunterliegenden Wirbels bestimmt wird (siehe Abbildung 1). Die überwiegende Anzahl der Patienten mit Pseudospondylolisthesis beklagt ausschließlich Kreuzschmerzen, die auf eine Arthrose der Wirbelgelenke zurückzuführen ist. Ein Fortschreiten der Erkrankung führt zur Spinal- und/oder Neuroforaminalstenose mit dann evidenter Claudicatio-spinalis-Symptomatik bzw.



**Abbildung 1: Einteilung der Spondylolisthesis nach Meyerding (Bullough 1994)**

Ischialgie (Wittenberg *et al.* 1998).

### 1.3.5.3 Degenerative lumbale Spinalstenose

Die Spinalkanalstenose ist ein Sammelbegriff für morphologisch unterschiedliche Krankheiten. Ihre Gemeinsamkeit ist die Cauda-equina-Überfüllung oder Einklemmung einer Nervenwurzel in einem zu engen Spinal- oder Nervenwurzelkanal. Die Pathogenese des Beschwerdebildes ist bis heute nicht vollständig geklärt (Schulitz 2004). Die erworbene lumbale Wirbelkanalstenose wird als eine Formveränderung des Wirbelkanals als Folge der Verschleißkrankheit der Lendenwirbelsäule betrachtet. Der Degenerationsprozess beginnt für gewöhnlich im Bandscheibenbereich (Benini 1997). Mit der Höhenminderung des Intervertebralraumes tritt durch eine Retroposition des kranialen Wirbels eine Subluxation in den Facettengelenken auf, die zu einer Dehnung der Gelenkkapsel und der angrenzenden ligamentären Strukturen durch Scherbewegungen führt. Die Fehlbelastung der instabilen Gelenke führt zu ihrer Arthrose mit hypertrophischen Veränderungen - so können knöcherne Appositionen und Ligamenthypertrophien den lateralen Recessus, das Neuroforamen oder den Spinalkanal einengen (Benini 1997). Eine gleichzeitig vorliegende Osteochondrose mit dorsalen Spondylophyten oder Diskusprotrusionen sind in der Lage, eine erhebliche Befundzunahme zu bewirken. Es lassen sich zentrale von lateralen und foraminalen Stenosen unterscheiden, ebenso die rein degenerativen, stabilen Stenosen von solchen instabiler Genese. Nicht degenerativ verursachte Spinalkanaleinengungen sind die primäre, anlagebedingte Stenose, die posttraumatische sowie die durch systemische Knochenerkrankungen (z.B. Paget-Krankheit, Fluorose) bedingte Spinalstenose. Die Beschwerdesymptomatik reicht von unspezifischen Rückenschmerzen bis zur ein- oder beidseitigen radikulären, oft auch pseudoradikulären Beinsymptomatik mit

eingeschränkter Gehstrecke, Gangunsicherheiten sowie einem Schweregefühl mit subjektivem Kraftverlust. Die Diagnose einer klinisch relevanten lumbalen Spinalstenose wird größtenteils durch die spezifischen Symptome gestellt und durch bildgebende Verfahren lediglich verifiziert (Schulitz 2004).

#### 1.3.5.4 Degenerative Lumbalskoliose

Eine degenerativ bedingte Skoliose ist eine fixierte, ein- oder mehrbogige Seitverbiegung der thorako-lumbalen Wirbelsäule des älteren Menschen auf dem Boden fortgeschrittener, verschleißbedingter und mehrsegmentaler Veränderungen. Kennzeichnend sind meist mehrsegmentale Osteochondrosen, deutliche Facettengelenksdegenerationen sowie Rotationsfehlstellungen mit Wirbeldrehgleiten als Ausdruck einer dekompensierenden mechanischen Insuffizienz (Hanley *et al.* 1997). Die Folge ist eine Verschiebung auf allen Ebenen mit Wirbelkörperkipfung, seitlicher Translation, Rotation und Abrutschen eines Wirbels nach vorn (Schulitz 2004). Die angegebene Symptomatik ist häufig unspezifisch und reicht von Kreuzschmerz über pseudoradikuläre Schmerzen bis hin zu neurologischen Ausfallserscheinungen.

#### 1.3.5.5 Failed-Back-Surgery-Syndrome

Der aus dem angloamerikanischen Sprachraum stammende Ausdruck Failed-Back-Surgery-Syndrome (FBSS) bezeichnet einen trotz oder gerade wegen ein- oder mehrfacher Voroperationen an der Wirbelsäule (Nukleotomie, Laminektomie, Spondylodese) persistierenden lokalen oder ausstrahlenden, therapieresistenten Schmerzzustand unterschiedlicher Ätiologie. Der im deutschsprachigen Raum verwendeten Ausdruck Postnukleotomiesyndrom (PNS) wird gelegentlich synonym verwendet, wird aber dem weiter gefasstem FBSS nicht gerecht, bezieht das PNS sich doch lediglich auf Schmerzzustände nach erfolgter Nukleotomie. In sofern stellt das Postnukleotomiesyndrom einen Teilaspekt des Failed-Back-Surgery-Syndroms dar. Zudem ist der Terminus Postnukleotomiesyndrom irreführend, da nicht die Nukleotomie per se als Auslöser für die Beschwerden herangezogen werden kann, sondern die weiter voranschreitende Degeneration der Bandscheibe. Auch spielen weitere Faktoren wie intra- und postoperative Blutungen aus dem Plexus venosus vertebralis oder die Ausbildung von epiduralem Narbengewebe eine mitentscheidende Rolle. In zahlreichen Fällen kann ein direkter Zusammenhang zwischen geschilderter Beschwerdesymptomatik und den Ergebnissen der klinisch-radiologischen Untersuchung nicht sicher hergestellt werden. Die Häufigkeit des PNS wird mit 10-30%, die Reinterventionsrate nach Nukleotomien mit 5-18% angegeben (Fritsch *et al* 1996). Die wesentlichen Ursachen eines FBSS nach La Rocca (1990) und Fritsch (1996) sind im Folgenden aufgelistet:

- **Allgemeine Ursachen**
  - Falsche Operationsindikation
  - Komplikationen bei/nach der Operation
  - Fehler bei der Operation
- **Nach Spondylodesen**
  - Materialermüdung
  - Pseudarthrose
  - Dekompensation des Nachbarsegmentes
  - Schmerzen an Knochenentnahmestelle
- **Nach Nukleotomien**
  - Re prolaps
  - Übersehener Nukleusprolaps
  - Epidurale Fibrose
  - Instabilität des operierten Segmentes
- **Chronifiziertes Schmerzsyndrom**

La Rocca sieht die Hauptursachen für ein Failed-Back-Surgery-Syndrom in einer inadäquaten Auswahl der Patienten, des Operationsverfahrens oder in technischen Fehlern bei der Operation (La Rocca 1990).

Fritsch beobachtete eine deutlich erhöhte Revisionsrate und schlechtere Langzeitergebnisse nach gleichzeitig durchgeführten dekomprimierenden Eingriffen, insbesondere Laminektomien aufgrund der höheren Inzidenz von sekundären Instabilitäten (Fritsch *et al* 1996).

Auch scheint eine langfristige Schmerzanamnese mit schlechteren Ergebnissen primärer Nukleotomien einherzugehen (Kaiser 1990).

Weitgehend einig ist man sich in der Tatsache, dass die Erfolgsrate der Revisionstherapie mit steigender Anzahl an Voroperationen abnimmt (Fritsch *et al* 1996, Waddle *et al* 1979, Ivanic *et al* 2001). Statistisch gesehen liegt ein erfolgreiches Resultat einer ersten Revisionsoperation bei lediglich 50%, bei einer dritten Operation ist eher mit einer Verschlechterung zum präoperativen Ausgangsbefund zu rechnen (Waddel *et al* 1979).

Für einen differenzierten Umgang mit diesen Patienten ist eine exakte orthopädische und psychologische Evaluation unerlässlich, stellt die Behandlung des Failed-Back-Surgery-Syndroms doch eine große Herausforderung dar. Die Therapie ist nicht in jedem Fall operativ. Insbesondere Patienten mit persistierenden bzw. wiederkehrenden Beschwerden nicht mechanischer Ursache (Arachnoiditis, epidurale Fibrose) bedürfen einer gezielten, multidisziplinären Schmerztherapie (Richter *et al* 2004).

## 1.4 Instrumentelle Wirbelsäulenstabilisierung

### 1.4.1 Geschichtlicher Rückblick

Die ältesten Aufzeichnungen traumatische Wirbelsäulenläsionen und ihre Symptome betreffend sind 4500 Jahre alt und auf Papyrus festgehalten. Hippokrates brachte um 400 vor Christus Verletzungen der Wirbelsäule mit peripheren Lähmungserscheinungen in Verbindung (Sonntag 1996).

Die Geschichte der instrumentierten Fusionsoperationen an der Wirbelsäule beginnt im späten 19. Jahrhundert. Hauptindikationen für die meist kurzstreckigen Fusionen waren die damals noch weiter verbreitete Pott'sche Erkrankung (tuberkulöse Spondylodiszitis), weiters die Spondylolisthesis und Frakturen der Wirbelsäule. Berthold Ernest Hadra beschrieb 1889 als erster eine Wirbelfusion durch Silberdrahtumwicklungen der Dornfortsätze in dem Bemühen, die progressive Wirbelsäulendeformierung im Rahmen der tuberkulösen Spondylitis aufzuhalten. Fritz Lange setzte 1910 bei Patienten mit Spondylitis Längsträger aus Stahl sowie Zelluloidzylinder zur Stabilisierung ein. Unabhängig voneinander publizierten 1911 Fred Albee und Russel Hibbs die Darstellung einer erfolgreichen Fusion durch Anlagerung autologen Knochenmaterials. Samuel Kleinberg hingegen verwendete 1922 Xenografts für Fusionsoperationen. Durch lokale Denudierung der Kortikalis und Anlagerung des so gewonnenen Knochenmehls an benachbarte Laminae konnte MacKenzie-Forbes 1920 die Fusionsrate der Spondylodesen erhöhen. In dem Bestreben, die Fusionsergebnisse weiter zu optimieren, kam zunehmend die interne Fixierung zur Anwendung, zunächst durch Charles Venable und Walter Stuck 1939 mit Trägern aus Vitalliumlegierung, schließlich mit Hilfe von rostfreien Stahl-implantaten. Es war King, der 1944 die Facettengelenksverschraubung zur Versteifung eines oder mehrerer Wirbelsäulensegmente einführte. Cloward führte 1940 erstmals eine uninstrumentierte posterolaterale interkorporelle Fusion (PLIF) bei Osteochondrose durch und wandte dieses therapeutische Verfahren seit 1943 öfters an. In der Folgezeit wurden zahlreiche Variationen die Operationstechnik und vor allem die Form und Größe des Autografts betreffend publiziert (Sonntag 1996). Einen Aufschwung erfuhr die instrumentelle Wirbelsäulenchirurgie - insbesondere die moderne Skoliosetherapie - in den 1960er Jahren durch das Implantatsystem von Paul Harrington, was zu einer ansteigenden Zahl langstreckiger Fusionen führte. Harrington benutzte Längsträger, die er auf beiden Seiten der Dornfortsatzlinie durch unter die Laminae eingehängte Haken befestigte. Der steigende Bedarf an kurzstreckigen Wirbelsäulenfusionen in der Traumatologie (Carl *et al.* 1992) und in der Orthopädie brachte Mitte der 1980er Jahre eine Renaissance für das Verfahren der Pedikelverschraubung, welche durch Arbeiten von Roy-Camille, Louis, Steffee, Dick und anderen eine rasche Verbreitung fand (Haaker 2004). Zahlreiche Fixateur-Implantate basierend auf unterschiedlichen Gewindestangen-, Metalldraht- oder Plattensystemen wurden seitdem etabliert.

### **1.4.2 Pedikelschraubeninstrumentierung**

Die dorsale Fixierung erfolgt in Allgemeinanästhesie. In Bauchlage werden über den Dornfortsätzen Kutis, Subkutis und die Fascia thoracolumbalis längs durchtrennt. Die Hautinzision sollte bei Fusionsoperationen ein bis zwei Segmente länger als die geplante Fusionsstrecke gewählt werden. Anschließend wird die paravertebrale Muskulatur beidseits von den Laminae gelöst und bis zum lateralen Rand der Facettengelenke abgeschoben. Unter Bildwandlerkontrolle erfolgt nun das transpedikuläre Einschlagen eines Pfriems, bis zum Erreichen der ventralen Wirbelkörperkortikalis. Der Pfriem wird dann durch die 5 mm-Pedikelschraube ersetzt, wobei ein Gewindeschneiden nicht erforderlich ist (Bauer *et al.* 1991). Unter fluoroskopischer Kontrolle werden schließlich Schanz-Schrauben in alle Pedikel der zu versteifenden Segmente eingebracht. Zur Lagekontrolle erfolgt fakultativ eine elektrische Stimulation über die liegenden Pedikelschrauben (Pröbstl 1995). Auf jede Schraube wird eine Klemmbacke aufgesetzt, welche die Schanz-Schraube mit dem individuell vorgebogenen Längsträger verbindet. Die distale Klemmbacke wird festgestellt, so dass über eine Spreizzange die gewünschte Distraction respektive Kompression herbeigeführt werden kann. Nach Fixierung sämtlicher Klemmbacken und radiologischer Lagekontrolle werden die Pedikelschrauben mit einer Scherzange über den Klemmbacken gekürzt. Abschließend erfolgen die Einlage zweier subfaszialer Redondrainagen sowie der schichtweise Wundverschluss.

### **1.4.3 Dorsolaterale Spondylodese**

Bei der dorsolateralen Spondylodese werden nach der Implantation des Fixateur interne die knorpeligen Gelenkflächen der Facettengelenke beidseits reseziert und die Kortikalis der Gelenkfortsätze angefrischt. Aus dem hinteren Beckenkamm gewonnene, autologe Spongiosa wird an die Gelenkfortsätze angelagert. Es erfolgt die Einlage eines Hämostyptikums in das Spongiosa-Entnahmebett mit anschließendem schichtweisen Wundverschluss. Ein separater Operationszugang ist für die Gewinnung autologer Spongiosa nicht erforderlich. Vom vorhandenen medianen Hautschnitt aus wird subkutan die Fascia thoracolumbalis nach beiden Seiten freigelegt und im äußeren Drittel längs gespalten (Bauer *et al.* 1991).

### **1.4.4 Ventrale Spondylodese**

Zur Vergrößerung der Distanz zwischen Rippenbogen und Darmbeinkamm erfolgt bei der ventralen Spondylodese der Zugang in linksaufgeklappter Rechtsseitenlagerung. Nach Durchtrennung von Kutis und Subkutis wird der linke vordere Beckenkamm deperiostiert; hierzu müssen Teile des M. iliopsoas sowie der Glutaealmuskulatur am oberen Beckenkammrand scharf, im weiteren Verlauf subperiostal abgelöst werden. Nun wird mit einem Meißel ein trikortikaler Beckenkammspan entnommen, wobei ein Abstand von 2 bis 3 cm zur Spina iliaca anterior superior einzuhalten ist, um den gemeinsamen Ursprung der Mm. tensor fasciae latae et sartorius nicht zu gefährden. Die zu entnehmende Länge des Beckenkammspans wird durch die Anzahl der zu fusionierenden Segmente bestimmt. Nach Einlage einer Redondrainage sowie eines Hämostyptikums wird das

Periost wieder vernäht. Der Zugang zur Lendenwirbelsäule erfolgt über die Eröffnung der Bauchdecke. Dazu sind über einen Wechselschnitt die Mm. obliquus abdominis externus, internus und transversus jeweils in Faserrichtung zu durchtrennen. Das Peritoneum muss stumpf nach ventral abgeschoben werden, anschließend präpariert man vor dem M. iliopsoas und lateral der Iliacalgefäße auf die Wirbelsäule zu. Die Höhenlokalisation ist obligat und wird mittels Nadel und Röntgendurchleuchtung durchgeführt. Bei der Präparation des Spanlagers ist darauf zu achten, dass unter Schonung des hinteren und vorderen Längsbandes die betreffende Bandscheibe komplett ausgeräumt und die Wirbelkörperabschlussplatten vollständig entknorpelt und angefrischt werden, um eine sichere Spanintegration zu gewährleisten. Durch Erhalt der Längsbänder entsteht ein zuggurtender Effekt gegenüber dem Fixateur interne. Dies erhöht die Stabilität und erleichtert bedarfweise die Reposition. In die präparierten Intervertebralaräume werden je zwei vorher zugeschnittene trikortikale Knochenspäne aufrecht stehend eingeschlagen. Nach Einlage einer tiefen, retroperitonealen Redondrainage erfolgt schichtweiser Wundverschluss (Bauer *et al.* 1991).

#### **1.4.5 Pedikelschraubennavigation**

Aufgrund der Tatsache, dass ein Teil des Patientenkollektives einem stabilisierenden Wirbelsäuleneingriff mittels fluoroskopisch assistierter Pedikelschraubennavigation (*Navitrack, Zimmer GmbH*) unterzogen wurde, wird an dieser Stelle auf navigationsspezifische Aspekte in der fixierenden Wirbelsäulen Chirurgie näher eingegangen.

Ziel einer Pedikelschraubennavigation ist die Minimierung von Schraubenfehlagen, die insbesondere unter erschwerten anatomischen Bedingungen gehäuft auftreten können (Nolte *et al.* 2003), sowie die Reduktion der Strahlenbelastung für Patient und Personal.

Hinsichtlich der allgemeinen Operationsvorbereitung bestehen zwischen navigiertem und konventionellem Operationsverfahren keine prinzipiellen Unterschiede. Die Hauptkomponenten des von uns verwendeten Navigationssystems sind die Computereinheit mit Monitor sowie das CCD-Kamerasystem, welches für die optoelektrische Navigation Infrarotlicht aussendende aktive Elemente, so genannte LEDs, besitzt. Kamera, Rechereinheit und C-Bogen (im vorliegenden Fall das *SIREMOBIL-Iso-C*) sind untereinander verkabelt.

Nach dorsalem Medianschnitt über der Lendenwirbelsäule und Ablösung der Paravertebralmuskulatur wird die sog. dynamische Referenzierungsbasis (DRB), d.h. eine mit drei Infrarotlicht reflektierenden, sphärischen Markern bestückte, starre Klemme am Dornfortsatz fest angebracht. Diese notwendige Referenzierung integriert den Patienten gleichsam in den Koordinatenraum des Navigationssystems. Ebenso ist ein Universalgriff mit oben genannten, speziell beschichteten, Infrarotlicht reflektierenden Kugeln versehen, wodurch Pfriem und Pedikelschraube im dreidimensionalen Raum vom System in Echtzeit erkannt werden können. Zusätzlich ist die Bildverstärkereinheit des C-Bogens mit Markern ausgestattet, so dass ihre räumliche Lage zum Zeitpunkt der Durchleuchtung bekannt ist. Bei der anschließenden Verifizierung werden mit einem vom Trackingsystem verfolgten Instrument weitere Punkte in der zugänglichen knöchernen Anatomie abgetastet. Die

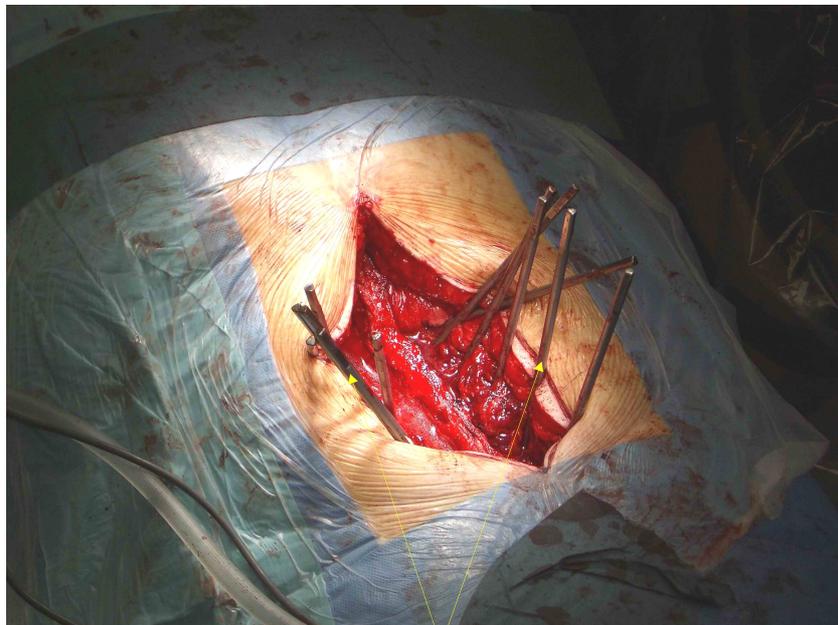




Dynamische  
Referenzierungsbasis  
mit drei Markern

ungekürzte  
Pedikelschrauben

**Abbildung 3: Dynam. Referenzierungsbasis (DRB) in situ**



ungekürzte  
Pedikelschrauben  
LWK, bis S<sub>1</sub>

**Abbildung 4: Operationssitus nach Pedikelschraubennavigation**

## 2 Material und Methodik

### 2.1 Patientenkollektiv

Zwischen Juni 1998 und Mai 2004 wurden 108 Patienten mit mehrsegmentaler degenerativer Wirbelsäulenerkrankung in der I. Orthopädischen Klinik der Hessing-Stiftung mit einem neu entwickelten Fixateur interne über mindestens drei Segmente operativ stabilisiert. Davon wurden insgesamt 105 Patienten (47 Männer und 58 Frauen) mit einem Durchschnittsalter zum Operationszeitpunkt von 54,1 Jahren (von 28 bis 82 Jahren) in die prospektive Studie eingeschlossen. Drei Patienten (2,8%) standen dem Follow-up aus Compliance-Gründen nicht zur Verfügung. Der Nachuntersuchungszeitraum beträgt im Durchschnitt 30,2 Monate (6 bis 74 Monate).

### 2.2 Studiendesign und Untersuchungsmethoden

#### 2.2.1 Fragebogen

Im Patientenfragebogen wurden subjektive Parameter präoperativ sowie zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung mindestens sechs Monate postoperativ festgehalten. Dazu wurden den Patienten zur eigenständigen Bearbeitung vorgesehene Fragebögen vorgelegt. Es wurden auf diese Weise die subjektive Bewertung des Operationsergebnisses, die prä- und postoperative Schmerzintensität nach der Visuellen Analogskala (VAS) mit Werten von 0 (keine Schmerzen) bis 10 (maximal vorstellbarer Schmerz) sowie der „Oswestry Low Back Pain Disability Questionnaire“ (ODQ) in deutschsprachiger Version ermittelt (Fairbank *et al.* 1980). Der Fragebogen bewertet die subjektiven, funktionellen Beeinträchtigungen der Patienten bei alltäglichen Aktivitäten (Fritz *et al.* 1998). Der ODQ besteht aus zehn Kategorien, welche unterschiedliche Aspekte des alltäglichen Lebens des Patienten repräsentieren. Jede der zehn Fragen besteht aus sechs Antwortmöglichkeiten, die in Abhängigkeit von der empfundenen Einschränkung mit einem Punktwert von 0 bis 5 veranschlagt wird (siehe ). Durch Division der erzielten Punkte eines Patienten mit der maximal erreichbaren Punktezahl sowie anschließender Multiplikation des Zwischenergebnisses mit dem Faktor 100 wurde der „Disability Index“ (DI) ermittelt, der als Prozentwert die Beeinträchtigung aus der Sicht des Patienten beschreibt (siehe *Formel 2*). Der Höchstwert beträgt 100 Prozentpunkte und entspricht einem maximal hohen Grad der Einschränkung, der Minimalwert beträgt 0. Zusätzlich wird in diesem Zusammenhang die relative Änderung des DI ( $\Delta DI$ ) errechnet (siehe *Formel 1*), indem der Quotient aus der Differenz von prä- und postoperativem DI-Wert und dem präoperativen DI-Wert gebildet und das Zwischenergebnis mit 100 multipliziert wird (Little *et al.* 1994). Mit diesem Werkzeug lassen sich niedrige Werte im ODQ mit hohen besser vergleichen, was eine hohe Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zur Folge hat. Bei unvollständigen Angaben im ODQ wird der Disability Index gemäß der *Formel 3* berechnet.

$$\Delta DI = \frac{DI_{prä} - DI_{post}}{DI_{prä}} \times 100\%$$

**Formel 1: Berechnung der relativen Änderung des „Disability Index“**

$$DI = \frac{ePP}{P_{\max(50)}} \times 100\%$$

**Formel 2: Berechnung des „Disability Index“ bei vollständigen Angaben**

$$DI = \frac{ePP}{P_{\max(50)} - 5 \times k} \times 100\%$$

**Formel 3: Berechnung des „Disability Index“ bei unvollständigen Angaben**

ePP	erreichte Punkte eines Patienten
$P_{\max(50)}$	maximal erreichbare Punktezahl
k	Anzahl unbewerteter Kategorien

Beispielrechnung zu Formel 3 bei einer unbeantworteten Kategorie und 20 erreichten Punkten:

$$DI = \frac{ePP}{P_{\max(50)} - 5 \times k} \times 100\% = \frac{20}{50 - 5 \times 1} \times 100\% = 44,4\%$$

### Oswestry-Low-Back-Pain-Disability Questionnaire nach Fairbank:

<b>Schmerzintensität</b>	P.
<input type="checkbox"/> Ich kann den Schmerz ohne Schmerzmittel gut tolerieren	0
<input type="checkbox"/> Der Schmerz ist unangenehm, aber ich benutze keine Schmerzmittel	1
<input type="checkbox"/> Schmerzmittel bewirken völlige Schmerzfreiheit	2
<input type="checkbox"/> Schmerzmittel bewirken mäßige Schmerzreduktion	3
<input type="checkbox"/> Schmerzmittel bewirken nur geringe Schmerzreduktion	4
<input type="checkbox"/> Schmerzmittel haben keinen schmerzlindernden Effekt	5
<b>Persönliche Pflege (Waschen, Anziehen, etc.)</b>	P.
<input type="checkbox"/> Ich kann mich ohne zusätzliche Schmerzen selbst versorgen	0
<input type="checkbox"/> Ich kann mich selbst versorgen, aber es verursacht zusätzliche Schmerzen	1
<input type="checkbox"/> Ich muss mich langsam und vorsichtig selbst versorgen, weil ich Schmerzen bekomme	2
<input type="checkbox"/> Ich benötige Hilfe, versorge mich aber überwiegend selbst	3
<input type="checkbox"/> Ich bin täglich für den Großteil meiner Versorgung auf Hilfe angewiesen	4
<input type="checkbox"/> Ich ziehe mich nicht an, kann mich kaum waschen und bleibe im Bett	5
<b>Heben</b>	P.
<input type="checkbox"/> Ich kann schwere Gewichte ohne zusätzliche Schmerzen heben	0
<input type="checkbox"/> Ich kann schwere Gewichte unter zusätzlichem Schmerz anheben	1
<input type="checkbox"/> Schmerzen halten mich davon ab, schwere Gewichte zu heben, aber ich bin dazu in der Lage, wenn ich mich nicht tief bücken muss	2
<input type="checkbox"/> Schmerzen halten mich davon ab, schwere Gewichte zu heben, aber ich in der Lage, leichte bis mittelschwere Gewichte zu heben, wenn ich mich nicht tief bücken muss	3
<input type="checkbox"/> Ich kann lediglich sehr leichte Gewichte heben	4
<input type="checkbox"/> Ich kann überhaupt nichts heben oder tragen	5
<b>Gehen</b>	P.
<input type="checkbox"/> Schmerzen halten mich nicht davon ab, beliebige Distanzen zu Fuß zurückzulegen	0
<input type="checkbox"/> Schmerzen halten mich davon ab, mehr als 1,5 km zu Fuß zurückzulegen	1
<input type="checkbox"/> Schmerzen halten mich davon ab, mehr als 800 m zu Fuß zurückzulegen	2
<input type="checkbox"/> Schmerzen halten mich davon ab, mehr als 400 m zu Fuß zurückzulegen	3
<input type="checkbox"/> Ich kann nur mit Gehhilfen (Stock, Gehstützen) gehen	4
<input type="checkbox"/> Ich bin die meiste Zeit im Bett und muss zur Toilette krabbeln	5
<b>Sitzen</b>	P.
<input type="checkbox"/> Ich kann beliebig lange auf jedem Stuhl sitzen	0
<input type="checkbox"/> Ich kann beliebig lange, jedoch nur auf bestimmten Stühlen sitzen	1
<input type="checkbox"/> Schmerzen halten mich davon ab, länger als eine Stunde zu sitzen	2
<input type="checkbox"/> Schmerzen halten mich davon ab, länger als eine halbe Stunde zu sitzen	3
<input type="checkbox"/> Schmerzen halten mich davon ab, länger als zehn Minuten zu sitzen	4
<input type="checkbox"/> Schmerzen halten mich grundsätzlich vom Sitzen ab	5
<b>Stehen</b>	P.
<input type="checkbox"/> Ich kann beliebig lange Stehen, ohne zusätzliche Schmerzen zu bekommen	0
<input type="checkbox"/> Ich kann beliebig lange Stehen, aber es verursacht zusätzliche Schmerzen	1
<input type="checkbox"/> Schmerzen halten mich davon ab, länger als eine Stunde zu stehen	2
<input type="checkbox"/> Schmerzen halten mich davon ab, länger als eine halbe Stunde zu stehen	3
<input type="checkbox"/> Schmerzen halten mich davon ab, länger als zehn Minuten zu stehen	4
<input type="checkbox"/> Schmerzen halten mich davon ab, überhaupt zu stehen	5

<b>Schlafen</b>	P.
<input type="checkbox"/> Schmerzen halten mich nicht vom Schlafen ab	0
<input type="checkbox"/> Ich kann nur schlafen, wenn ich Medikamente eingenommen habe	1
<input type="checkbox"/> Ich schlafe weniger als sechs Stunden, obwohl ich Medikamente eingenommen habe	2
<input type="checkbox"/> Ich schlafe weniger als vier Stunden, obwohl ich Medikamente eingenommen habe	3
<input type="checkbox"/> Ich schlafe weniger als zwei Stunden, obwohl ich Medikamente eingenommen habe	4
<input type="checkbox"/> Schmerzen halten mich grundsätzlich vom Schlafen ab	5
<b>Sexualleben</b>	P.
<input type="checkbox"/> Mein Sexualleben ist normal und verursacht keine zusätzlichen Schmerzen	0
<input type="checkbox"/> Mein Sexualleben ist normal, verursacht aber leichte Schmerzen	1
<input type="checkbox"/> Mein Sexualleben ist beinahe normal, verursacht aber starke Schmerzen	2
<input type="checkbox"/> Mein Sexualleben wird durch Schmerzen erheblich eingeschränkt	3
<input type="checkbox"/> Ich habe aufgrund der Schmerzen beinahe kein Sexualleben mehr	4
<input type="checkbox"/> Die Schmerzen verhindern jegliche sexuelle Aktivität	5
<b>Sozialleben</b>	P.
<input type="checkbox"/> Mein Sozialleben ist normal und verursacht keine zusätzlichen Schmerzen	0
<input type="checkbox"/> Mein Sozialleben ist normal, aber es erhöht den Schmerzgrad	1
<input type="checkbox"/> Die Schmerzen haben keinen wesentlichen Einfluss auf mein Sozialleben abgesehen von der Einschränkung körperlicher Aktivitäten, wie Tanzen etc.	2
<input type="checkbox"/> Die Schmerzen schränken mein Sozialleben ein, und ich gehe seltener aus	3
<input type="checkbox"/> Die Schmerzen schränken mein Sozialleben auf zu Hause ein	4
<input type="checkbox"/> Aufgrund der Schmerzen habe ich kein Sozialleben mehr	5
<b>Reisen</b>	P.
<input type="checkbox"/> Ich kann überallhin reisen, ohne zusätzliche Schmerzen zu bekommen	0
<input type="checkbox"/> Ich kann überallhin reisen, aber es verursacht zusätzliche Schmerzen	1
<input type="checkbox"/> Die Schmerzen sind unangenehm, aber ich kann Reisen über zwei Stunden unternehmen	2
<input type="checkbox"/> Die Schmerzen beschränken mich auf Reisen unter einer Stunde Länge	3
<input type="checkbox"/> Die Schmerzen beschränken mich auf notwendige Reisen unter 30 Minuten Länge	4
<input type="checkbox"/> Die Schmerzen halten mich von Reisen außer zum Arzt oder Krankenhaus ab	5

**Abbildung 5: Oswestry Low Back Pain Disability Questionnaire (modifiziert nach Fairbank et al. 1980)**

## 2.2.2 Klinische Untersuchung

Die Patienten wurden präoperativ sowie nach Abschluss der stationären Behandlung in zunächst sechswöchigen Abständen untersucht. Das Auftreten von peripheren sensomotorischen Ausfällen wurde ebenso dokumentiert, wie der Reflex- und Kraftstatus der unteren Extremitäten. Es wurde auf das Vorhandensein von bestehender oder neu aufgetretener radikulärer respektive pseudoradikulärer Schmerzausstrahlung in Rumpf und Extremitäten geachtet. In die Studiauswertung fließen jedoch nur diejenigen Patienten ein, die mindestens sechs Monate nach erfolgter Spondylodese beurteilt wurden.

### **2.2.3 Radiologische Auswertung**

Im Rahmen der ambulanten Nachuntersuchungen wurden Nativröntgenaufnahmen der operierten Region in jeweils zwei Ebenen a.p. und seitlich angefertigt. Bei entsprechender Fragestellung haben wir ergänzend Spezialaufnahmen, wie z.B. konventionelle Schichtaufnahmen oder Funktionsaufnahmen erstellt. Dies gilt insbesondere für die Fälle, bei denen die knöcherne Konsolidierung der Spondylodese fraglich war.

Die Auswertung wurde in Hinblick auf die Lage der eingebrachten Pedikelschrauben, das Vorhandensein von Lockerungs- oder Entzündungszeichen, den Disktraktionserhalt und Durchbau der Spondylodese, die Form und Lage der eingebrachten autologen Beckenkammspäne sowie die Unversehrtheit des implantierten Fixateur interne durchgeführt. Sind im postoperativen Verlauf radikuläre Symptome neu dokumentiert, haben wir eine Myelographie zum Ausschluss bzw. Nachweis einer Nervenwurzelkompression in die Wege geleitet oder eine Computertomographie zur exakten Ermittlung der Pedikelschraubenlage anfertigen lassen.

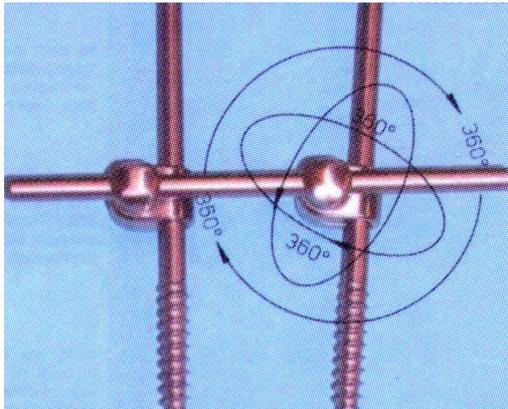
Die Spondylodese gilt im betrachteten Segment als vollständig konsolidiert, wenn eine durchgehende knöcherne Brücke zwischen zwei Wirbelkörpern nachgewiesen werden kann. Ein knöcherner Durchbau wurde angezweifelt bei suboptimaler radiologischer Darstellung und nicht durchgehend nachweisbarer knöcherner Überbrückung. Eine Pseudarthrose liegt bei deutlicher Spaltbildung oder einer Auflösung der trikortikalen Knochenspäne vor.

### **2.2.4 Statistische Auswertung**

Die statistische Auswertung in der vorliegenden Arbeit erfolgte mit Hilfe der statistischen Software MINITAB® Release 14. Verwendung fanden zum einen der statistische Signifikanztest  $\chi^2$  (Chi-Quadrat-Test) für attributive Daten, zum anderen der Two-Sample T-Test für normalverteilte Grundgesamtheiten. Das gewählte Signifikanzniveau beträgt jeweils 5% ( $\alpha < 0,05$ ), das Konfidenzintervall beträgt daher 95%. Eine weitere angewandte statistische Analysemethode war die Varianzanalyse ANOVA (One-Way-ANOVA-Test), um Haupt- und Interaktionseffekte zwischen Variablen aufzudecken.

## 2.3 Merkmale und Eigenschaften des Implantates

Der von K. A. Matzen entwickelte Fixateur interne ist seit seiner CE-Zertifizierung im Jahre 1998 im klinischen Einsatz zur internen, dorsalen Stabilisierung der Brust- und/oder Lendenwirbelsäule. Sämtliche Teile verfügen über die Titanlegierung  $Ti_6Al_7Nb$  (Titanium-6-Aluminium-7-Niobium). Das System besteht aus Schanz-Schrauben mit einer Länge von 200 mm, einem Durchmesser von 5 mm bei einer Gewindelänge von 42 mm, Verbindungsstäben mit 5 mm im Durchmesser und unterschiedlicher Länge von 120 mm bis 500 mm sowie aus Konnektoren. Bei letzteren handelt es sich um Klemmbacken, die die winkelstabile Verbindung zwischen Schanzschraube und Längsträger gewährleisten (siehe Abbildung 6). Die Verbindung ist in allen Richtungen schwenkbar und wird nach endgültiger Positionierung mit einer Schraubenmutter fixiert. Der Verbindungsstab wird dabei auf Flächenpressung geklemmt, wodurch eine Kerbwirkung mit der Gefahr von Stabbrüchen vermieden wird. Die Vorteile des verwendeten Instrumentariums sind seine geringe Dimension, die technisch einfache Handhabung, die individuelle Modellierbarkeit ohne Stabilitätseinbuße und seine in Dauerschwingversuchen durch die EMPA (s.u.) verifizierte Winkelstabilität, so dass es sowohl mono- als auch polysegmental bei breitem Indikationsspektrum, auch navigiert einsetzbar ist. Bei



geringem Stabdurchmesser von 5 mm ist es semirigide, durch oben genannte Legierung besitzt es hohe Biokompatibilität (Christensen *et al.* 2000) und erlaubt auch postoperativ eine aussagekräftige radiologische Diagnostik mittels MRT (Albrektsson *et al.* 1989).

**Abbildung 6: 360° schwenkbare Klemmbacken-Schanzschrauben-Verbindung**

Der Fixateur interne ist im April 1998 von der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt EMPA mit Sitz in der Schweiz (EMPA CH 8600 Dübendorf, Prüfbericht Nummer 171449/2) intensiven Belastungstests ausgesetzt worden, wobei nach fünf Millionen Lastwechseln keinerlei visuell erkennbare Schäden aufgetreten waren. Unter der Prüflast kam es zu keiner bleibenden Deformation des Fixateur interne bzw. seiner Einzelteile (Pedikelschrauben, Klemmkörper, Verbindungsstangen).

## **2.4 Perioperatives Vorgehen**

### **2.4.1 Operationsvorbereitungen**

Nach Indikationsstellung zur Spondylodese anhand klinischer und radiologischer Parameter erfolgte die diskographische Untersuchung der angrenzenden Bandscheiben zur endgültigen Definition der Spondylodesestrecke. Es wurden diejenigen Bewegungssegmente mit in die Spondylodese einbezogen, deren Bandscheibe ein so genanntes „memory-pain“-Zeichen und/oder eine pathologische Darstellung des Nucleus pulposus (Typ III bis V nach Adams) aufwies (Agorastides *et al.* 2002). Ist eine Erweiterung des operativen Verfahrens anzunehmen oder eine ergänzende differentialdiagnostische Abklärung indiziert, wurde zusätzlich eine lumbale Funktionsmyelographie durchgeführt. In Einzelfällen wurden Bending-Aufnahmen im a.p.-Strahlengang bei Skoliosen angefertigt, um den Grad der Umkrümmbarkeit und damit der intraoperativen Korrigierbarkeit der Wirbelsäule festzustellen. Im präoperativen Verlauf wurden darüber hinaus Eigenblutspenden sowie die Anpassung eines modifizierten Hohmann'schen Überbrückungsmieders durchgeführt. Vor der ventralen Fusion sind am präoperativen Tag abführende Maßnahmen sowie abendliche Flüssigkost hausüblicher Standard.

### **2.4.2 Nachbehandlung**

Nach dem Aufwachen erfolgte die postoperative Überprüfung der peripheren Motorik und Sensibilität. Am ersten postoperativen Tag wurde seitens der Patienten Bettruhe eingehalten. Die Patienten wurden ab dem zweiten postoperativen Tag mit angelegtem Hohmann'schen Überbrückungsmieder und unter krankengymnastischer Übungstherapie, zunächst mit hohem Gehwagen, nach wenigen Tagen mit zwei Unterarmgehstützen unter Vermeidung der Torsion von Rumpf und Schultergürtel gegenüber dem Becken mobilisiert. Ebenfalls wurden am zweiten postoperativen Tag die Redondrainagen im Rahmen des ersten Verbandswechsels entfernt. Bei dorsoventraler Spondylodese wurde ein zweizeitiges Vorgehen eingehalten, wobei die ventrale Fusion abhängig von der Erholung des Patienten nach Abschluss der ersten bis zweiten Woche nach dorsaler Fixierung geplant wurde. Hierbei erfolgte postoperativ ein programmierter Kostaufbau nach Eintritt der Darmperistaltik, meist am zweiten bis dritten postoperativen Tag. Bis zum Abschluss der Wundheilung am 12. bis 14. postoperativen Tag mit Klammerzug verblieben die Patienten meist in stationärer Behandlung. Mobilisierungstechniken sowie Aktivierung der wirbelsäulenstabilisierenden Rumpfmuskulatur gehörten ebenso zum physiotherapeutischen Programm, wie die Vermittlung strikter Rückendisziplin. Auf das Erlernen von Übungsprogrammen wird Wert gelegt, da lebenslange, selbständige Durchführung von Kräftigungsübungen unabdingbare Voraussetzung zur Sicherung des Operationsergebnisses ist. Das Überbrückungsmieder trugen die Patienten in der Regel sechs Monate, anschließend erfolgte eine physiotherapeutisch angeleitete Miederentwöhnung unter stationären Bedingungen mit Einleitung einer stationären Anschlussheilbehandlung. Ambulante Nachuntersuchungen mit obligater radiologischer Auswertung erfolgten zunächst in sechswöchigen, später in dreimonatigen Abständen bis zur Miederentwöhnung. Im weiteren Verlauf empfehlen wir halb- bis ganzjährig klinische und radiologische Kontrolluntersuchungen.



# 3 Ergebnisse

## 3.1 Anthropometrische Daten

### 3.1.1 Altersverteilung

Das ausgewertete Gesamtkollektiv umfasst insgesamt 105 Patienten (n=105), was einer Rücklauftrate von 97,3% entspricht. Drei Patienten (entsprechend 2,8%) zeigten sich nicht bereit, an einer Studie teilzunehmen. Voraussetzungen zum Einschluss in die prospektive Studie waren eine wenigstens dreisegmentale Fusionsstrecke sowie ein Nachuntersuchungszeitraum von mindestens sechs Monaten. Das Verhältnis von Frauen zu Männern betrug 1,2 : 1. Zum Operationszeitpunkt betrug der Altersdurchschnitt der Patientinnen 54,2 Jahre (von 33 bis 82 Jahren), der der Patienten 53,9 Jahre (von 28 bis 74 Jahren). Der Gesamt-Altersdurchschnitt zum Zeitpunkt der Operation war daher 54,1 Jahre, zum Zeitpunkt der letztmaligen Nachuntersuchung 56,6 Jahre. Sowohl bei den Patientinnen als auch bei den Patienten ist die Gruppe der 51- bis 60-Jährigen am stärksten vertreten (siehe Abbildung 7). Der Nachuntersuchungszeitraum lag im Durchschnitt bei 30,2 Monaten (6 bis 74 Monate).

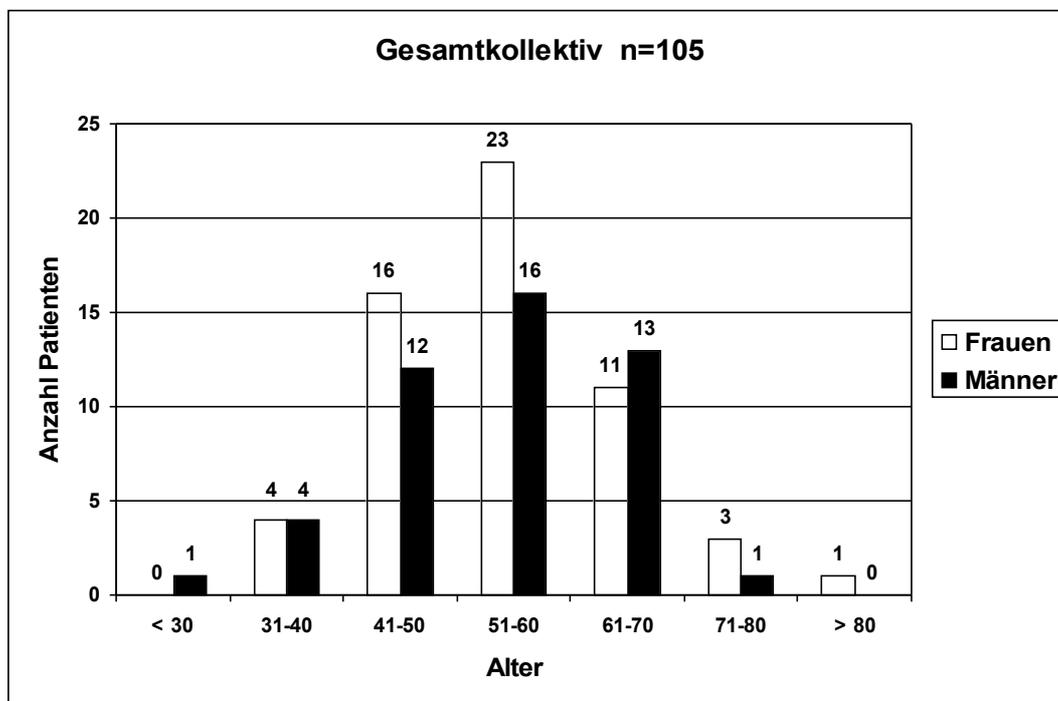


Abbildung 7: Altersverteilung des Gesamtkollektivs zum Operationszeitpunkt

### 3.1.2 Fusionierte Segmente

Insgesamt wurden im Gesamtkollektiv 349 Wirbelsäulensegmente stabilisiert, dabei überwogen dreisegmentale Fusionsoperationen deutlich (n=77); die längste Fusionsstrecke umfasste sechs Bewegungssegmente (siehe Abbildung 8). 199 der 349 Segmente wurden bei weiblichen, die verbleibenden 150 bei männlichen Patienten operativ versorgt. Im Ganzen wurden 894 Pedikelschrauben und 210 Längsträger bei den 105 nachuntersuchten Patienten verwendet.

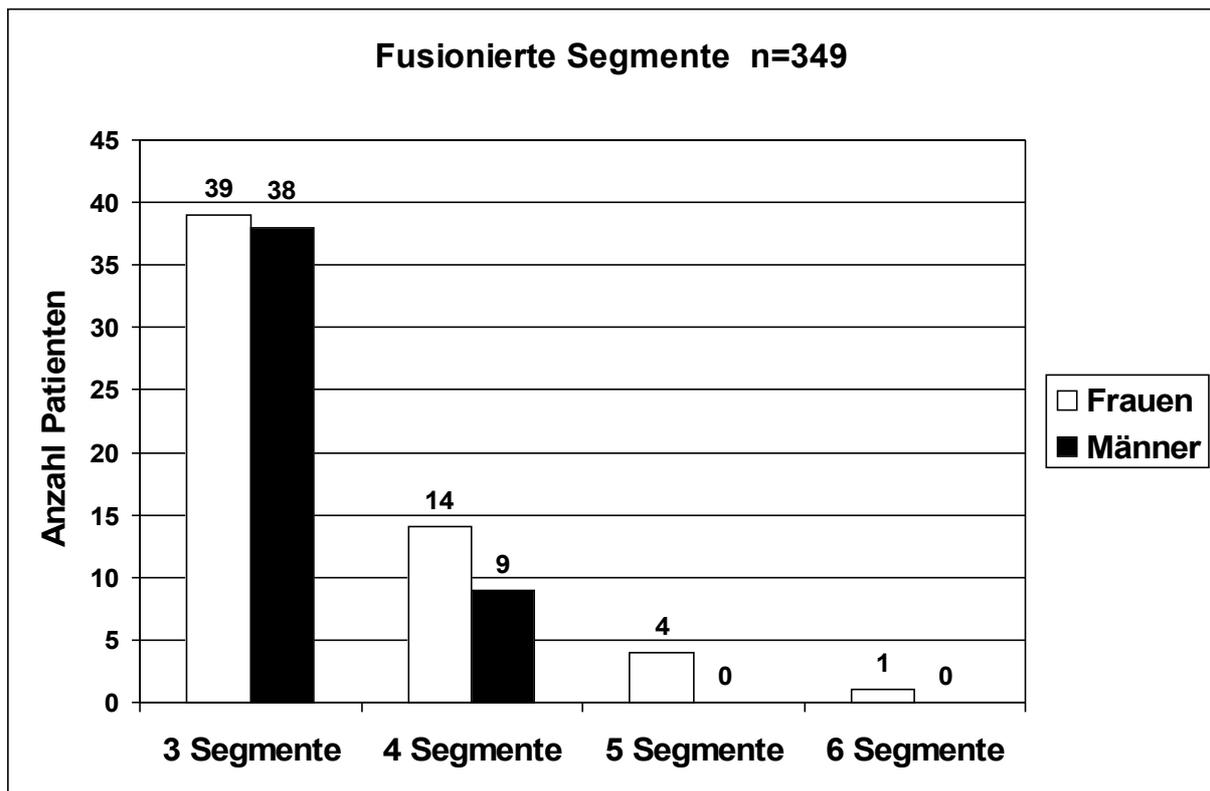


Abbildung 8: Anzahl der fusionierten Segmente

Die jeweilige Anzahl der einzelnen, fusionierten Wirbelsäulensegmente ist in der Abbildung 9 wiedergegeben, beginnend proximal bei BWK<sub>11/12</sub> (n=1) und bis distal LWK<sub>6/S<sub>2</sub></sub> reichend (n=4). Am häufigsten waren die Segmente LWK<sub>3/4</sub> (n=100) und LWK<sub>4/5</sub> (n=104) in die Spondylodese einbezogen.

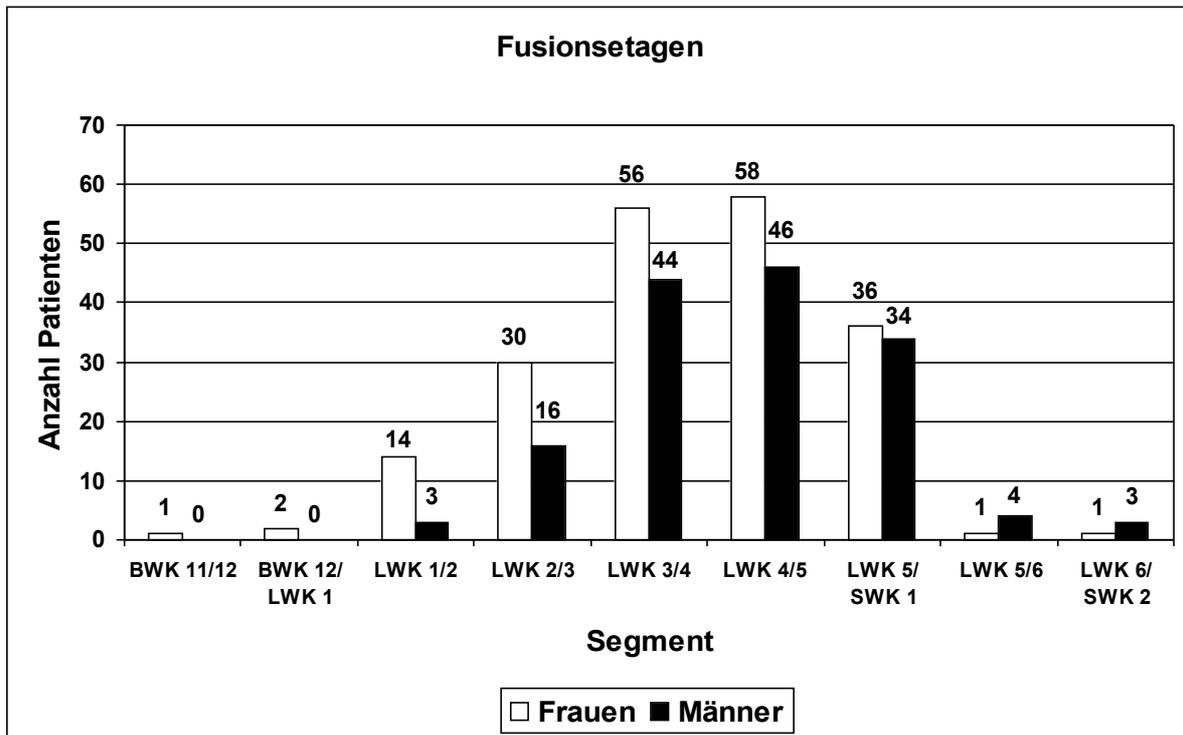


Abbildung 9: Verteilungshäufigkeit der fusionierten Segmente

### 3.1.3 Ausdehnung der Spondylodesestrecke

Bei den Fusionsoperationen der 105 Patienten war der Operationsbereich LWK<sub>3</sub> bis SWK<sub>1</sub> am häufigsten vertreten (n=54 bzw. 51,4%), gefolgt vom Spondylodesebereich LWK<sub>2</sub> bis LWK<sub>5</sub> mit n=17 oder 16,2% und der Fusionsstrecke LWK<sub>2</sub> bis SWK<sub>1</sub> (n=12 bzw. 11,4%). Die weitere, geschlechterspezifische Verteilung ist in Abbildung 10 dargestellt. In 69,5% (n=73) der Fälle ist das letzte Bewegungssegment in die Spondylodesestrecke involviert.

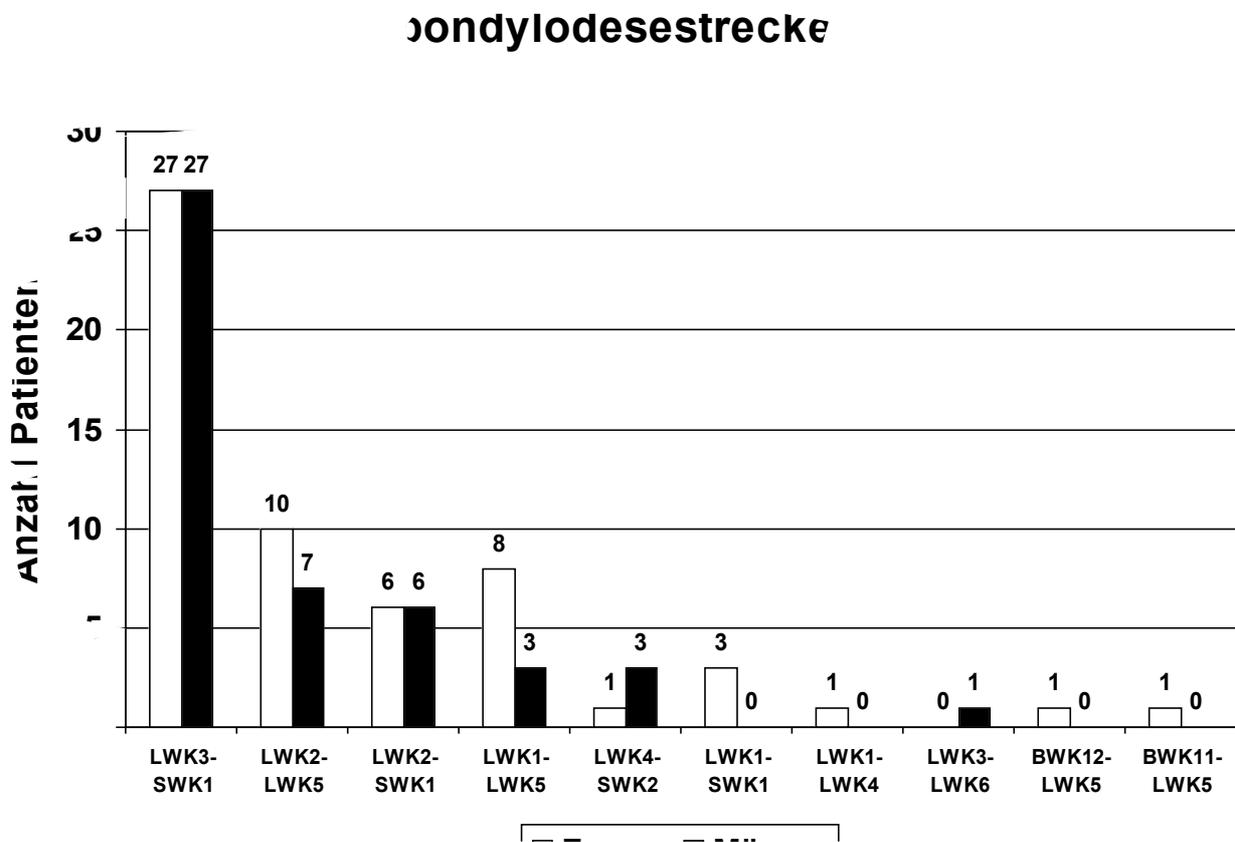


Abbildung 10: Verteilung der Operationsbereiche im Gesamtkollektiv n=105

### 3.1.4 Operationsindikationen

Im untersuchten Patientengut konnten fünf Diagnose-Kategorien unterschieden werden. Den größten Anteil bildeten die Osteochondrosen mit 50,5% (n=53), wobei in unserem Studiendesign auch die Anschlussosteochondrosen bei voroperierten Patienten in diese Einheit einbezogen wurden. Die degenerativ bedingten Skoliosen als Operationsindikation machten 18,1% (n=19) aus, während die Gruppe der erfolglos voroperierten („Failed-Back-Surgery-Syndrome“, FBSS) Patienten 16,2% (n=17) einschloss. Noch 10,5% (n=11) des Kollektivs wurden aufgrund einer degenerativen Spondylolisthesis (Pseudolisthesis) und 4,7% (n=5) aufgrund einer degenerativen Spinalstenose operiert. Abbildung 11 zeigt die Diagnoseverteilung graphisch auf. In Abbildung 12 ist die geschlechterspezifische Diagnoseverteilung dargestellt.

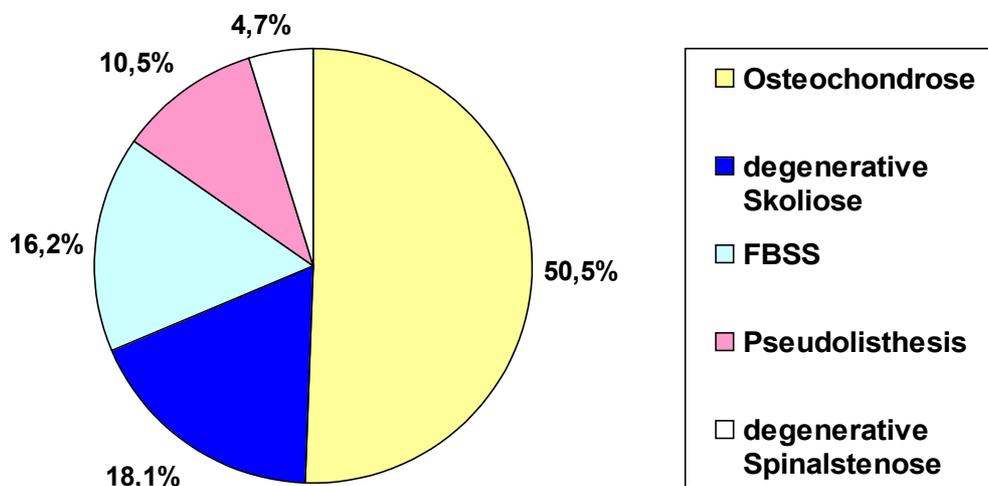


Abbildung 11: Diagnoseverteilung in der Gesamtgruppe

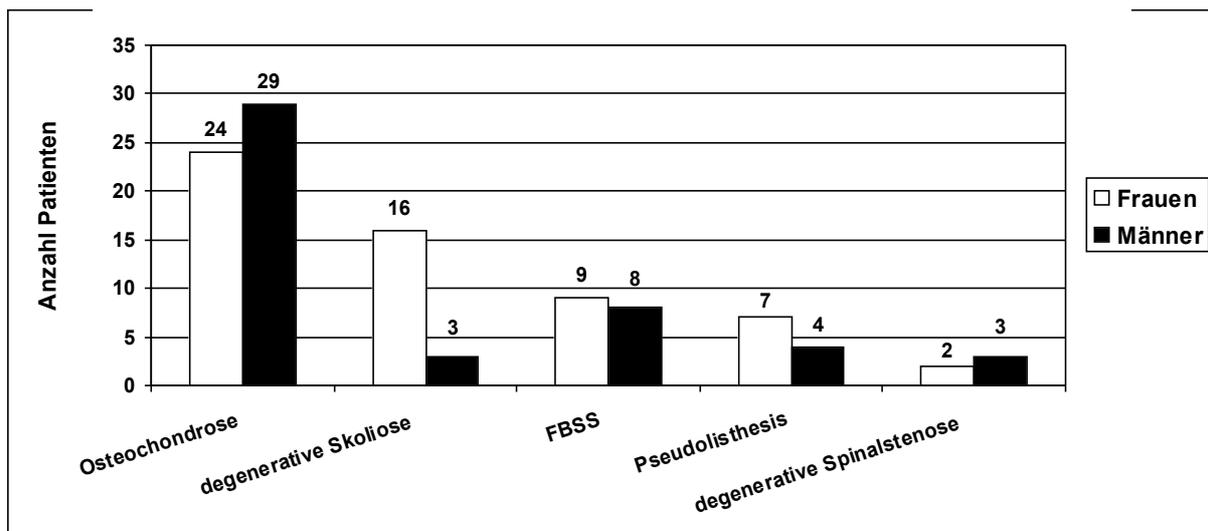


Abbildung 12: Geschlechtsspezifische Diagnoseverteilung

### 3.1.5 Spondylodeseverfahren

In der Gesamtgruppe wurden 71,4% (n=75) der Patienten mittels einer dorsoventralen Spondylodese (DVS) und in Abhängigkeit von Alter und Operationsindikation 27,6% (n=29) mittels dorsolateraler Spondylodese (DLS) versorgt (siehe Abbildung 13). Bei einer Patientin wurde nach der dorsalen Fixierung über vier Segmente aufgrund eines postoperativen paralytischen Ileus auf Wunsch der Patientin auf die ursprünglich geplante ventrale Spondylodese verzichtet. Insgesamt wurden 237 der 349 Segmente über dorsoventrale und 108 über dorsolaterale Spondylodese versorgt.

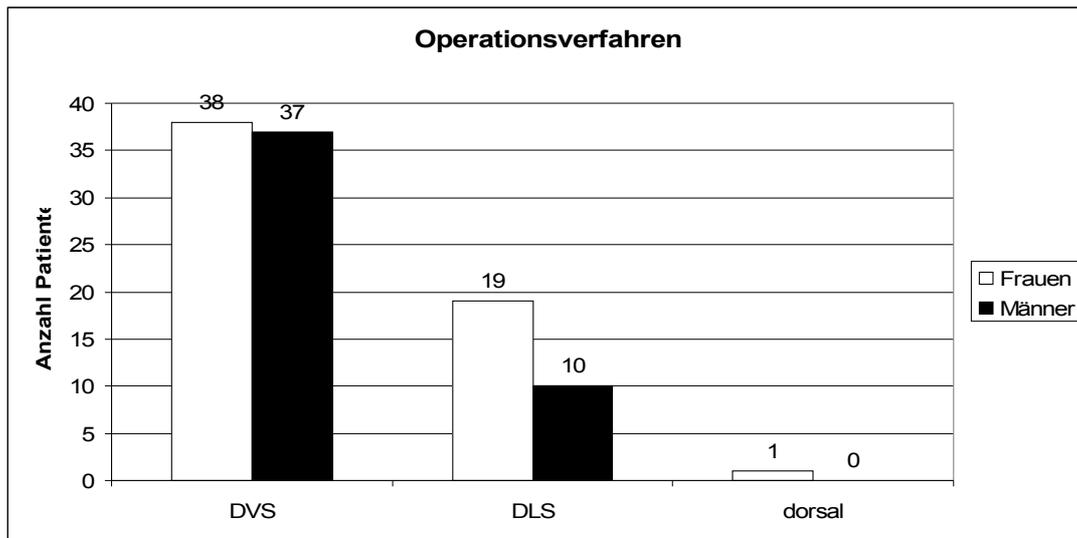


Abbildung 13: Angewandte Operationsverfahren im Gesamtkollektiv n=105

Im folgenden Diagramm (siehe Abbildung 14) wird die Verteilung der oben genannten Operationsverfahren geschlechterunspezifisch in Abhängigkeit von der Altersverteilung vorgestellt; um die Tendenz hervorzuheben, wurde im Diagramm neben dem Absolutwert vor allem der relative Anteil der Einzelwerte einer Alterskategorie angegeben. Die rein dorsale Fixierung (n=1) wurde vernachlässigt.

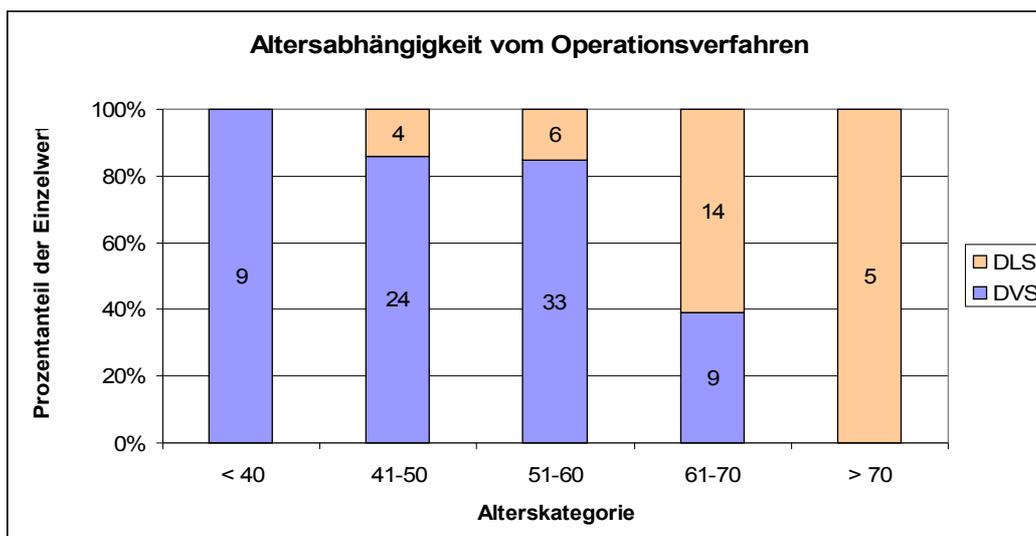


Abbildung 14: Operationsverfahren in Abhängigkeit vom Alter

Die Abbildung 15 soll die Abhängigkeit des Operationsverfahrens von der jeweiligen Diagnose verdeutlichen. Auffällige Ergebnisse finden sich insbesondere in der Gruppe der Osteochondrosen (n=53, Durchschnittsalter 51,0 Jahre), die größtenteils zweizeitig operativ versorgt wurden, und der Gruppe der degenerativen Skoliosen (n=19, Durchschnittsalter 60,4 Jahre), die sich mehrheitlich einer dorsolateralen Spondylodese unterzogen haben.

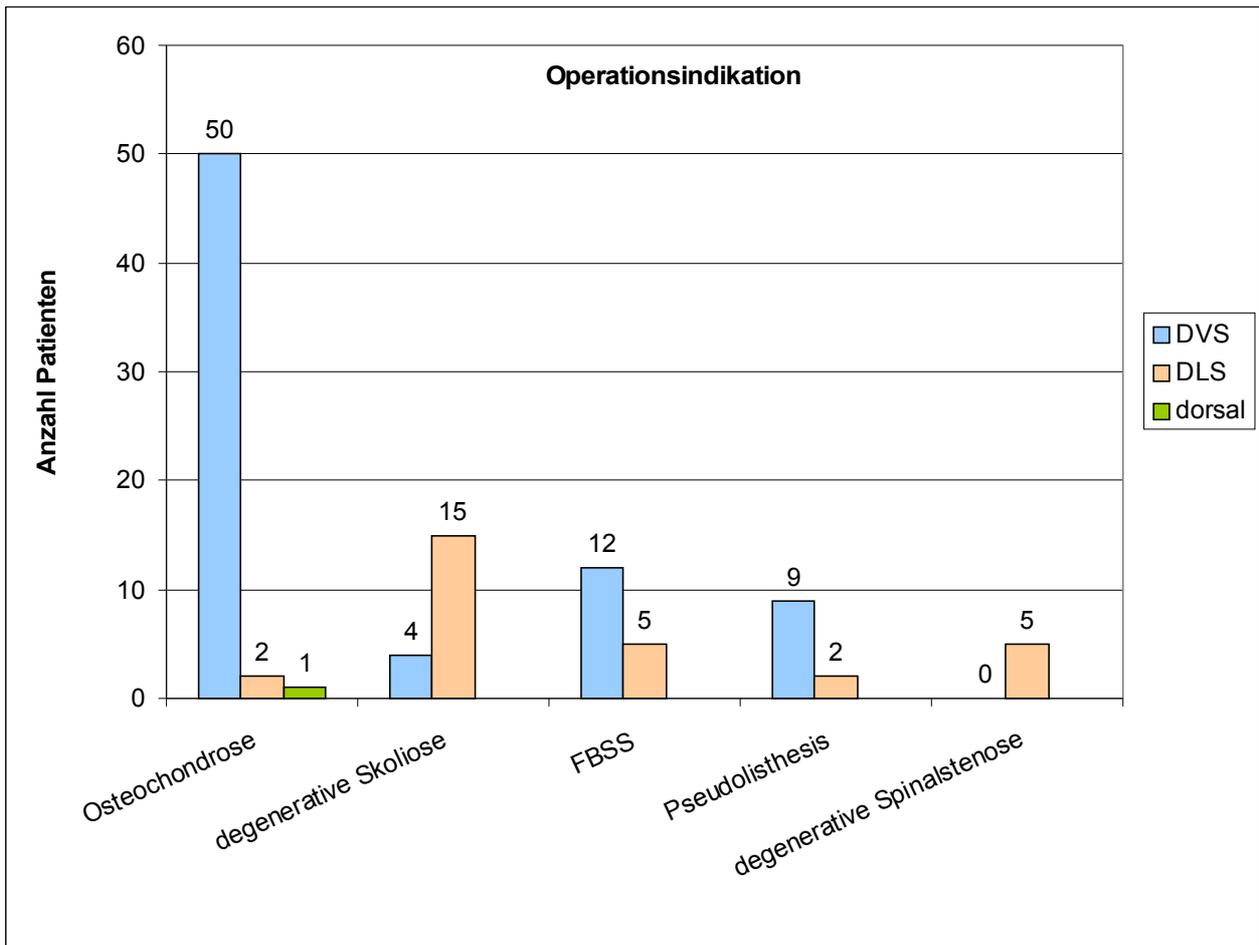


Abbildung 15: Operationsverfahren in Relation zur Operationsindikation

### 3.1.6 Computernavigiertes Operationsverfahren

Die Pedikelschraubennavigation ist bereits fester Bestandteil der versteifenden Wirbelsäulen Chirurgie. In unserem Patientengut betrug der Anteil computernavigierter Fusionen 14,3%, entsprechend 15 von 105 Patienten. Den größten Anteil bildeten hierbei Patienten mit degenerativer Skoliose, da in diesen Fällen die Gefahr einer Fehlplatzierung der Pedikelschrauben durch veränderte anatomische Gegebenheiten besonders hoch einzuschätzen ist.

Das Verhältnis Frauen zu Männern beträgt 1,5:1. Das Durchschnittsalter ergibt einen Wert von 60,7 Jahre.

Die Tabelle 1 gibt die Verteilung innerhalb des navigierten Subkollektivs wieder:

	Anzahl	in %	Frauen	Männer
<b>Gesamtgruppe</b>	<b>15</b>	<b>100</b>	<b>9</b>	<b>6</b>
Osteochondrose	1	6,7	0	1
degenerative Skoliose	11	73,3	8	3
FBSS	2	13,3	1	1
Pseudolisthese	1	6,7	0	1
degenerative Stenose	0	0	0	0

Tabelle 1: Diagnoseverteilung im computernavigierten Patientenkollektiv

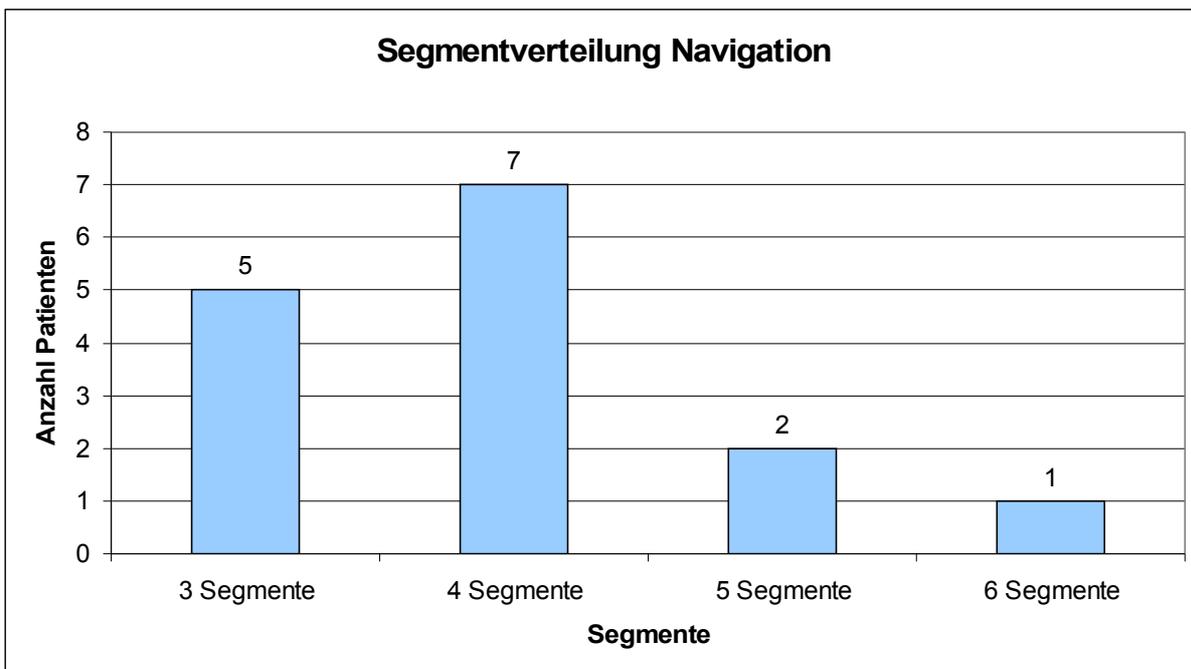


Abbildung 16: Segmentverteilung im computernavigierten Patientenkollektiv

## 3.2 Radiologische Auswertung

Sämtliche in die Studie eingeschlossenen Patienten (n=105) konnten radiologisch ausgewertet werden. Die radiologische Follow-up-Untersuchung fand im Rahmen der vorliegenden prospektiven Studie zeitgleich mit der klinischen Beurteilung sowie dem Fragebogen-Assessment statt, so dass auch der radiologische Nachuntersuchungszeitraum in der Gesamtgruppe im Durchschnitt 30,2 Monate (6 bis 74 Monate) betrug.

### 3.2.1 Pedikelschraubenlockerung

Eine Pedikelschraubenlockerung wurde angenommen bei einer radiologisch sichtbaren Saumbildung um den gewindetragenden Anteil der betreffenden Schanz-Schraube.

Pedikelschraubenbrüche waren in keinem einzigen Fall zu verzeichnen, ebenso wurde im Gesamtkollektiv kein Längsträgerbruch nachgewiesen. Insgesamt zeigten 24 der implantierten 894 Pedikelschrauben radiologische Lockerungszeichen (entspricht 2,7% der Schanz-Schrauben), davon waren zwölf Patienten betroffen (entspricht 11,4% des Gesamtkollektivs), wobei vier Patienten aufgrund oben genannter Pedikelschraubenlockerungen einer operativen Revision unterzogen wurden (entspricht 3,8% des Gesamtkollektivs). Bei den verbliebenen acht Patienten war die radiologisch nachgewiesene Pedikelschraubenlockerung ohne klinische Relevanz und es ergab sich keine operative Konsequenz.

Die vier Revisions-Fälle werden nun im Folgenden näher beleuchtet:

In einem Fall blieb eine knöcherne Konsolidierung bei einer beidseitigen sakralen Pedikelschraubenlockerung mit Nachweis einer Pseudarthrose LWK<sub>5</sub>/SWK<sub>1</sub> aus. 15 Monate nach dorsoventraler Spondylodese LWK<sub>3</sub> bis SWK<sub>1</sub> führten wir bei dieser 62-jährigen Patientin mit multietageren Osteochondrosen die Materialentfernung des Fixateur interne mit einer Respondylodese LWK<sub>5</sub>/SWK<sub>1</sub> durch. Der weitere Verlauf gestaltete sich komplikationsfrei.

Im zweiten Fall erfolgte bei einer 51-jährigen Patientin mit degenerativer Thorakolumbalskoliose nach dorsolateraler Spondylodese von BWK<sub>11</sub> bis LWK<sub>5</sub> eine Materialentfernung der beidseitig gelockerten Pedikelschrauben LWK<sub>5</sub> mit entsprechender Stabkürzung bei zeitgerechtem knöchernen Durchbau. Die lokale Schmerzsymptomatik war daraufhin rückläufig.

In einem weiteren Fall erbrachte die radiologische Nachuntersuchung drei Monate nach erfolgter dorsolateraler Spondylodese LWK<sub>1</sub> bis LWK<sub>5</sub> aufgrund einer degenerativen Lumbalskoliose den Nachweis einer beidseitigen Pedikelschraubenlockerung LWK<sub>1</sub> mit kranialem Auswandern der Schrauben bei einem Patienten mit bekanntem Morbus Parkinson und einem auffälligen Gangbild mit hochgradiger Inklination im Oberkörper. Der 74-jährige Patient unterzog sich einer Revision mit Entfernung der gelockerten Schanz-Schrauben und entsprechender Stabkürzung.

Der vierte Fall betrifft eine 33-jährige Patientin mit degenerativer Spondylolisthesis und stattgehabter dorsoventraler Spondylodese LWK<sub>3</sub> bis SWK<sub>1</sub> mit Lockerung der Schanz-Schraube SWK<sub>1</sub> links ohne Einfluss auf die Konsolidierung der Fusion. Hier erfolgte aufgrund lokaler Beschwerdesymptomatik die vollständige Materialentfernung des Fixateur interne auf Wunsch der Patientin neun Monate postoperativ mit anschließender Beschwerdelinderung.

Bei den restlichen acht Patienten handelte es sich um radiologische Befunde ohne Konsequenzen auf Fusionsrate oder die subjektive Bewertung des Operationserfolges.

Eine Zusammenstellung der patienten- und schraubenbezogenen Pedikelschraubenlockerungen, aufgeschlüsselt nach Diagnosen liefern Tabelle 2 und Tabelle 3.

	Patienten gesamt	Patienten betroffen	in %	Schrauben gesamt	Schrauben gelockert	in %
<b>Gesamtgruppe</b>	<b>105</b>	<b>12</b>	<b>11,4</b>	<b>894</b>	<b>24</b>	<b>2,7</b>
Osteochondrose	53	4	7,6	447	8	1,8
degenerative Skoliose	19	3	15,8	172	6	3,5
FBSS	17	2	11,8	139	4	2,9
Pseudolisthese	11	3	27,3	88	6	6,8
degenerative Stenose	5	0	0	48	0	0

**Tabelle 2: Verteilung der Pedikelschraubenlockerung in Abhängigkeit von der Diagnose**

	Patienten gesamt	Patienten betroffen	in %	Schrauben gesamt	Schrauben gelockert	in %
<b>Gesamtgruppe</b>	<b>105</b>	<b>12</b>	<b>11,4</b>	<b>894</b>	<b>24</b>	<b>2,7</b>
drei Segmente	77	8	10,4	611	16	2,6
vier Segmente	23	2	8,7	226	4	1,8
fünf Segmente	4	1	25	43	2	4,7
sechs Segmente	1	1	100	14	2	14,3

**Tabelle 3: Verteilung der Pedikelschraubenlockerung in Abhängigkeit vom Fusionsumfang**

Die folgende Tabelle verweist auf die Verteilung der Pedikelschraubenlockerungen aufgeschlüsselt nach den betroffenen Wirbelkörpern (Tabelle 4).

	Schrauben gesamt	Schrauben gelockert	in %
<b>Gesamtgruppe</b>	<b>894</b>	<b>24</b>	<b>2,7</b>
SWK 1	140	12	8,6
LWK 5	206	4	1,9
LWK 3	199	4	2
BWK 11	4	2	50

**Tabelle 4: Verteilung gelockerter Pedikelschrauben nach betroffenen Wirbelkörpern**

Bedeutsam ist die Tatsache, dass bei sämtlichen Pedikelschraubenlockerungen (n=24 von 894) die betreffenden Wirbelkörper den rostralen bzw. kaudalen Abschluss der Fusionsstrecke bildeten.

### 3.2.2 Fusionsrate

Die radiologische Auswertung erbrachte des Weiteren den Nachweis von insgesamt drei Pseudarthrosen (entspricht 0,9%) sowie einer radiologisch nicht gesicherten knöchernen Konsolidierung (entspricht 0,3%) bei 349 operierten Segmenten. Sämtliche Pseudarthrosen wurden einer operativen Revision mit Respondylodese zugeführt. In dem oben genannten Fall der fraglichen Konsolidierung wurde aufgrund der bestehenden Beschwerdesymptomatik neun Monate postoperativ eine Revisions-Operation indiziert.

Im ersten der drei Pseudarthrosefälle erfolgte der Nachweis einer beidseitigen SWK<sub>1</sub>-Pedikelschraubenlockerung mit einer ausgebliebenen knöchernen Durchbauung LWK<sub>5</sub>/SWK<sub>1</sub>; hier erfolgte die Respondylodese. Die Operationsindikation war eine mehrsegmentale Osteochondrose, und die dorsoventrale Spondylodese erstreckte sich von LWK<sub>3</sub> bis SWK<sub>1</sub>.

Im zweiten Fall führte eine Spanresorption unklarer Genese bei einem Patienten mit multietagerer Osteochondrose sowie einer dorsoventralen Fusionsoperation von LWK<sub>3</sub> bis SWK<sub>1</sub> zur Ausbildung einer Pseudarthrose in Etage LWK<sub>3</sub>/LWK<sub>4</sub>; es wurde eine erfolgreiche operative Revision durchgeführt.

Im letzten Fall war die Ursache eine radiologisch erwiesene, fehlende knöcherne Spanintegration in Etage LWK<sub>2</sub>/LWK<sub>3</sub> mit klinischer Beschwerdesymptomatik, was uns zur erneuten Spondylodese des betreffenden Segmentes bewog. In diesem Einzelfall ist eine unvollständige intraoperative Entknorpelung der angrenzenden Wirbelkörpergrund- und Deckplatte denkbar.

Insgesamt betrug die Fusionsrate daher 98,8%, d.h. 345 der operierten 349 Segmente zeigten einen regelhaften knöchernen Durchbau.

In Tabelle 5 erfolgt eine detaillierte Auflistung der eben genannten komplikations-trächtigen Einzelfälle:

Patient	Alter/Geschlecht	Operation	Diagnose	Fusion	Konsequenz
Nr.77	62J. / w.	DVS LWK <sub>3</sub> -SWK <sub>1</sub>	Osteochondrosen	Pseudarthrose LWK <sub>5</sub> /SWK <sub>1</sub>	Respondylodese
Nr.79	52J. / m.	DVS LWK <sub>3</sub> -SWK <sub>1</sub>	Osteochondrosen	Pseudarthrose LWK <sub>3</sub> /LWK <sub>4</sub>	Respondylodese
Nr.92	56J. / w.	DVS LWK <sub>2</sub> -SWK <sub>1</sub>	degenerative Skoliose	Pseudarthrose LWK <sub>2</sub> /LWK <sub>3</sub>	Respondylodese
Nr.50	42J. / w.	DVS LWK <sub>2</sub> -LWK <sub>5</sub>	Osteochondrosen	fragliche Fusion LWK <sub>2</sub> /LWK <sub>3</sub>	Revision empfohlen

**Tabelle 5: Komplikationsträchtige Einzelfälle**

### 3.3 Komplikationen

#### 3.3.1 Allgemeine perioperative Komplikationen

Im peri- und postoperativen Zeitintervall stellten sich bei insgesamt neun Patienten (entsprechend 8,6%) Komplikationen ein, die in drei Fällen (entsprechend 2,9%) einer invasiven Intervention zugeführt werden mussten.

In *Tabelle 6* sind die Fälle mit perioperativen Komplikationen im Einzelnen aufgelistet:

Patient	Alter/Geschlecht	Operation	Komplikation	Konsequenz
Nr. 6	51J. / w.	DLS BWK <sub>11</sub> -LWK <sub>5</sub>	oberflächlicher Wundinfekt	Wundrevision
Nr. 55	54J. / w.	DVS LWK <sub>3</sub> -SWK <sub>1</sub>	retroperitoneales Hämatom mit Wurzelläsionen L <sub>2-4</sub> links	Hämatomausräumung
Nr. 103	73J. / w.	DLS LWK <sub>1</sub> -LWK <sub>5</sub>	subkutanes Hämatom	Punktion
Nr. 56	62J. / w.	LWK <sub>2</sub> -SWK <sub>1</sub> dorsal	paralytischer Ileus	auf geplante ventrale Fusion verzichtet
Nr. 40	51J. / w.	DVS LWK <sub>3</sub> -SWK <sub>1</sub>	kleine Absprengung Spina iliaca anterior superior links	keine
Nr. 2	52J. / m.	DVS LWK <sub>2</sub> -SWK <sub>1</sub>	Bauchwandschwäche linker Unterbauch	keine
Nr. 12	60J. / w.	DLS LWK <sub>3</sub> -SWK <sub>1</sub>	Harnwegsinfekt	Antibiose
Nr. 14	41J. / w.	DLS LWK <sub>1</sub> -LWK <sub>5</sub>	Harnwegsinfekt	Antibiose
Nr. 31	55J. / m.	DVS LWK <sub>2</sub> -SWK <sub>1</sub>	Pneumonie	Antibiose

**Tabelle 6: Perioperative Komplikationen**

### 3.3.2 Reoperationsrate

Zur Ermittlung der Reoperationsrate haben wir sämtliche Revisionen und (Teil-) Materialentfernungen berücksichtigt, da eine Materialentfernung medizinisch nicht notwendig und im Vorfeld nicht vorgesehen ist.

In acht Fällen erfolgte die vollständige Materialentfernung nach knöcherner Konsolidierung aufgrund lokaler Schmerzpersistenz, in weiteren zwei Fällen aufgrund zusätzlicher, verbliebener Lumboischialgien.

Insgesamt zwei partielle Materialentfernungen stehen aufgrund von Pedikelschraubenlockerungen zu Buche (siehe Kapitel 3.2.1.), eine teilweise Materialentfernung erfolgte aufgrund therapieresistenter, rechtsseitiger Lumboischialgie.

Wie in Kapitel 3.2.2. angegeben wurde bei drei Patienten die Materialentfernung mit einer Respondylodese kombiniert.

In 17 Fällen wurde die Materialentfernung lediglich auf Wunsch der Patienten durchgeführt, meist wurde der Operationswunsch seitens der Patienten mit lokalen Restbeschwerden bei radiologisch regelrechtem Befund begründet.

Mit einer infektbedingten Wundrevision und einer retroperitonealen Hämatomausräumung können daher 35 Reoperationen bei 34 Patienten angeführt werden. Das ergibt bei 180 durchgeführten dorsalen und ventralen Eingriffen eine Reoperationsrate von 19,4%, davon waren 32,4% der Patienten betroffen.

Die (Teil-) Materialentfernungen wurden im Durchschnitt nach 18,9 Monaten (von 3 bis 59 Monaten) durchgeführt. Sämtliche Materialentfernungen betreffen dorsoventral fusionierte Wirbelsäulen, in der Gruppe der dorsolateralen Spondylodesen sind keine Reoperationen zu verzeichnen. Eine nennenswerte Abhängigkeit der (Teil-) Materialentfernungen von der Anzahl der operierten Segmente konnte nicht festgestellt werden.

In 31,2% (24 von 77 Patienten) der trisegmentalen Fusionen erfolgte eine teilweise bzw. vollständige Materialentfernung.

Bei den Fusionsoperationen über vier Segmente sind 30,4% (7 von 23 Patienten) und über fünf Segmente 25% der Patienten (1 von 4 Patienten) betroffen.

Es wurde lediglich eine Versteifung über sechs Segmente (BWK<sub>11</sub>-LWK<sub>5</sub> bei degenerativer Skoliose) durchgeführt mit Materialentfernung der beiden Schanz-Schrauben L<sub>5</sub> 23 Monate postoperativ aufgrund einer beiseitigen Lockerung.

Auf Materialversagen zurückzuführende Komplikationen traten in keinem Fall auf.

### 3.3.3 Knochenspendemorbidity

Der regelhaft verwendete operative Zugang von links lateral sowie die Gewinnung des trikortikalen Beckenkammspanes wurden bereits beschrieben (siehe *Kapitel 1.4.4*). Durch die relative Nähe des Nervus cutaneus femoris lateralis zum Beckenkamm kann es durch direkte Schädigung, durch Hakenzug oder durch Kompression z.B. infolge eines Hämatoms zu postoperativer Schmerzsymptomatik und Hypästhesien in dessen Innervationsgebiet kommen. Bei mehrsegmentalen Fusionen ist ein entsprechend dimensionierter Beckenkammspan erforderlich, was das Risiko für eine Läsion im oben genannten Sinne noch erhöht. In unserem Patientengut beklagten 13,3% (entsprechend 14 der 105 Patienten) zum Nachuntersuchungszeitpunkt lokale Schmerzen über dem betreffenden Beckenkamm. Über eine Neuralgia paraesthetica mit Hyp- oder Parästhesien im Versorgungsgebiet des Nervus cutaneus femoris lateralis berichteten 19,0% (entsprechend 20 von 105 Patienten). In 2,9% der Fälle (3 von 105 Patienten) waren gleichzeitig ein relevanter lokaler Schmerz wie auch eine beklagte Neuralgia paraesthetica beschrieben worden. Sämtliche Fälle von Schmerzen über der Knochenentnahmestelle betrafen Patienten (n=75) mit dorsoventralen Eingriffen. Bezogen auf diese Patientengruppe lag der Anteil einer relevanten Knochenspendemorbidity bei 41,3% (siehe Abbildung 19). In einem Fall konnte eine Parese von Anteilen der Bauchwandmuskulatur nachgewiesen werden, in einem weiteren Fall kam es postoperativ zu einer knöchernen Absprengung der linken Spina iliaca anterior superior mit rückläufiger Schmerzsymptomatik. Revisionsoperationen aufgrund oben aufgeführter Komplikationen sind in keinem Fall durchgeführt worden.

Die Knochenspendemorbidity ist in den beiden folgenden Abbildungen nach Segmentanzahl sowie nach Diagnosen differenziert aufgeschlüsselt (Abbildung 17 und *Abbildung 18*). Die Prozentangaben in Abbildung 19 beziffern den Anteil der Fälle an der jeweiligen Segmentklasse bzw. Diagnosegruppe sowie in Abhängigkeit vom Operationsverfahren.

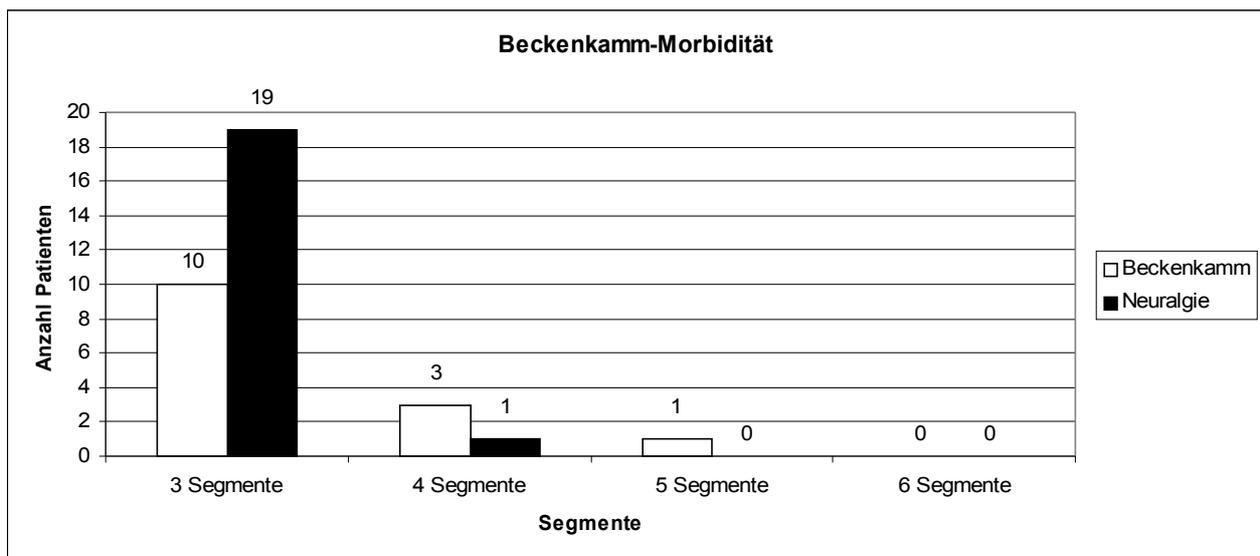


Abbildung 17: Verteilungshäufigkeit der Beckenkamm-Morbidity in Abhängigkeit von der Segmentanzahl

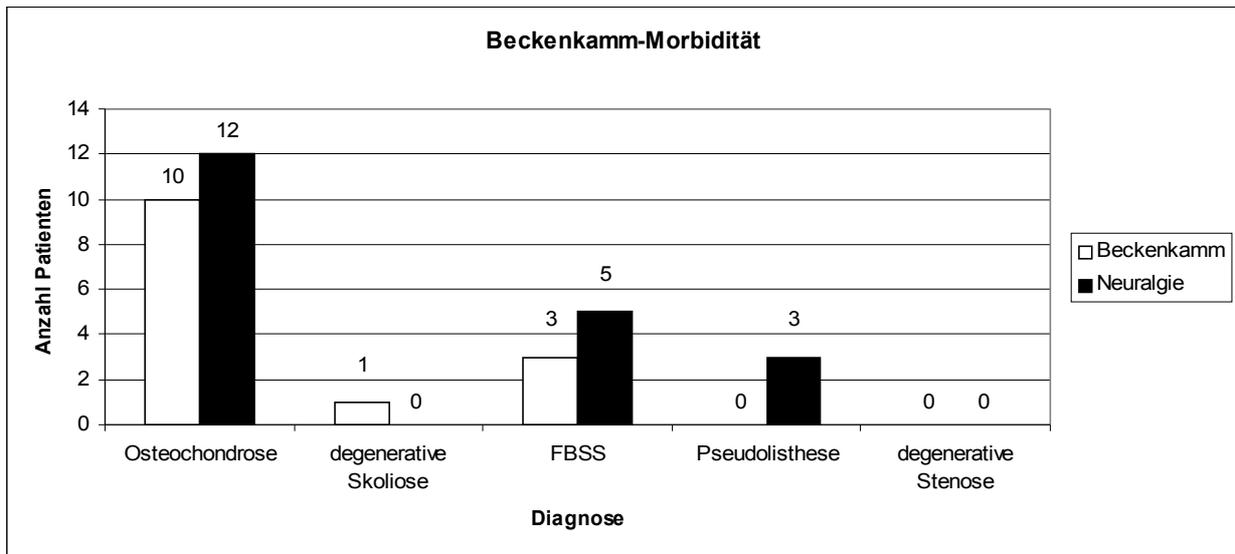
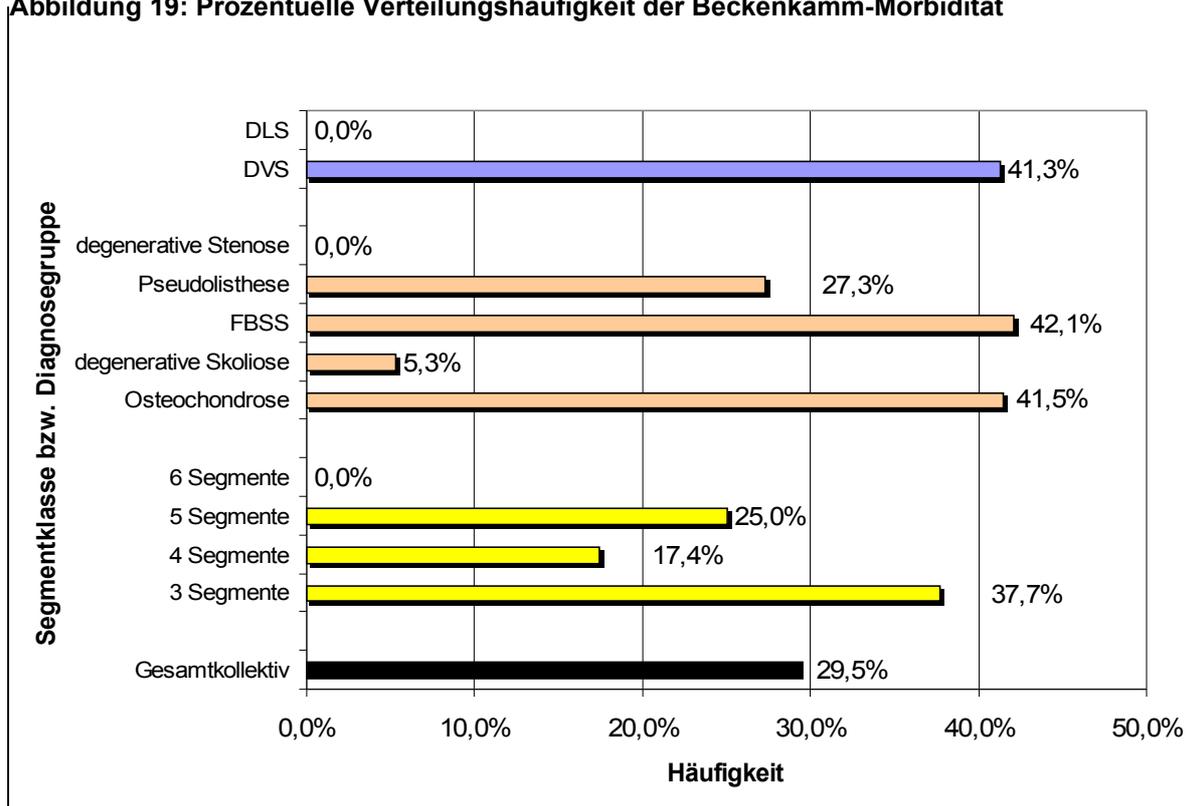


Abbildung 18: Verteilungshäufigkeit der Beckenkamm-Morbidität in Abhängigkeit von der Diagnose

Abbildung 19: Prozentuelle Verteilungshäufigkeit der Beckenkamm-Morbidität



Die statistische Auswertung mittels  $\chi^2$ -Test ergab bei einem Signifikanzniveau von 5% hinsichtlich der Verteilungshäufigkeit der Knochenspendemorbidity (siehe Abbildung 17) kein signifikantes Ergebnis ( $p=0,18$ ), so dass in unserem Patientengut keine Abhängigkeit zwischen der Häufigkeit einer Knochenspendemorbidity und der Segmentanzahl angenommen werden darf. Bezüglich des Operationsverfahrens konnte mit derselben statistischen Testung jedoch eine Signifikanz ( $p=0,001$ ) festgestellt werden (siehe Abbildung 19).

Zu den bisher genannten intra- und postoperativen Komplikationen sei an dieser Stelle noch darauf hingewiesen, dass die anatomischen Verhältnisse im ventralen Operationssitus gelegentlich eine Durchtrennung von Fasern des sympathischen Grenzstranges erforderlich machten. Im Rahmen der vorliegenden Studie wiesen jedoch lediglich vier Patienten des Gesamtkollektivs (entsprechend 3,8%) eine bleibende Störung der sympathischen Innervation auf (Post-Sympathektomiesyndrom).

Die Tabelle 7 stellt eine Zusammenfassung der spezifischen perioperativen Komplikationen im Gesamtkollektiv dar:

<b>Komplikation</b>	<b>Anzahl Patienten</b>	<b>in %</b>
revisionspflichtige Wundinfektion	1	1
revisionspflichtiges Hämatom	1	1
Beckenkamm-Morbidity	31	29,5
Bauchwandparese (teilweise)	1	1
Abspaltung Spina iliaca	1	1
Radikulopathie	2	1,9
davon vorübergehend	2	1,9
Post-Sympathektomiesyndrom	4	3,8
Respondylodese	3	2,9

**Tabelle 7: Spezifische perioperative Komplikationen im Gesamtkollektiv**

## 3.4 Fragebogenauswertung

### 3.4.1 Allgemeines

Von den 105 operierten Patienten wurden sämtliche prä- und postoperativen Fragebögen ausgewertet.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden die Ergebnisse der präoperativ sowie bei letztmaliger Evaluation vorgelegten Fragebögen hinsichtlich subjektiver Schmerzintensität mittels Visueller Analogskala (VAS) sowie hinsichtlich der subjektiv empfundenen Einschränkung in den Alltagsaktivitäten ausgewertet (Oswestry Disability Score). Bei der abschließenden Untersuchung wurden die Patienten zusätzlich gebeten, Angaben zur Zufriedenheit hinsichtlich des Operationsergebnisses zu machen. Hierbei erhielten die Patienten fünf Antwortmöglichkeiten, wie aus Tabelle 8 ersichtlich:

Mit dem Operationsergebnis bin ich <b><i>sehr zufrieden.</i></b>
Mit dem Operationsergebnis bin ich <b><i>zufrieden.</i></b>
Mit dem Operationsergebnis bin ich <b><i>mäßig zufrieden.</i></b>
Mit dem Operationsergebnis bin ich <b><i>wenig zufrieden.</i></b>
Mit dem Operationsergebnis bin ich <b><i>nicht zufrieden.</i></b>

**Tabelle 8: Patientenzufriedenheit**

### 3.4.2 Schmerzscore

#### 3.4.2.1 Gesamtgruppe

Der präoperative Mittelwert betrug in der Gesamtgruppe 7,7 (5-10, SA 1,3), postoperativ lautete er 4,6 (1-10, SA 1,8), was eine Verbesserung im Absolutwert von 3,1 Punkten bedeutet (siehe Abbildung 20 und Tabelle 9). In 93,3% der Fälle (98 von 105 Patienten) hat sich der subjektive Schmerzscore in der Gesamtgruppe verbessert, in 6,7% verschlechtert (7 von 105 Patienten).

Die Ergebnisse erwiesen sich statistisch als signifikant ( $p = 0,001$ ). Als Testverfahren wurde der Two-Sample T-Test für normalverteilte Daten herangezogen.

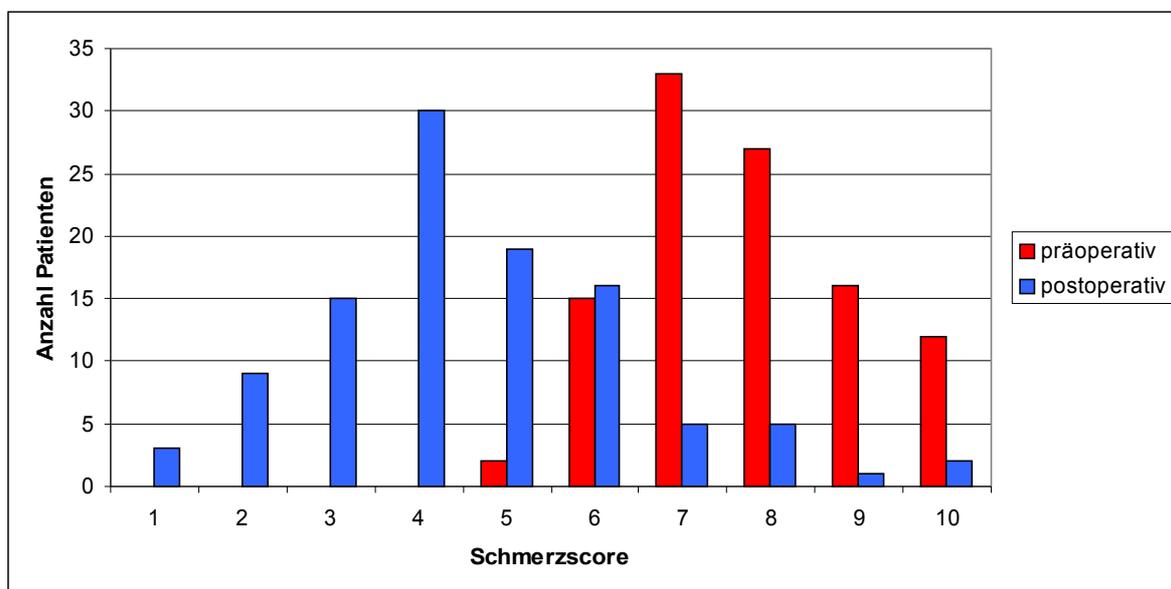


Abbildung 20: Verteilungshäufigkeit des prä- und postoperativen Schmerzscore in der Gesamtgruppe

	Anzahl Patienten	Schmerzscore präoperativ			Schmerzscore postoperativ			Änderung
		MW	min-max	SA	MW	min-max	SA	
<b>Gesamtgruppe</b>	<b>105</b>	<b>7,7</b>	<b>5-10</b>	<b>1,3</b>	<b>4,6</b>	<b>1-10</b>	<b>1,8</b>	<b>3,1</b>
Osteochondrose	53	7,5	6-10	1,1	4,7	1-10	1,9	2,8
degenerative Skoliose	19	8,5	7-10	1,1	4,6	2-7	1,4	3,9
FBSS	17	7,3	5-10	1,5	4,2	1-8	1,7	3,1
Pseudolisthese	11	7,9	6-10	1,1	5,4	4-9	1,7	2,5
degenerative Stenose	5	8,0	6-10	1,3	2,8	1-6	1,7	5,2
3 Segmente	77	7,5	5-10	1,2	4,6	1-10	1,9	2,9
4 Segmente	23	8,2	6-10	1,1	4,5	2-7	1,5	3,7
5 Segmente	4	9,3	8-10	0,8	4,5	2-6	1,5	4,8
6 Segmente	1	8			6			2,0

Tabelle 9: Schmerzscore-Vergleich in Abhängigkeit von Diagnose und OP-Ausmaß

#### 3.4.2.2 Osteochondrose

Der Durchschnittswert im Schmerzscore beträgt in der 53 Patienten umfassenden Osteochondrose-Gruppe 7,5 präoperativ (6-10, SA 1,1) und 4,7 postoperativ (1-10, SA 1,9); dies entspricht einer Verbesserung von 2,8 Punkten (siehe Tabelle 9). Dabei hat sich der Schmerzscore bei 92,5% der Patienten (49 von 53) verbessert und bei 7,5% (4 von 53) verschlechtert.

#### 3.4.2.3 Degenerative Skoliose

In der Gruppe der 19 Skoliose-Patienten ist der präoperative durchschnittliche Schmerzscore 8,5 (7-10, SA 1,1) und postoperativ 4,6 (2-7, SA 1,4), wobei sich bei allen 19 Patienten eine subjektive Linderung des Beschwerdeausmaßes postoperativ eingestellt hatte (siehe Tabelle 9).

#### 3.4.2.4 Voroperierte Patienten (FBSS)

Das Kollektiv der voroperierten Patienten umfasst 17 Patienten mit einem präoperativen Durchschnitts-Schmerzscore von 7,3 (5-10, SA 1,5), einem postoperativen Schmerzscore von 4,2 (1-8, SA 1,7) und lediglich einem Patienten mit postoperativer Verschlechterung des Scores (von Punktwert 7 auf 8), was einem Anteil von 5,9% entspricht (siehe Tabelle 9). Die restlichen 16 Patienten (94,1%) haben eine Beschwerdeverbesserung erfahren.

#### 3.4.2.5 Degenerative Spondylolisthesis

Von den elf Patienten, die aufgrund einer degenerativen Spondylolisthesis operiert wurden, konnte zu 81,8% (9 von 11) eine Verbesserung, zu 18,2% (2 von 11) eine Verschlechterung des Schmerzscores festgestellt werden. Der präoperative Mittelwert beträgt 7,9 (6-10, SA 1,1), der postoperative 5,4 (4-9, SA 1,7) und die Änderung des VAS-Wertes im Durchschnittswert 2,5 (siehe Tabelle 9).

#### 3.4.2.6 Degenerative Spinalstenose

In diesem Fall beträgt die Anzahl operierter Patienten fünf mit einem durchschnittlichen Punktwert auf der Visuellen Schmerzskala von präoperativ 8,0 (6-10, SA 1,3) und postoperativ 2,8 (1-6, SA 1,7). Alle fünf Patienten haben nach eigenen Angaben vom operativen Vorgehen profitiert (siehe Tabelle 9).

#### 3.4.2.7 Dreisegmentale Spondylodesen

Der überwiegende Anteil der Patienten wurde einer Spondylodese über drei Segmente unterzogen (77 von 105 Patienten bzw. 73,3%). Der präoperative Schmerzscore wurde hierbei mit 7,5 (5-10, SA 1,2) und der postoperative mit 4,6 (1-10, SA 1,9) bewertet. Dies entspricht einer Änderung von 2,9 im Absolutwert. In sieben Fällen (9,1%) verschlechterte sich der Score, in 70 Fällen (90,9%) verbesserte er sich (siehe Tabelle 9).

#### 3.4.2.8 Viersegmentale Spondylodesen

Die Anzahl der über vier Segmente Operierten betrug 23, was einem Anteil von 21,9% am Gesamtkollektiv entspricht. In allen Fällen wurde der Score postoperativ besser bewertet. Die Änderung beträgt 3,7 Punktwerte, der präoperative Mittelwert ist 8,2 (6-10, SA 1,1) und der postoperative Mittelwert ist 4,5 (2-7, SA 1,5), was auch der Tabelle 9 zu entnehmen ist.

#### 3.4.2.9 Fünfsegmentale Spondylodesen

Diese Gruppe umfasst vier Patienten (3,8% des Gesamtkollektivs) mit einer durchschnittlichen Bewertung des präoperativen Scores von 9,3 Punkten (8-10, SA 0,8), während der Mittelwert nach der Operation 4,5 (2-6, SA 1,5) und die Änderung 4,8 Punkte beträgt (siehe Tabelle 9). Alle vier Patienten gaben eine Verbesserung der klinischen Symptomatik an, was zu einer Verringerung im Schmerzscore führte.

#### 3.4.2.10 Sechssegmentale Spondylodese

Wie aus Tabelle 9 ersichtlich, wurde lediglich ein Patient über sechs Bewegungssegmente fusioniert, der einen Ausgangswert von 8 aufwies und postoperativ eine Verbesserung auf 6 Punkte angab.

#### 3.4.2.11 Pseudarthrose

Drei Patienten (entsprechend 2,9%) wiesen eine gesicherte Pseudarthrose, eine Patientin (1%) eine fragliche Pseudarthrose auf. In eine Subkategorie zusammengefasst wurde hier ein präoperativer Score-Mittelwert von 7,3 (7-8, SA 0,4) und ein postoperativer Mittelwert von 5,5 (4-8, SA 1,5) ermittelt, wobei ein Patient (entsprechend 25%) eine subjektive Verschlimmerung des Schmerzzustandes erfuhr. Die Änderung im Absolutwert beträgt in dieser Gruppe 1,75.

#### 3.4.2.12 Konsolidierung

Entsprechend zeigten 101 der 105 Patienten eine zeitgerechte knöcherne Konsolidierung auf. Bezogen auf diese Subgruppe konnte dabei ein präoperativer Mittelwert von 7,7 (5-10, SA 1,3) und ein postoperativer Durchschnittswert von 4,6 (1-10, SA 1,8) ermittelt werden. Die Änderung im Absolutwert ergibt 3,1 Punktwerte. Insgesamt sechs Patienten bestätigten eine Zunahme des VAS-Scores (entsprechend 5,9%).

#### 3.4.2.13 Pedikelschraubenlockerung

Wie bereits im Abschnitt 3.2.1. beschrieben waren insgesamt zwölf Patienten (n=12) von Pedikelschraubenlockerungen betroffen, wobei eine Patientin konsekutiv eine Pseudarthrose entwickelt hatte. Tabelle 10 listet die Schmerzscore-Einzelwerte nach Diagnosen und Fusionsumfang sowie im Vergleich zum Gesamtkollektiv und zur Patientengruppe ohne erwiesene Pedikelschraubenlockerungen auf. Demnach beträgt der Mittelwert präoperativ 7,7 (5-10, SA 1,3) mit einer Besserung um 3,1 Punktwerte im Gesamtkollektiv und präoperativ 8,1 (6-10, SA 1,4) sowie einer Besserung um 2,2 Punkte in der Gruppe der Pedikelschraubenlockerungen. Die Verbesserung beträgt jedoch 3,3 Punkte in der Gruppe ohne Schraubelockerung.

Eine statistische Analyse mit dem One-Way-ANOVA-Test, der Abhängigkeiten zwischen angegebenen Variablen aufzudecken vermag, konnte einen Zusammenhang zwischen der Differenz des prä- und postoperativen Schmerzscore und einer nachgewiesenen Pedikelschraubenlockerung herstellen. Schlußfolgernd darf mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ( $p < 0,05$ ) angenommen werden, daß sich eine Pedikelschraubenlockerung negativ auf das klinische outcome auswirkt. Aufgrund der geringen Fallzahlen wurden sämtliche Patienten mit Nachweis einer Pedikelschraubenlockerung in einer Gruppe zusammengefasst.

	Anzahl Patienten	Schmerzscore präoperativ			Schmerzscore postoperativ			Änderung
		MW	min-max	SA	MW	min-max	SA	
Gesamtgruppe	105	7,7	5-10	1,3	4,6	1-10	1,8	3,1
Patientengruppe ohne Pedikelschraubenlockerungen	93	7,7	5-10	1,2	4,4	1-10	1,8	3,3
<b>Patientengruppe mit Pedikelschraubenlockerungen</b>	<b>12</b>	<b>8,1</b>	<b>6-10</b>	<b>1,4</b>	<b>5,9</b>	<b>3-9</b>	<b>1,7</b>	<b>2,2</b>
Osteochondrose	4	8,0	6-10	1,4	5,5	5-6	0,5	2,5
degenerative Skoliose	3	9,0	8-10	0,8	5,7	5-6	0,5	3,3
FBSS	2	7,5	7-8	0,5	5,5	3-8	2,5	2,0
Pseudolisthese	3	7,7	6-10	1,7	7,0	4-9	2,2	0,7
degenerative Stenose	0							
3 Segmente	8	7,8	6-10	1,5	6,4	4-9	1,7	1,4
4 Segmente	2	8,5	8-9	0,5	4,5	3-6	1,5	4,0
5 Segmente	1	10			5			5,0
6 Segmente	1	8			6			2,0

Tabelle 10: Schmerzscore-Vergleich innerhalb der Gruppe der Pedikelschraubenlockerungen

#### 3.4.2.14 Pedikelschraubennavigation

Insgesamt 15 Patienten (entsprechend 14,3% des Gesamtkollektivs) erhielten eine computergestützte Pedikelschraubennavigation. Die Verteilung innerhalb dieser Gruppe ist aus Tabelle 1 zu entnehmen. Der durchschnittliche präoperative Score wurde mit 8,7 bewertet (7-10, SA 1,0), postoperativ beträgt er im Mittel 4,9 (3-6, SA 1,0), was einer Änderung von 3,8 Punktwerten entspricht. Alle 15 Patienten haben sich bezüglich des Scores verbessert.

#### 3.4.2.15 Nicht-navigierte Spondylodese

Die 90 unter lediglich fluoroskopischer Kontrolle Operierten zeigten einen VAS-Score von präoperativ durchschnittlich 7,6 (5-10, SA 1,2) und postoperativ 4,5 (1-10, SA 1,9) mit einem  $\Delta$ VAS 3,1. Sechs der Patienten (entsprechend 6,7%) beklagten eine Schmerzzunahme, einhergehend mit einem VAS-Score-Zuwachs.

#### 3.4.2.16 Spondylodesen unter Einschluss des kaudalen Segmentes

Bei 73 der 105 Patienten (entsprechend 69,5%) wurde das kaudal letzte freie Segment mit in die Fusionsstrecke einbezogen. In dieser Gruppe betrug der präoperative VAS-Score im Durchschnitt 7,7 präoperativ und 4,8 postoperativ mit einem  $\Delta$ VAS-Wert von 2,9.

#### 3.4.2.17 Spondylodesen unter Schonung des kaudalen Segmentes

Bei 32 der 105 Patienten (entsprechend 30,5%) war das kaudal letzte Segment nicht fusioniert worden. Bei diesen Patienten lag der durchschnittliche präoperative VAS-Score bei 7,8, der postoperative bei 4,1. Dies entspricht einem  $\Delta$ VAS von 3,7.

In der statistische Ausarbeitung der Ergebnisse aus den Kapiteln 3.4.2.16 und 3.4.2.17 mittels der Varianzanalyse (One-Way-ANOVA-Test) bestätigt sich zum einen, dass sich die Varianzen hinsichtlich der Ergebnisse aus den beiden genannten Gruppen statistisch nicht unterscheiden (P-Wert = 12%). Bei der Betrachtung der  $\Delta$ VAS-Werte in diesen beiden Gruppen zeigt sich zum anderen, dass ein statistisch signifikanter Unterschied (P-Wert = 5%) besteht. In der Interpretation bedeutet dies, dass Patienten, die sich einer Spondylodese unter Schonung des letzten kaudalen Segmentes unterzogen haben, ein signifikant besseres subjektives Operationsergebnis zum Nachuntersuchungszeitpunkt aufwiesen.

### 3.4.3 Oswestry-Disability-Index

#### 3.4.3.1 Gesamtgruppe

Bezogen auf den Disability Index (DI) betrug der präoperative Mittelwert im Gesamtkollektiv 51,9% (30-91, SA 11,8), der postoperative Durchschnitt betrug 35,0% (12-74, SA 11,8). Damit lag die absolute Änderung des DI bei 16,9%, was einer relativen Verbesserung ( $\Delta$ DI) von 32,6% entspricht. Bei 93,3% der Patienten (entsprechend 98 von 105) im Gesamtkollektiv stellte sich eine Verbesserung des Disability-Index ein, bei 6,7% (entsprechend 7 von 105 Patienten) wurde eine Verschlechterung in der subjektiven Einschätzung offenkundig. Abbildung 21 stellt die Verteilungshäufigkeit des prä- und postoperativen Disability-Index graphisch dar. Hierzu wurde die Prozentpunkte-Verteilung in 10%-Schritten vollzogen, so dass insgesamt zehn DI-Wert-Kategorien unterschieden werden können. Dabei entspricht ein hoher Prozentrang einer stärkeren subjektiven Einschränkung und ein niedriger Prozentwert einer entsprechend geringeren Einschränkung in den alltäglichen Verrichtungen.

Der Two-Sample T-Test konnte die Ergebnisse als signifikant einstufen ( $p=0,001$ ), so dass statistisch gesehen die operative Versorgung mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Verbesserung im Disability Index bewirkt.

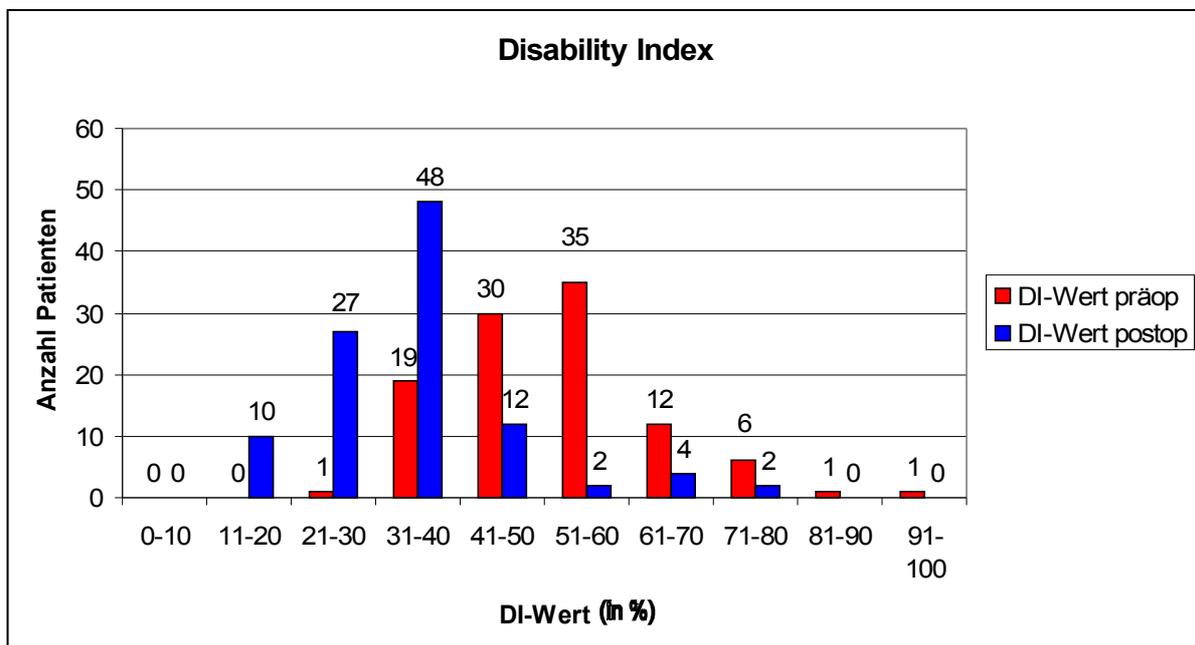


Abbildung 21: Verteilungshäufigkeit des prä- und postoperativen DI

Tabelle 11 soll in Analogie zu Tabelle 9 einen Vergleich der subjektiven DI-Werte in Bezug auf die verschiedenen Operationsindikationen sowie die unterschiedlichen Spondylodeseausmaße ermöglichen.

	Anzahl Patienten	Disability Index präoperativ			Disability Index postoperativ			Änderung	Δ DI
		MW	min-max	SA	MW	min-max	SA		
<b>Gesamtgruppe</b>	<b>105</b>	<b>51,9%</b>	<b>30-91</b>	<b>11,8</b>	<b>35,0%</b>	<b>12-74</b>	<b>11,8</b>	<b>16,9%</b>	<b>32,6%</b>
Osteochondrose	53	48,3%	30-72	10,0	34,0%	12-74	11,8	14,3%	29,6%
degenerative Skoliose	19	60,9%	40-89	11,2	40,6%	22-64	11,2	20,3%	33,3%
FBSS	17	51,6%	32-91	14,0	33,2%	18-62	9,9	18,4%	35,7%
Pseudolisthese	11	50,5%	38-64	7,1	36,5%	24-70	12,8	14,0%	27,7%
degenerative Stenose	5	59,4%	40-72	10,9	27,2%	16-42	8,4	32,2%	54,2%
3 Segmente	77	49,1%	30-91	11,1	33,7%	12-74	12,1	15,4%	31,4%
4 Segmente	23	58,3%	40-89	11,0	38,1%	22-64	10,7	20,2%	34,7%
5 Segmente	4	66,0%	64-72	3,5	39,5%	38-40	0,9	26,5%	40,2%
6 Segmente	1	58,0%			50,0%			8,0%	13,8%

Tabelle 11: DI-Vergleich in Abhängigkeit von Diagnose und OP-Ausmaß

### 3.4.3.2 Osteochondrose

Der Disability-Index bei den 53 Patienten dieser Gruppe betrug präoperativ 48,3% (SA 10,0) im Vergleich zu 51,9% in der Gesamtgruppe. Postoperativ wurde ein Wert von 34,0% (SA 11,8) ermittelt, was einer absoluten Änderung von 14,3% und einer relativen Verbesserung von 29,6% entspricht (siehe Tabelle 11). Dabei gaben 4 von 53 Patienten (entsprechend 7,6%) eine Verschlechterung im Vergleich zum präoperativen Status an.

### 3.4.3.3 Degenerative Skoliose

Die Auswertung des Oswestry-Disability-Index für diese 19 Patienten zählende Gruppe ergab präoperativ einen DI-Wert von 60,9% (SA 11,1) und postoperativ einen Wert von 40,6% (SA 11,2), womit eine absolute Verbesserung um 20,3% und eine relative Änderung um 33,3% erzielt wurde (siehe Tabelle 11). Alle Patienten in dieser Gruppe gaben im Übrigen zum Nachuntersuchungszeitpunkt eine Verbesserung im Vergleich zur präoperativen Situation an.

### 3.4.3.4 Voroperierte Patienten (FBSS)

Wenn man die Gruppe der 17 Patienten mit einem Failed-Back-Surgery-Syndrom auswertet, so stellt man einen DI-Mittelwert von 51,6% (SA 14,0) präoperativ und 33,2% (SA 9,9) postoperativ fest, was einer Linderung um 18,4% bzw. einem  $\Delta$ DI von 35,7% entspricht (siehe Tabelle 11). Ein Patient (entsprechend 5,9%) beklagte eine Verschlechterung, 16 Patienten gaben eine Verbesserung im DI an.

### 3.4.3.5 Degenerative Spondylolisthesis

In dieser Patientengruppe (11 von 105 Patienten) lag der präoperative DI-Durchschnittswert bei 50,5% (SA 7,1). Nach der operativen Versorgung wurde im Mittel ein Wert von 36,5% (SA 12,8) bestimmt, so dass eine absolute Änderung um 14,0% resultierte. Die relative Änderung betrug 27,7% (siehe Tabelle 11), wobei zwei der elf Patienten nicht von der Spondylodese profitiert haben (entsprechend 18,2%).

### 3.4.3.6 Degenerative Spinalkanalstenose

Fünf Fusionsoperationen erfolgten aufgrund einer degenerativen Spinalstenose mit einem präoperativen Mittelwert des Disability-Index von 59,4% (SA 10,9) sowie einem postoperativen Durchschnitts-Index von 27,2% (SA 8,4). Sämtliche Patienten gaben eine Verbesserung im subjektiven Empfinden an, was sich in einer positiven Absolut-Änderung von 32,2% und in einer relativen Veränderung von 54,2% widerspiegelt (siehe Tabelle 11).

#### 3.4.3.7 Dreisegmentale Spondylodesen

Wie aus Tabelle 11 zu entnehmen beträgt der Mittelwert im präoperativen Oswestry-Index in dieser 77 Patienten messenden Untergruppe 49,1% (SA 11,1), postoperativ ergab die Auswertung einen Durchschnitt von 33,7% (SA 12,1). Alle sieben Patienten, die eine mittelfristige Verschlechterung postoperativ angaben, befinden sich in dieser Gruppe der dreisegmentalen Spondylodesen; dies entspricht 9,1% (7 von 77 Patienten). Daher zeigten sich 70 Patienten postoperativ beschwerdegebessert. Im Durchschnitt ergab sich eine absolute Änderung um 15,4% und eine relative Veränderung des DI um 31,4%.

#### 3.4.3.8 Viersegmentale Spondylodesen

23 Patienten gaben einen präoperativen Mittelwert von 58,3% (SA 11,0) und postoperativ von 38,1% (SA 10,7) an, was eine Verbesserung im absoluten Prozentrang um 20,2% und eine relative Verbesserung um 34,7% bedeutet (siehe Tabelle 11). Sämtliche Patienten gaben hinsichtlich der Bewerkstelligung alltäglicher Tätigkeiten einen Profit durch die Operation an.

#### 3.4.3.9 Fünfsegmentale Spondylodesen

Die vier Patienten dieser Kategorie hatten einen präoperativen DI-Wert von 66,0% (SA 3,5), wohingegen postoperativ ein Durchschnittswert von 39,5% (SA 0,9) zu Buche steht (siehe Tabelle 11). Absolute und relative Besserung betragen 26,5% bzw. 40,2%. Alle vier Patienten dieser Gruppe gaben eine subjektive Verbesserung an.

#### 3.4.3.10 Sechssegmentale Spondylodesen

Eine Patientin mit einem Nachuntersuchungszeitraum von 43 Monaten gab im Oswestry-Fragebogen präoperativ eine Einschränkung im Alltag entsprechend 58,0% und postoperativ entsprechend 50,0% an. Dies entspricht einer relativen Verbesserung um 13,8% (siehe Tabelle 11).

#### 3.4.3.11 Pseudarthrose

In dieser Gruppe haben wir die drei gesicherten und eine fragliche Pseudarthrose zusammengefasst und ausgewertet. Dabei betrug der präoperative DI-Mittelwert 46,5 (34-58, SA 9,8), der postoperative Index ergab 36,3% (22-48, SA 9,4). Daher ergab sich eine Verbesserung absolut um 10,2%, relativ um 21,9%. Ein Patient profitierte nicht von der Operation und verschlechterte sich im Score um 14 Prozentpunkte, drei Patienten zeigten sich trotz der Ausbildung einer Pseudarthrose im präoperativen Vergleich beschwerdegelindert.

#### 3.4.3.12 Konsolidierung

101 Patienten (96,2%) zeigten eine gesicherte radiologische Konsolidierung. Hier betrug der präoperative Mittelwert 52,1% (30-91, SA 11,8), postoperativ wurde ein

Index von 35,0% (12-74, SA 11,9) berechnet, woraus sich eine absolute Besserung um 17,1% und eine relative Veränderung um 32,8% ergab. Sechs Patienten (5,9%) bestätigten eine Beschwerdezunahme trotz knöcherner Konsolidierung. Entsprechend gaben 95 Patienten (94,1%) eine Verbesserung im DI an.

#### 3.4.3.13 Pedikelschraubenlockerung

Die Patientengruppe (n=12) mit radiologisch nachgewiesener Pedikelschraubenlockerung konnte einen präoperativen Mittelwert von 58,1% (46-71, SA 7,9) und einen postoperativen Mittelwert von 46,4% (24-70, SA 13,9) vorweisen. Daraus lässt sich eine Besserung absolut um 11,7% und relativ um 20,1% ableiten. In dieser Gruppe beklagten drei Patienten eine mittel- bis langfristige, postoperative Beschwerdezunahme um durchschnittlich 10,0% im Absolutwert und 19,5% im Relativvergleich. Neun Patienten zeigten eine Besserung des DI.

Eine statistische Analyse mit dem One-Way-ANOVA-Test konnte auch in diesem Fall einen Zusammenhang zwischen der Differenz des prä- und postoperativen Disability Index und einer nachgewiesenen Pedikelschraubenlockerung herstellen ( $p < 0,05$ ). Somit wirkt sich eine Pedikelschraubelockerung negativ auf das Operationsergebnis (hier Disability Index) aus.

#### 3.4.3.14 Pedikelschraubennavigation

Die 15 mittels computerunterstützter Pedikelschraubennavigation operierte Patienten zeigten einen präoperativen DI-Score von 59,3% (42-72, SA 9,1), einen postoperativen Wert von 39,8% (24-62, SA 9,6) im Durchschnitt, damit also eine Änderung von 19,5% bzw. eine relative Verbesserung um 32,9%. Alle Patienten dieser Gruppe bestätigten eine Besserung im Oswestry-Index.

#### 3.4.3.15 Nicht-navigierte Spondylodesen

Im nicht-navigierten Kollektiv (90 von 105 Patienten) betrug der Mittelwert im Disability-Index 50,6% (30-91, SA 11,8) präoperativ, bzw. 34,2% (12-74, SA 11,9) postoperativ mit einer Absolut-Besserung um 16,4% und einer relativen Veränderung von 32,4%. Insgesamt wurde in 7,8% der Fälle (7 von 90) eine Verschlechterung und in 92,2% eine Verbesserung im Score festgestellt.

#### 3.4.3.16 Spondylodesen unter Einschluss des kaudalen Segmentes

Hierunter sind diejenigen Spondylodesen subsumiert, bei welchen das letzte freie Segment - also LWK<sub>5</sub>/SWK<sub>1</sub> bzw. SWK<sub>1</sub>/SWK<sub>2</sub> - mit in die Spondylodesestrecke einbezogen wurde. Betroffen sind 73 der 105 Patienten (entsprechend 69,5%). Der Mittelwert im Disability-Index betrug präoperativ 50,2% und postoperativ 34,8% mit einer Differenz von 15,4% und einer relativen Verbesserung um 30,7%.

#### 3.4.3.17 Spondylodesen unter Schonung des kaudalen Segmentes

Spondylodesen mit kaudalem Abschluss bei LWK<sub>5</sub> bzw. LWK<sub>6</sub> sind hier zusammengefasst. Davon sind 32 der 105 Patienten betroffen (entsprechend 30,5%). Der präoperative DI-Mittelwert betrug 55,6%, der postoperative 35,7% mit einer

entsprechenden absoluten Differenz von 19,9% und einer relativen Besserung um 35,8 Prozentpunkte.

Die statistische Analyse mittels One-Way-ANOVA-Test zeigt in Bezug auf die Kapitel 3.4.3.16 und 3.4.3.17 auf, dass ein signifikant besseres Ergebnis im postoperativen Oswestry-Disability-Score in der Gruppe der Patienten ohne Spondylodese des letzten kaudalen Segmentes vorliegt (P-Wert = 5%).

### 3.4.4 Subjektive Beurteilung des Operationsergebnisses

Die Patienten wurden im Rahmen der Nachuntersuchung gebeten, eine subjektive Bewertung des Operationsergebnisses vorzunehmen. Diese retrospektive Sichtweise ermöglicht eine allgemeine Aussage seitens der Patienten, ohne spezielle Gesichtspunkte auszuklammern oder explizit zu betonen. Dabei wurden den Patienten fünf Kategorien vorgegeben, aus welchen eine auszuwählen war. Die fünf Antwortmöglichkeiten sind der Tabelle 8 (s. Seite 44) zu entnehmen.

#### 3.4.4.1 Gesamtgruppe

Zunächst wurden alle 105 Patienten der Gesamtgruppe bezüglich ihrer Antworten ausgewertet. Dabei zeigten sich 17 der 105 Patienten (entsprechend 16,2%) mit dem Operationsergebnis *sehr zufrieden* und 55 Patienten (entsprechend 52,4%) mit dem Operationsergebnis *zufrieden*. Lediglich *mäßig zufrieden* waren 22 Patienten (entsprechend 20,9%). Mit dem postoperativen, mittelfristigen Ergebnis erklärten sich 6 Patienten (entsprechend 5,7%) *wenig zufrieden*. Mit dem Operationsergebnis konnten sich letztlich fünf Patienten (entsprechend 4,8%) *nicht zufrieden* geben. Eine graphische Darstellung der Patientenzufriedenheit in Abhängigkeit vom Geschlecht bietet Abbildung 22, eine relative Verteilung Tabelle 12.

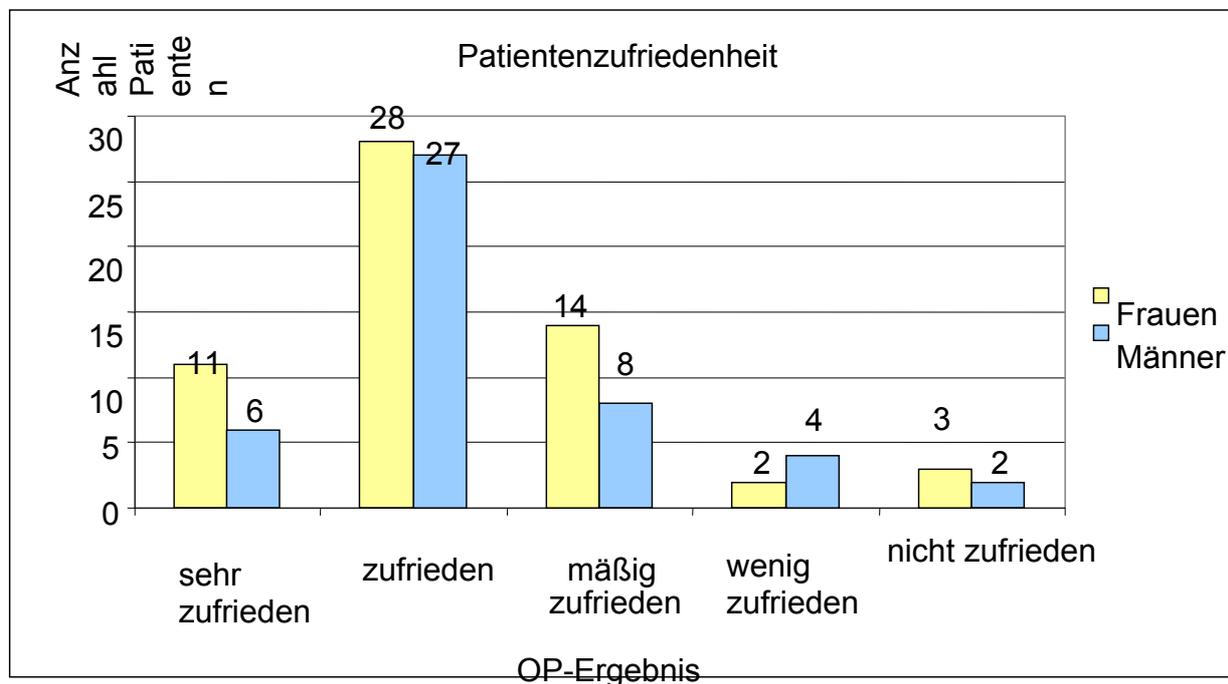


Abbildung 22: Patientenzufriedenheit der Gesamtgruppe in Abhängigkeit vom Geschlecht

OP-Ergebnis	Gesamtgruppe	Frauen	Männer
sehr zufrieden	16,2%	19,0%	12,8%
zufrieden	52,4%	48,3%	57,4%
mäßig zufrieden	20,9%	24,1%	17,0%
wenig zufrieden	5,7%	3,4%	8,5%
nicht zufrieden	4,8%	5,2%	4,3%

#### 3.4.4.2 Osteochondrose

In der Osteochondrose-Gruppe (n=53) waren 32 Patienten (entsprechend **60,4%**) mit dem Operationsergebnis **sehr zufrieden** oder **zufrieden**, lediglich sechs Patienten (entsprechend 11,3%) zeigten sich *wenig* bzw. *nicht zufrieden*. In Tabelle 13 sind die einzelnen Ergebnisse aufgeschlüsselt wiedergegeben.

**Tabelle 12: Relative Verteilung der Patientenzufriedenheit in der Gesamtgruppe**

Osteochondrosen n = 53	Frauen		Männer	
	Anzahl	in %	Anzahl	in %
sehr zufrieden	2	3,8	3	5,7
zufrieden	10	18,9	17	32,1
mäßig zufrieden	10	18,9	5	9,4
wenig zufrieden	0	0	3	5,7
nicht zufrieden	2	3,8	1	1,9

**Tabelle 13: Patientenzufriedenheit in der Osteochondrose-Gruppe**

#### 3.4.4.3 Degenerative Skoliose

Die Gruppe der degenerativen Skoliosen (n=19) besteht zu 84,2% aus Frauen. Insgesamt erklärten sich **31,6%** (6 von 19) mit der erfolgten Operation **sehr zufrieden** und 52,6% (10 von 19) **zufrieden**. Kein Patient äußerte eine Unzufriedenheit (siehe Tabelle 14).

Degenerative Skoliosen n = 19	Frauen		Männer	
	Anzahl	in %	Anzahl	in %
sehr zufrieden	5	26,3	1	5,3
zufrieden	8	42,1	2	10,5
mäßig zufrieden	3	15,8	0	0
wenig zufrieden	0	0	0	0
nicht zufrieden	0	0	0	0

**Tabelle 14: Patientenzufriedenheit in der Gruppe der degenerativen Skoliosen**

#### 3.4.4.4 Voroperierte Patienten (FBSS)

Von den 17 Patienten der FBSS-Gruppe gaben **64,7%** (11 von 17) an, mit der Spondylodese **sehr zufrieden** oder **zufrieden** zu sein. Lediglich ein Patient (entsprechend 5,9%) war *nicht zufrieden*. Weitere Angaben finden sich in Tabelle 15.

FBSS n = 17	Frauen		Männer	
	Anzahl	in %	Anzahl	in %
sehr zufrieden	2	11,8	1	5,9
zufrieden	5	29,4	3	17,6
mäßig zufrieden	1	5,9	2	11,8
wenig zufrieden	1	5,9	1	5,9
nicht zufrieden	0	0	1	5,9

**Tabelle 15: Patientenzufriedenheit in der FBSS-Gruppe**

#### 3.4.4.5 Degenerative Spondylolisthesis

**72,7%** (8 von 11) waren **sehr zufrieden** oder **zufrieden**, je ein Patient war *mäßig*, *wenig* oder *nicht zufrieden* (siehe Tabelle 16).

Pseudospondylolisthesis n = 11	Frauen		Männer	
	Anzahl	in %	Anzahl	in %
sehr zufrieden	1	9,1	0	0
zufrieden	4	36,4	3	27,3
mäßig zufrieden	0	0	1	9,1
wenig zufrieden	1	9,1	0	0
nicht zufrieden	1	9,1	0	0

**Tabelle 16: Patientenzufriedenheit in der Pseudolisthese-Gruppe**



### 3.4.4.6 Degenerative Spinalkanalstenose

Lediglich fünf Patienten befinden sich in dieser Kategorie. Davon gaben alle (**100%**) an, mit der operativen Stabilisierung **sehr zufrieden** (40%) oder **zufrieden** (60%) zu sein (siehe Tabelle 17).

degenerative Spinalstenose n = 5	Frauen		Männer	
	Anzahl	in %	Anzahl	in %
sehr zufrieden	1	20	1	20
zufrieden	1	20	2	40
mäßig zufrieden	0	0	0	0
wenig zufrieden	0	0	0	0
nicht zufrieden	0	0	0	0

**Tabelle 17: Patientenzufriedenheit in der Gruppe der degenerativen Spinalstenose**

### 3.4.4.7 Dreisegmentale Spondylodesen

Die Daten der größten Gruppe der dreisegmental fusionierten Patienten sind in Tabelle 18 zusammengefasst. In dieser Gruppe bewerteten **68,8%** (53 von 77) der Patienten das Operationsergebnis mit **sehr zufrieden** oder **zufrieden**. Die Angabe *wenig zufrieden* machten 10,4% (8 von 77) und *nicht zufrieden* waren 6,5% (5 von 77). Siehe auch Tabelle 18.

dreisegmental n = 77	Frauen		Männer	
	Anzahl	in %	Anzahl	in %
sehr zufrieden	2	2,6	6	7,8
zufrieden	22	28,6	23	29,9
mäßig zufrieden	10	13,0	3	3,9
wenig zufrieden	2	2,6	4	5,2
nicht zufrieden	3	3,9	2	2,6

**Tabelle 18: Patientenzufriedenheit in der Gruppe der dreisegmental Operierten**

#### 3.4.4.8 Viersegmentale Spondylodesen

Von 23 über vier Segmente fusionierten Patienten gaben **69,6%** (16 von 23) der Patienten das Urteil **sehr zufrieden** oder **zufrieden** ab. *Mäßig zufrieden* zeigten sich 30,4%, also sieben der 23 Patienten (siehe Tabelle 19).

viersegmental n = 23	Frauen		Männer	
	Anzahl	in %	Anzahl	in %
sehr zufrieden	7	30,4	0	0
zufrieden	5	21,7	4	17,4
mäßig zufrieden	2	8,7	5	21,7
wenig zufrieden	0	0	0	0
nicht zufrieden	0	0	0	0

**Tabelle 19: Patientenzufriedenheit in der Gruppe der viersegmental Operierten**

#### 3.4.4.9 Fünfsegmentale Spondylodesen

Bei lediglich vier fünfsegmentalen Fusionsoperationen (sämtlich Frauen) waren drei (entsprechend **75%**) **sehr zufrieden** oder **zufrieden** und eine weitere *mäßig zufrieden* (entsprechend 25%).

#### 3.4.4.10 Sechssegmentale Spondylodese

Die Patientin, deren Wirbelsäule über sechs Segmente stabilisiert worden war, bewertete die Operation mit *mäßig zufrieden*. Hauptursächlich werden die beidseitige Lockerung der L<sub>5</sub>-Pedikelschrauben sowie eine therapieresistente Beschwerdesymptomatik im Bereich beider Sakroiliakalgelenke sein.

#### 3.4.4.11 Pseudarthrose

In der verhältnismäßig kleinen Gruppe der Patienten mit Pseudarthrose (n=4) konnten zwei Patientinnen das Ergebnis mit **zufrieden** bezeichnen (entsprechend **50%**), während eine Patientin *mäßig zufrieden* war. Ein Mann mit Pseudarthrose zeigte sich *nicht zufrieden* mit dem Resultat.

### 3.4.4.12 Konsolidierung

In der Gruppierung mit vollständiger Konsolidierung der Spondylodesestrecke (n=101) waren **69,3%** (entsprechend 70 von 101) der Patienten überzeugt vom Operationsergebnis und urteilten mit **sehr zufrieden** oder **zufrieden**. Zehn Patienten (entsprechend 9,9%) werteten mit *wenig* bzw. *nicht zufrieden* (siehe *Tabelle 20*).

Konsolidierung n = 101	Frauen		Männer	
	Anzahl	in %	Anzahl	in %
sehr zufrieden	10	9,9	7	6,9
zufrieden	26	25,7	27	26,7
mäßig zufrieden	13	12,9	8	7,9
wenig zufrieden	2	2,0	4	4
nicht zufrieden	3	3,0	1	1

**Tabelle 20: Patientenzufriedenheit in der Gruppe mit vollständiger Konsolidierung**

### 3.4.4.13 Pedikelschraubenlockerung

Bei zwölf Patienten mit insgesamt 24 Pedikelschraubenlockerungen war kein Patient **sehr zufrieden**, fünf Patienten zeigten sich **zufrieden** (entsprechend **41,7%**), drei Frauen und ein männlicher Patient bewerteten das Ergebnis mit einem *mäßig zufrieden* (entsprechend 33,3%). Eine Patientin (entsprechend 8,3%) beklagte ein unbefriedigendes Ergebnis (*wenig zufrieden*) und je ein Mann und eine Frau gaben ein *nicht zufrieden* zu Protokoll (entsprechend 16,7%).

### 3.4.4.14 Pedikelschraubennavigation

In dieser Kategorie (n=15) fand sich kein Patient mit *wenig* oder *nicht zufrieden*, während **86,7%** (entsprechend 13 von 15) der Patienten **sehr zufrieden** oder **zufrieden** waren (siehe *Tabelle* ).

Navigation n = 15	Frauen		Männer	
	Anzahl	in %	Anzahl	in %
sehr zufrieden	3	20,0	1	6,7
zufrieden	4	26,7	5	33,3
mäßig zufrieden	2	13,3	0	0
wenig zufrieden	0	0	0	0
nicht zufrieden	0	0	0	0

**Tabelle 21: Patientenzufriedenheit in der Gruppe mit Pedikelschraubennavigation**

### 3.4.4.15 Nicht-navigierte Spondylodesen

Die Angaben derjenigen Patienten, die keinem computernavigierten Verfahren unterzogen wurden, sind in Tabelle zusammengefasst. Demnach überwog mit **65,6%** (entsprechend 59 von 90) der Anteil derjenigen Patienten mit **sehr zufriedenem** oder **zufriedenem** Ergebnis. Mit dem Resultat *wenig* oder *nicht zufrieden* waren 12,2% (11 von 90) der Operierten.

ohne Navigation n = 90	Frauen		Männer	
	Anzahl	in %	Anzahl	in %
sehr zufrieden	8	8,9	5	5,5
zufrieden	24	26,7	22	24,4
mäßig zufrieden	12	13,3	8	8,8
wenig zufrieden	2	2,2	4	4,4
nicht zufrieden	3	3,3	2	2,2

**Tabelle 22: Patientenzufriedenheit in der Gruppe ohne Pedikelschraubennavigation**

### 3.4.4.16 Spondylodesen unter Einschluss des kaudalen Segmentes

In dieser aus 73 Patienten bestehenden Kategorie waren **64,4%** der Patienten mit dem Operationsergebnis **sehr zufrieden** (neun der 73 Patienten) bzw. **zufrieden** (38 der 73 Patienten), 21,9% (entsprechend 16 der 73 Patienten) *mäßig zufrieden* und 13,7% *wenig zufrieden* (sechs Patienten) bzw. *nicht zufrieden* (vier Patienten).

### 3.4.4.17 Spondylodesen unter Schonung des kaudalen Segmentes

Von den 32 Patienten mit einer Spondylodese unter Schonung des kaudal letzten Segmentes waren **78,1%** (entsprechend 25 Patienten) mit dem postoperativen Ergebnis **sehr zufrieden** (acht der 32 Patienten) oder **zufrieden** (17 der 32 Patienten). 18,8% (also sechs der 32 Patienten) waren *mäßig zufrieden*, kein Patient *wenig zufrieden* und ein Patient (entsprechend 3,1%) *nicht zufrieden*.

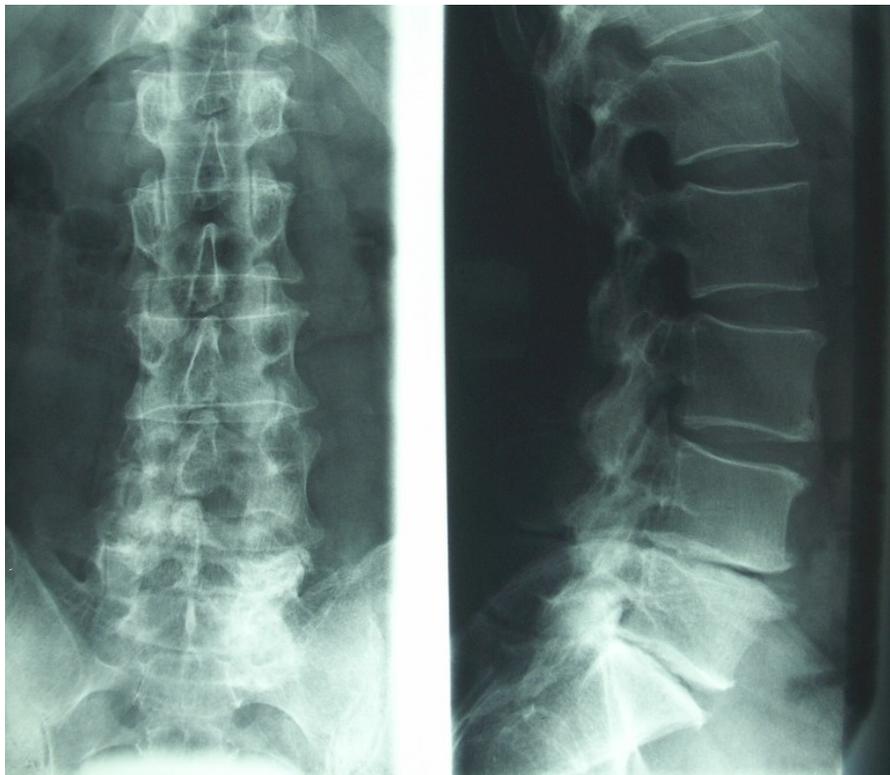
Die statistische Auswertung der Ergebnisse aus Kapitel 3.4.4.16 und 3.4.4.17 mittels  $\chi^2$ -Test zeigt in vorliegendem Fall keinen signifikanten Unterschied auf (P-Wert = 27%).

## 4 Fallbeispiele

Exemplarisch seien an dieser Stelle Röntgenaufnahmen vor und nach operativen Versorgungungen aus den fünf unterschiedlichen Indikationsgruppen vorgestellt.

### 4.1 Multisegmentale Osteochondrosen

Patient, 51 Jahre alt, dorsoventrale Spondylodese LWK<sub>3</sub> bis SWK<sub>1</sub>:



**Abbildung 23: Ausgangsbefund Juni 2003 mit Osteochondrosen LWK<sub>4</sub> bis SWK<sub>1</sub> und diskographisch nachgewiesenem Bandscheibendefekt LWK<sub>3/4</sub>**



Abbildung 24: Postoperativer Befund Juli 2003 nach dorsoventraler Spondylodese LWK<sub>3</sub> bis SWK<sub>1</sub>

## 4.2 Degenerative Skoliose

Patientin, 64 Jahre, dorsolaterale Spondylodese LWK<sub>2</sub>-SWK<sub>1</sub>

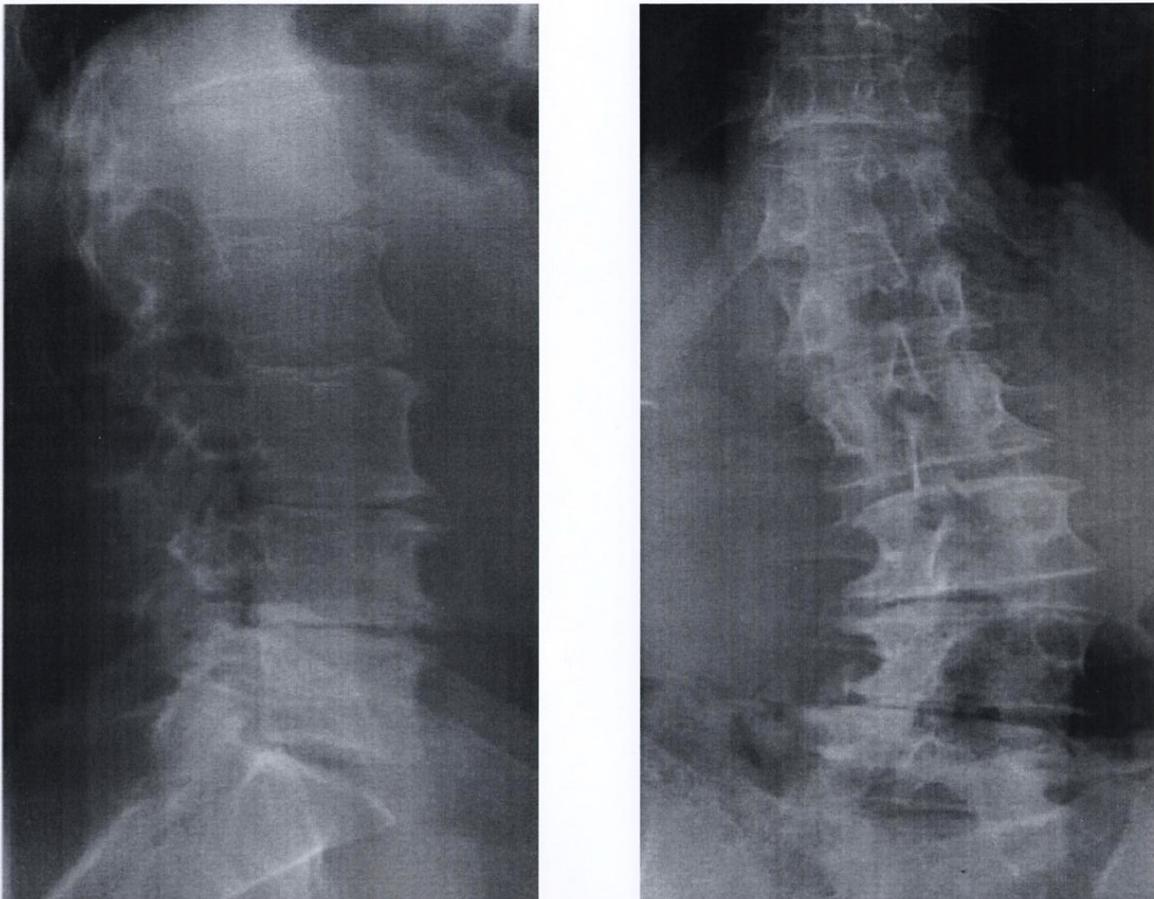
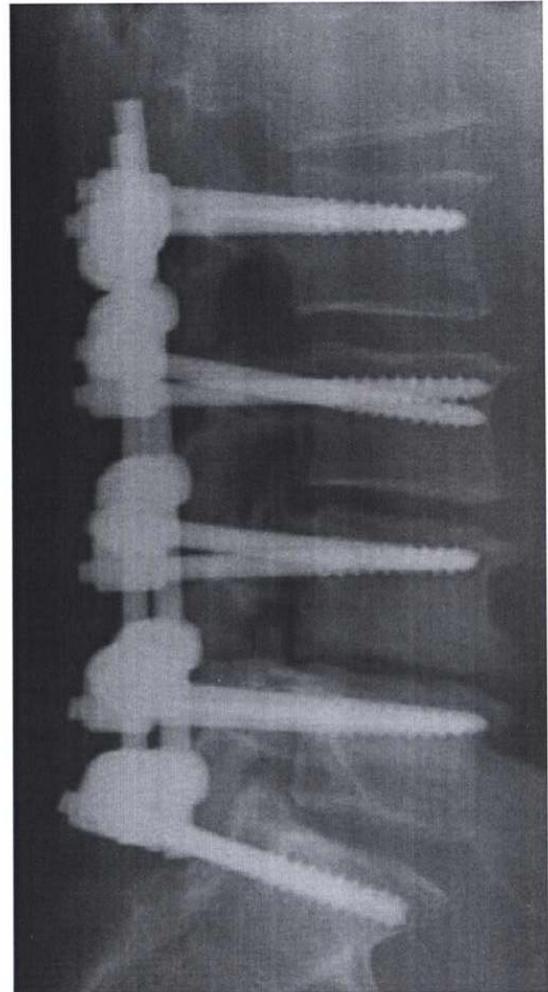
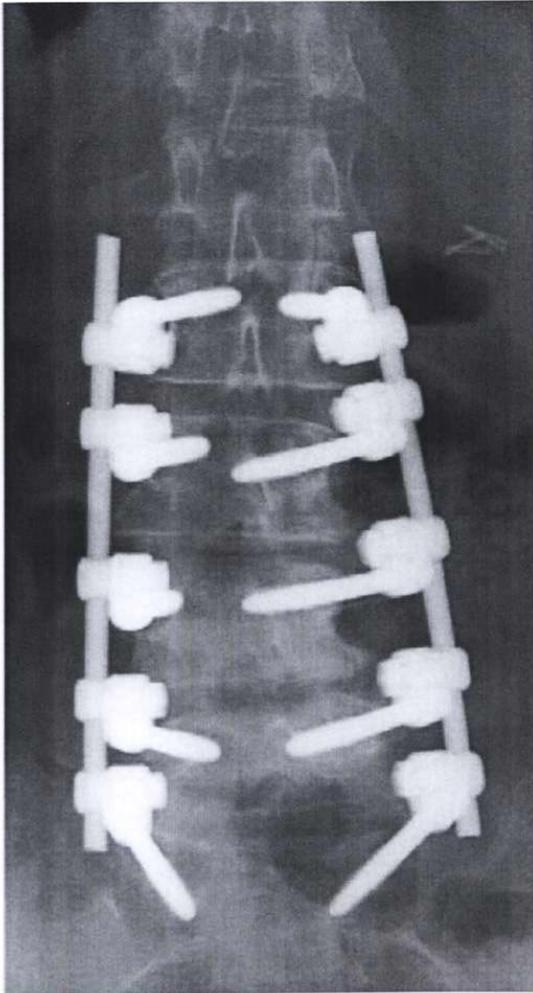


Abbildung 25: präoperativer Befund im Januar 2004 mit S-förmiger Lumbalskoliose



**Abbildung 26: Röntgenbefund neun Monate postoperativ (Oktober 2004)**

### 4.3 Failed-Back-Surgery-Syndrome

Patientin, 49 Jahre, Zustand nach auswärtig durchgeführter, zweimaliger Nukleotomie LWK<sub>4/5</sub> und nach dorsaler Stabilisierung LWK<sub>3</sub> bis SWK<sub>1</sub> mit posteriorer, lumbaler intervertebraler Spondylodese (PLIF) LWK<sub>2/3</sub> sowie einer Anschluss-Osteochondrose LWK<sub>1/2</sub>

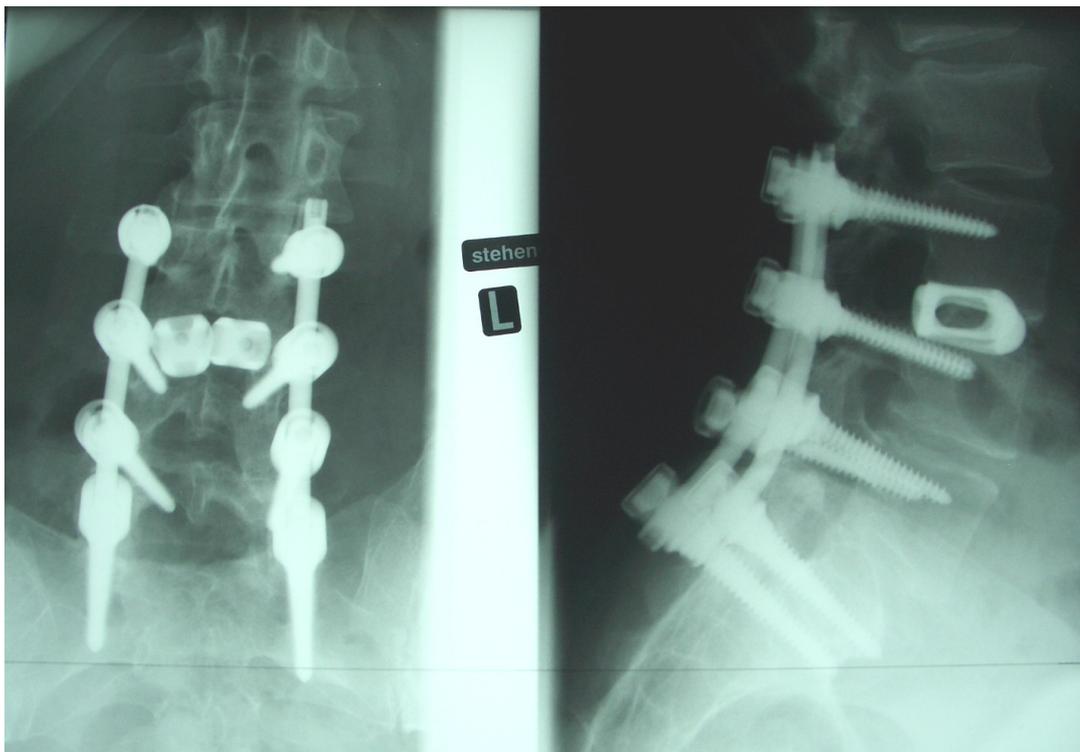
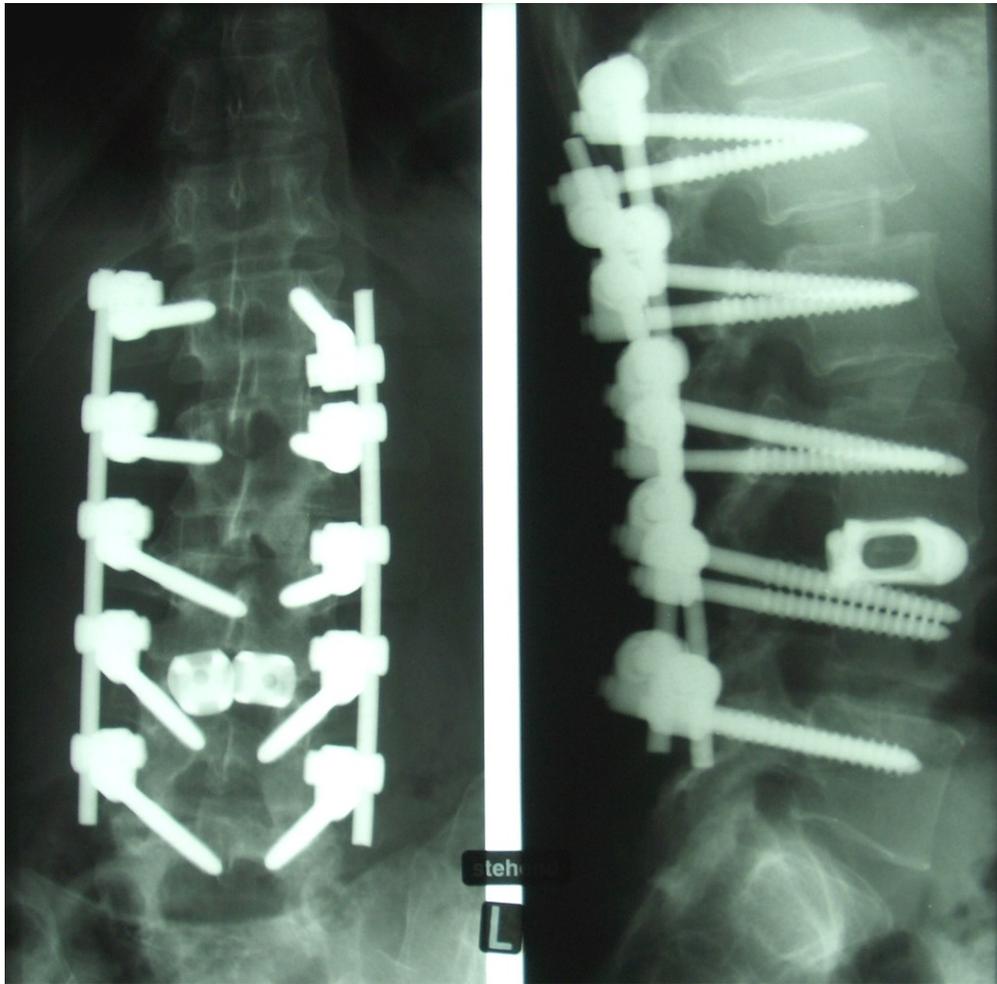
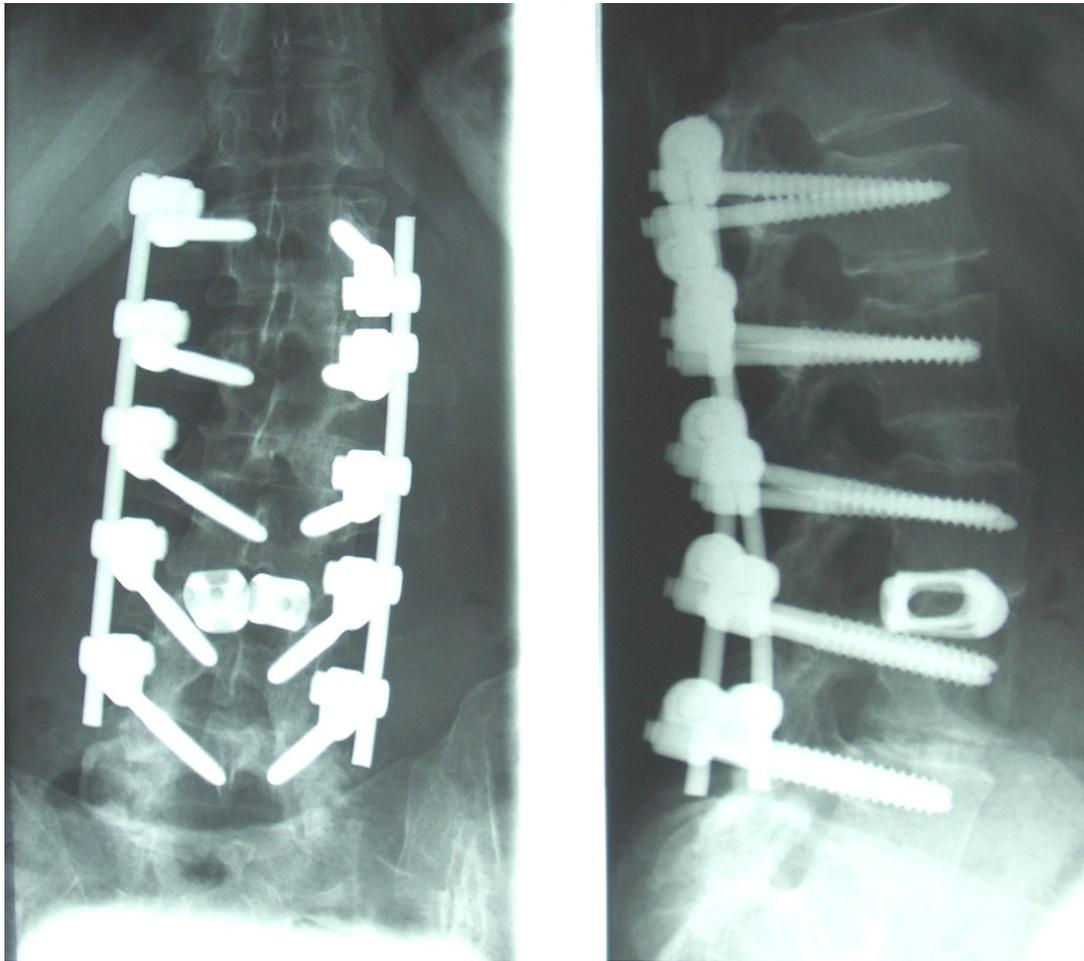


Abbildung 27: Präoperativer Befund im Mai 2002 mit Therapieresistenz sowie Anschlussosteochondrose LWK<sub>1/2</sub>



**Abbildung 28:** Postoperativer Befund im Mai 2002 nach Materialentfernung und dorsaler Stabilisierung LWK<sub>1-5</sub> sowie ventraler Spondylodese LWK<sub>1-3</sub> und LWK<sub>4/5</sub>



**Abbildung 29: Nachuntersuchungsbefund September 2004 (28 Monate Follow-up)**

## 4.4 Degenerative Instabilität

Patient, 62 Jahre, Pseudolisthesis LWK<sub>4/5</sub> mit Grad I nach Meyerding und mit multisegmentalen Osteochondrosen

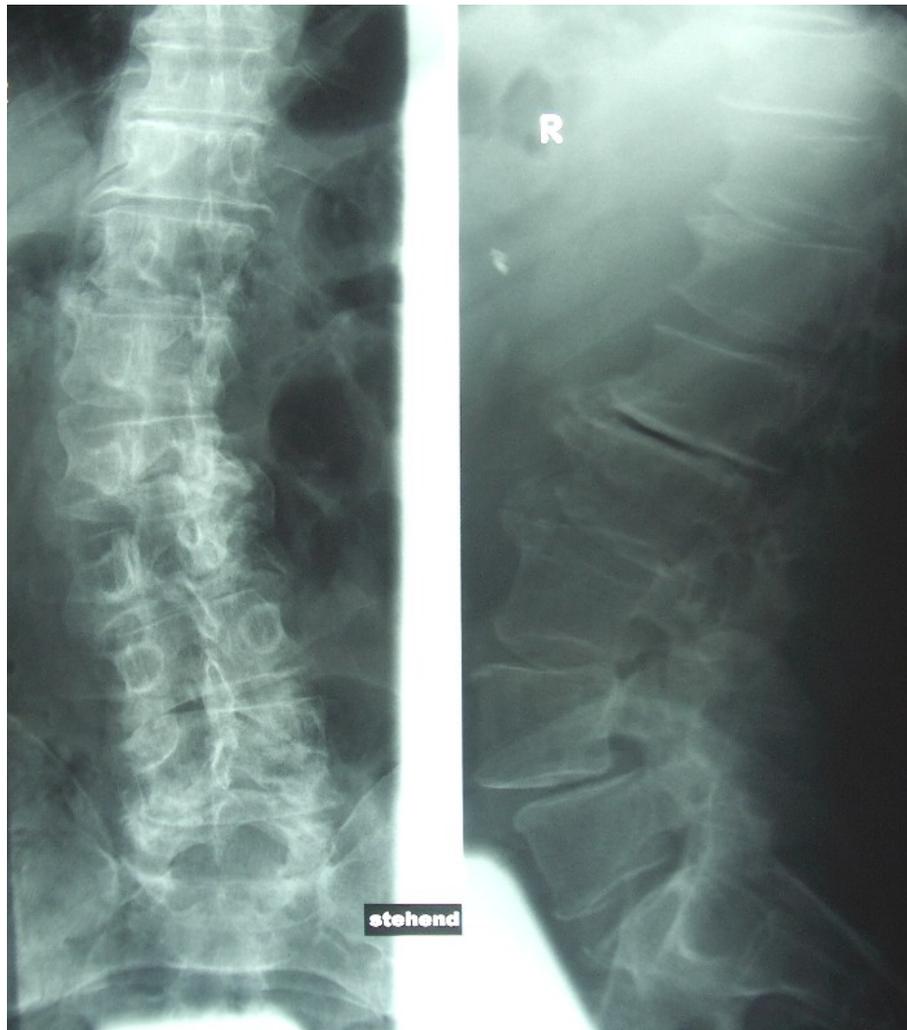
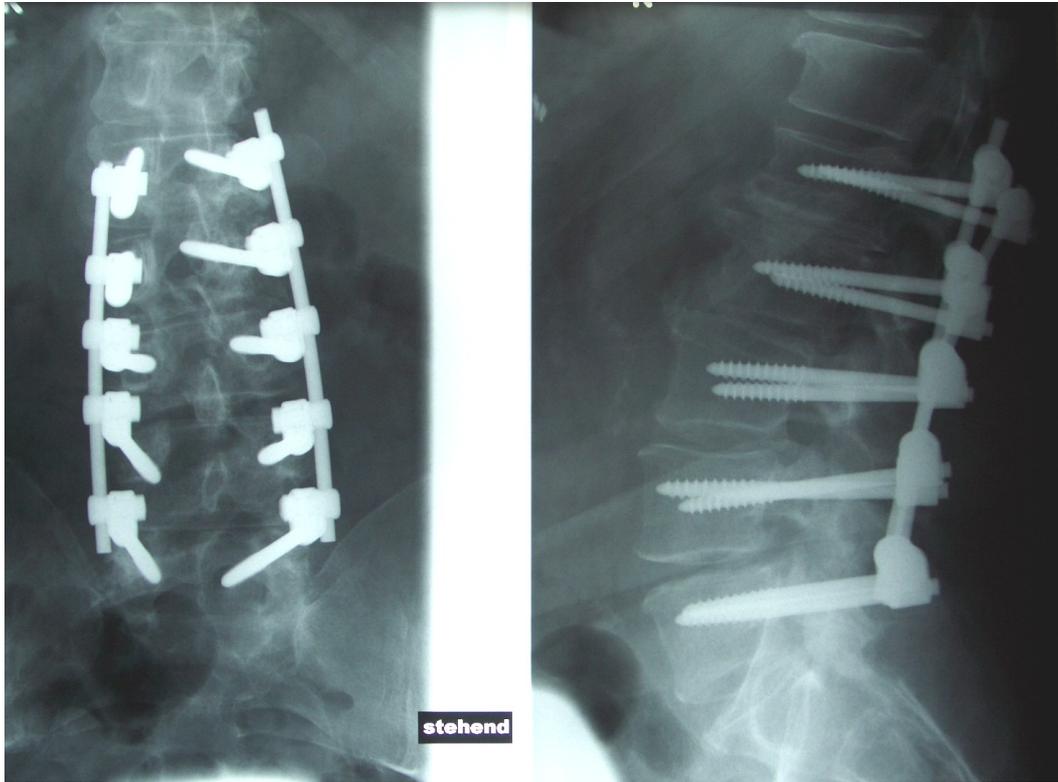


Abbildung 30: Status präoperativ im Januar 2004 mit mehrsegmentalen Gefügestörungen und Hauptbefund LWK<sub>4/5</sub>



**Abbildung 31: Aktueller Röntgenbefund vom Oktober 2004 mit dorso-lateraler Spondylodese LWK<sub>1-5</sub>**

## 4.5 Degenerative Spinalkanalstenose

Patientin, 60 Jahre, ausgeprägte Claudicatio-spinalis-Symptomatik sowie therapieresistente Lumbalgien

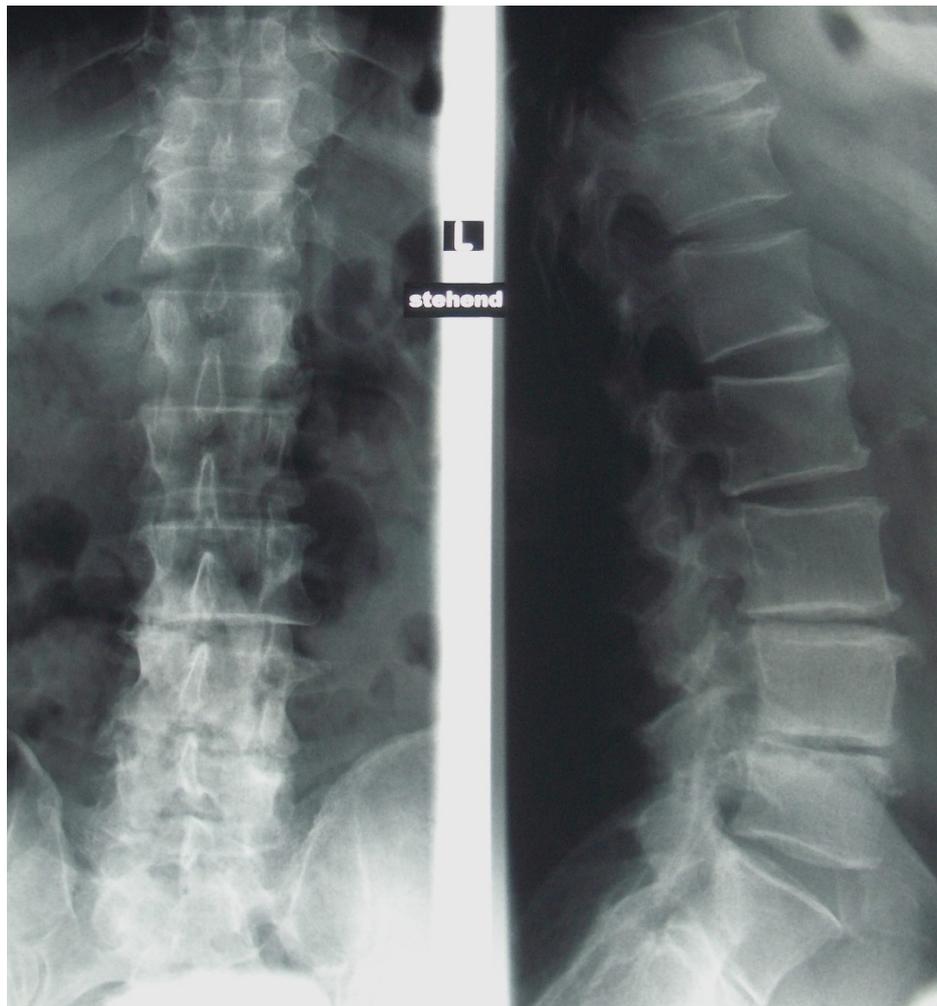
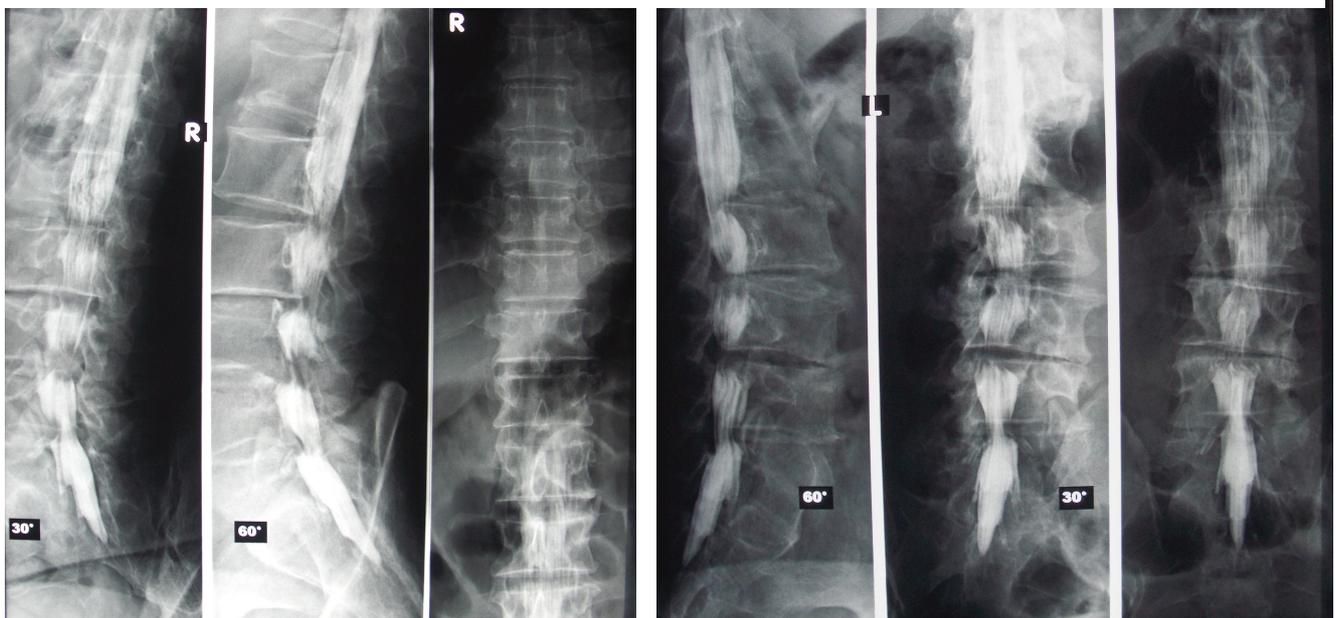
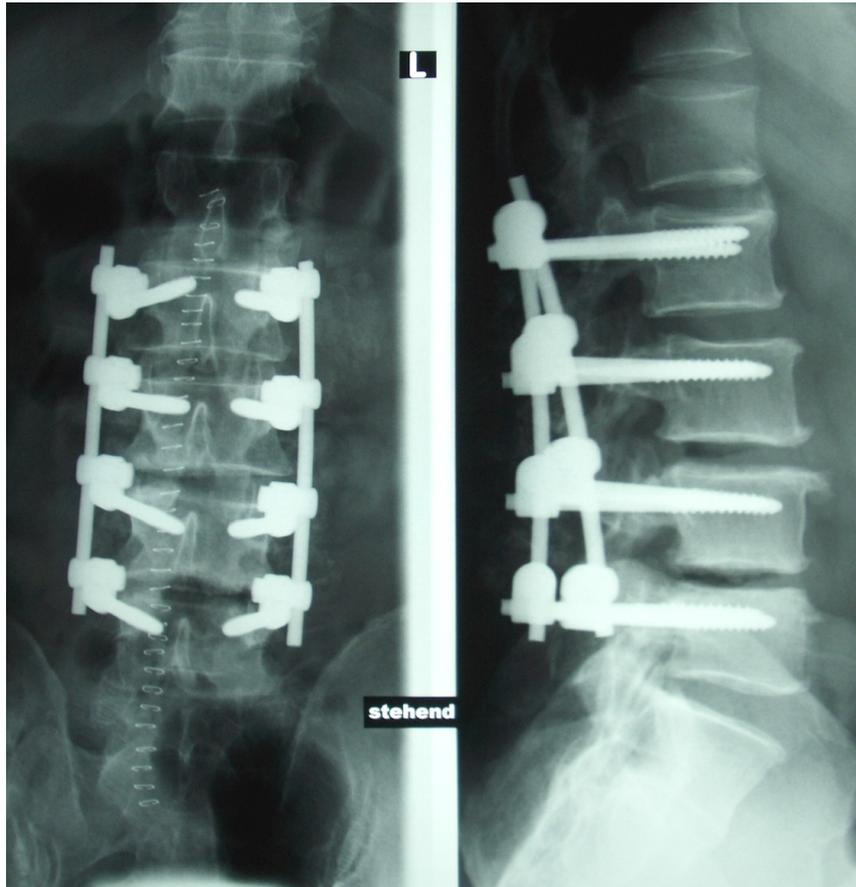


Abbildung 32: Präoperativer Röntgenbefund im November 2003



Abbildung 33: Lumbale Funktionsmyelographie präoperativ mit höhergradigen, mehrsegmentalen, zirkulären Spinalkanaleinengungen LWK<sub>2/3</sub> bis LWK<sub>4/5</sub>





**Abbildung 34: Postoperativer radiologischer Befund nach dorsolateraler Spondylodese LWK<sub>2-5</sub> im November 2003**

## 5 Diskussion

### 5.1 Allgemeines

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die prospektive Evaluierung eines für die mehrsegmentale, fixierende Wirbelsäulen Chirurgie neu entwickelten Fixateur interne mit kurz- bis mittelfristigen Ergebnissen.

Die Mehrzahl der bezüglich lumbaler Wirbelsäulenfusionen veröffentlichten Studien konzentriert sich auf mit ein bis drei Segmenten relativ kurzstreckige Spondylodesen (Christensen *et al.* 2002, Fischgrund *et al.* 1997, Freemann *et al.* 2000, Fritzell *et al.* 2001, Gertzbein *et al.* 1996, etc.). Eine Voraussetzung in unserer Studie war eine mindestens dreisegmentale dorsolaterale bzw. dorsoventrale Spondylodese. Multisegmentale, d.h. mindestens dreisegmentale intervertebrale Fusionen waren u.a. von Greiner-Perth *et al.* (2004), Lettice *et al.* (2005), Okuyama *et al.* (1999) und Rompe *et al.* (1995) zumindest mit untersucht worden, waren jedoch nicht Hauptbestandteil ihrer Studien. Rompe *et al.* beispielsweise verglichen in ihrer Arbeit aus dem Jahre 1995 Patienten, die zum einem mittels einer posterioren, lumbalen, intervertebralen Fusion (PLIF) mit transpedikulärer Spondylodese, zum anderen mittels dorsolateraler Spondylodese versorgt wurden, wobei der Fusionsumfang zu 32% ein Segment, zu 44% zwei, zu 17% drei und zu 7% vier Segmente betrug.

Das ausgewertete Patientenkollektiv in unserer Arbeit umfasst insgesamt 105 Patienten und liegt damit im Bereich anderer prospektiver Studien. Als Beispiele seien an dieser Stelle Zdeblik (1993) mit 124 Patienten, Christensen *et al.* (2002) mit 129 Patienten und Rompe *et al.* (1995) mit einem Gesamtkollektiv von 85 Patienten genannt. Lediglich multizentrische Studien oder rein retrospektive Auswertungen über längere Zeiträume weisen deutlich höhere Fallzahlen auf. Auch das Verhältnis weiblicher zu männlichen Patienten - in unserem Fall 1,2 zu 1 - unterscheidet sich nicht wesentlich von der Geschlechterverteilung in eben genannten Publikationen. Das Durchschnittsalter in unserem Patientengut beträgt 54,1 Jahre (von 28 bis 82 Jahren), was sich mit Angaben anderer Autoren deckt. Die Angaben des Durchschnittsalters bei heterogenem Patientengut reichen dabei von 44 Jahren bei Freeman *et al.* (2000) bis 63,4 Jahren bei Rompe *et al.* (1995).

Die vorliegende klinische Studie liefert kurz- bis mittelfristige Ergebnisse bei einem Nachuntersuchungszeitraum von durchschnittlich 30,2 Monaten (von 6 bis 74 Monaten). Betrachtet man vergleichbare prospektive Arbeiten, so findet man diesbezüglich in der Literatur Daten, die von 23 Monaten (Zdeblik 1993) über 32 Monate (Rompe *et al.* 1995) bis vereinzelt fünf Jahren (Christensen *et al.* 2002) Follow-up ausgehen.

Die Ergebnisbeurteilung in dieser Untersuchung beruht auf der prä- und mehrfachen postoperativen radiologischen Auswertung hinsichtlich der Fusionsrate sowie etwaiger Materialkomplikationen, des Weiteren auf der Auswertung klinischer Untersuchungen mit Dokumentation von Reflex- und Kraftstatus, von Radikulärsymptomen oder pseudoradikulären Schmerzangaben, ebenso auf der Auswertung subjektiver Angaben, die in Form der Visuellen Analogskala sowie eines

anerkannten und seit 20 Jahren in Publikationen verwendeten Fragebogens (Oswestry Low Back Pain Disability Fragebogen nach Fairbank *et al.* 1980) erhoben wurden.

## 5.2 Implantat

Eine der wesentlichen Fragenstellungen dieser Arbeit ist, ob das verwendete Implantat die hohen Anforderungen hinsichtlich der technischen Leistungsfähigkeit bei gleichzeitig einfacher Handhabung erfüllt. Einerseits stellt die Materialstabilität eines winkelstabilen Systems eine Grundvoraussetzung dar, andererseits werden von einem modernen Implantat geringe Dimension, optimale Gewebeverträglichkeit sowie weitgehend universelle Einsetzbarkeit bei breitem Indikationsspektrum erwartet. Das Augenmerk in dieser Studie wurde auf objektivierbare, für ein Pedikelschraubenimplantat typische Bewertungskriterien, also auf Pedikelschraubenlockerungen und -brüche gelegt. In den letzten Jahrzehnten wurden zahlreiche, auf Pedikelschrauben basierende Instrumentierungssysteme vorgestellt (Roy-Camille *et al.* 1970, Louis 1986, Steffee *et al.* 1986, Dick 1984, Cotrel *et al.* 1988, Kluger *et al.* 1988, Dörner 1995, Pfeiffer *et al.* 2001, Steffen *et al.* 2003). In der vorliegenden Arbeit wurde ein neuer, auf Schanzschrauben basierender Fixateur interne in seiner klinischen Anwendung untersucht.

Bezogen auf das Materialversagen, also Schrauben- oder Längsträgerbrüche sowie Pedikelschraubenlockerungen weisen die Angaben in der Literatur eine große Schwankungsbreite auf. So werden Schraubenbrüche in 0-25% der Fälle beschrieben. Louis wies bei insgesamt 266 Patienten in 3% der Fälle Schraubenbrüche und in 2% Lockerungen nach (Louis 1986). Blumenthal *et al.* beschrieben bei 470 Patienten, die mit dem „Wiltse Pedicle Screw Fixation System“ versorgt worden waren, in 3,3% implantatspezifische Komplikationen (0,9% Längsträgerbrüche, 0,9% Schraubenbrüche, 0,9% Lockerungen der Längsträger-Schrauben-Verbindung und 0,6% Schraubenlockerungen) (Blumenthal *et al.* 1993). Rompe *et al.* führten in ihrer prospektiven Studie bei 85 mittels CD-Instrumentarium operierten Patienten in 8,2% der Fälle Schraubenbrüche auf (Rompe *et al.* 1995). In 12,4% ihres Gesamtkollektivs von 105 Patienten konnten Jutte *et al.* Schraubenbrüche nachweisen (Jutte *et al.* 2002), während Zucherman *et al.* mit dem VSP-Implantat sogar 25% Schraubenbrüche beobachteten (Zucherman *et al.* 1988). Hähnel *et al.* fanden in ihrem mittels USIS-Instrumentarium versorgten Patientenkollektiv keinen einzigen Schraubenbruch, jedoch neun Längsträgerbrüche (Hähnel *et al.* 1991).

In unserem Patientengut waren weder Pedikelschrauben- noch Längsträgerbrüche zu verzeichnen. Ursächlich dafür sind das Pedikelschraubendesign sowie die optimierte Schrauben-Längsträger-Verbindung. Nach wiederholtem Nachweis von Schraubenbrüchen in der Übergangszone vom gewindetragenden zum gewindelosen Anteil vor 1998, erfolgte eine Verbesserung mit einem konischen Kerndurchmesser der Pedikelschrauben mit Beseitigung einer potenziellen Schwachstelle. Eine weitere mögliche Sollbruchstelle stellt die Verbindung zwischen Schrauben und Längsträger durch die Konnektoren dar. Die spezielle Konstruktion der verwendeten Konnektoren reduziert die Punktbelastung des Längsträgers beim Durchtritt durch diesen, vermeidet damit eine Kerbwirkung und reduziert dadurch das Risiko für eine Materialermüdung bei gleichzeitig sicherer Klemmung.

Es wurden insgesamt 24 Pedikelschraubenlockerungen nachgewiesen, was bei 894 eingesetzten Schrauben 2,7% der Schrauben entspricht; betroffen waren dabei zwölf der 105 Patienten und somit 11,4% des Kollektivs. Eine Abhängigkeit vom Ausmaß der Spondylodese ließ sich dabei nicht nachweisen. Jedoch stellten sämtliche gelockerten Pedikelschrauben im untersuchten Patientengut den rostralen oder kaudalen Abschluss der Spondylodeseestrecke dar. Diese Tatsache lässt sich mit vermehrter Belastung der Schrauben-Knochen-Grenze durch entsprechende Hebelverhältnisse und den daraus resultierenden einwirkenden Kräften an der Implantat-Knochen-Grenze erklären. Insbesondere das Sakrum scheint im Vergleich zum Wirbelpedikel einen biomechanisch weniger günstigen anatomischen Aufbau zu haben und damit weniger Lastaufnahme zu bieten (Kuklo *et al.* 2001). Daher sollte unseres Erachtens äußerst kritisch abgewogen werden, ob das LWK<sub>5</sub>-SWK<sub>1</sub>-Segment in die Spondylodeseestrecke mit einbezogen werden muss. Bei genauer Betrachtung fällt eine Häufung der Pedikelschraubenlockerung in der Gruppe der degenerativen Spondylolisthesis auf (drei von elf Patienten), sind in dieser Gruppe doch 27,3% der Patienten im Vergleich zu den o.g. 11,4% des Gesamtkollektivs betroffen. Hier sind biomechanische Gründe zu überlegen, gibt die relativ geringe Gesamtzahl jedoch lediglich eine Tendenz an und erlaubt keine eindeutigen Rückschlüsse. In der Gruppe der dorsolateral Operierten sind 13,8% der Patienten von Schraubenlockerungen betroffen, in der Gruppe der dorsoventral Operierten sind es 10,7%; auch in diesem Fall liegt kein signifikantes Ergebnis vor. In lediglich einem Fall geht die radiologisch nachgewiesene Schraubenlockerung mit einer Pseudarthrose einher, was dafür spricht, dass auch nach durchbauter ventraler Spondylodese Fixateurbeanspruchungen zu Pedikelschraubenlockerung oder Materialermüdungen führen können (Rohlmann *et al.* 2000). Bei acht der zwölf von Schraubenlockerungen betroffenen Patienten bestand kein Handlungsbedarf. Zum einen lag eine vollständige knöcherne Konsolidierung vor, zum anderen bestand keine spezifische Beschwerdesymptomatik, die in Zusammenhang mit dem radiologischen Befund zu bringen war.

In der Gruppe der Pedikelschraubenlockerungen kann eine Fusionsrate von 91,7% nachgewiesen werden, elf von zwölf Patienten zeigten eine regelrechte Durchbauung; in der Gesamtgruppe ist die Fusionsrate 96,2%, in der Gruppe derjenigen Patienten ohne Schraubenlockerungen beträgt die Fusionsrate 96,8%. Eine Gesetzmäßigkeit lässt sich hier nicht ableiten.

Insgesamt erfüllt das von uns verwendete, semirigide Pedikelschraubensystem unsere Erwartungen. Implantatspezifische Schwachstellen konnten wir nicht feststellen.

### 5.3 Fusionsraten

In der Literaturübersicht kann eine beträchtliche Streuung bezüglich der Konsolidierungs- bzw. Pseudarthrosenraten festgestellt werden. Berücksichtigt wurden Publikationen, in denen auf Pedikelschrauben basierende Fusionssysteme ausgewertet worden sind. McGuire *et al.* wiesen eine Fusionsrate von 78% nach (McGuire *et al.* 1993), Thomsen *et al.* lagen bei 79% (Thomsen *et al.* 1997) ebenso wie Christensen *et al.* (Christensen *et al.* 2002), Zdeblick stellte bei semirigidem Fixateur eine Fusionsrate von 77%, bei rigidem System eine Rate von 95% fest (Zdeblick 1993), Blumenthal *et al.* publizierten eine Fusionsrate von 91% (Blumenthal *et al.* 1993), Steffee *et al.* 93% (Steffee *et al.* 1993) und Freemann konnte eine Fusionsrate von 100% erreichen (Freemann *et al.* 2000). Die Mehrzahl der Studien zum Vergleich von instrumentierten mit nicht instrumentierten Fusionen betonen,

dass eine Pedikelschraubeninstrumentation die Fusionsrate erhöht (Zdeblick 1993, Steffee *et al.* 1993, Vaccaro *et al.* 1995, Zucherman *et al.* 1992). Insbesondere bei ein- bis zweisegmentalen Spondylodesen sind aber auch entgegengesetzte Ergebnisse publiziert worden (Thomsen *et al.* 1997). Rompe *et al.* konnten bei ein- bis viersegmentigen posterolateralen Spondylodesen mit und ohne PLIF keine Abhängigkeit der Fusionsrate von der Spondylodesestrecke belegen (Rompe *et al.* 1995). Weitgehende Übereinstimmung herrscht hinsichtlich der Aussage, dass die Konsolidierungsrate bei dorsoventralem Vorgehen (sog. „circumferential fusion“) gegenüber einem dorsolateralen Verfahren erhöht ist (Christensen 2004, Christensen *et al.* 2002, Albert *et al.* 2000, Rathonyi *et al.* 1998).

In der vorliegenden Arbeit wurden vier Pseudarthrosen radiologisch erfasst; dies entspricht einer Fusionsrate von 96% bezogen auf das Gesamtkollektiv und 99% bezogen auf die insgesamt 349 operierten Segmente. Drei Fälle wurden einer Revisionsoperation mit Respondylodese unterzogen. Ein Zusammenhang mit dem Ausmaß der Spondylodesestrecke konnte auch aufgrund der geringen Anzahl betroffener Patienten nicht hergestellt werden; in drei Fällen einsegmentaler Pseudarthrosen lag eine dreisegmentale, in einem Fall eine viersegmentale Spondylodese vor. Rompe *et al.* wie auch Zdeblick betonen in ihren Arbeiten, dass noch immer keine Golden-Standard-Methode zur Verfügung steht, welche eine biologische Fusion sicher nachzuweisen vermag (Rompe *et al.* 1995, Zdeblick 1993). Blumenthal *et al.* haben radiologische Befunde mit dem intraoperativen Situs verglichen und kamen in lediglich zwei Dritteln der Fälle zu einer Übereinstimmung (Blumenthal *et al.* 1993). Letztlich weist Rompe darauf hin, dass in zahlreichen Studien die klinischen Ergebnisse trotz Nachweis von Pseudarthrosen nicht signifikant schlechter ausfallen (Rompe *et al.* 1995), die Fusionsrate daher nicht als Hauptkriterium für den Behandlungserfolg heranzuziehen ist.

Verhältnismäßig wenig vorliegende Daten bezüglich einer Abhängigkeit der Fusionsraten von der präoperativen Diagnose bieten leider nur allzu viel Raum für Spekulationen. Freeman *et al.* listen in ihrer Arbeit zwar mehrere Operationsindikationen auf (Osteochondrose, Spinalstenose, Postnukleotomiesyndrom, degenerative Spondylolisthesis), können bei einer Fusionsrate von 100% aber keine weitere Differenzierung vornehmen (Freeman *et al.* 2000). Zdeblick hingegen wies mit semirigider bzw. rigider Konstruktion höhere Fusionsraten für degenerative Skoliosen als für Osteochondrosen nach, während Pseudospondylolisthesen mit 50% respektive 86% Fusionsraten noch schlechtere Ergebnisse lieferten (Zdeblick 1993).

Hinsichtlich der Pseudarthrose kann die vorliegende Studie aufgrund der niedrigen Fallzahl keinen wesentlichen Beitrag leisten. Drei der vier Fälle von Pseudarthrose im eigenen Patientenkollektiv hatten multietagere Osteochondrosen (der mit 50,5% größten Subkategorie), eine Patientin mit Pseudarthrose hatte eine degenerative Lumbalskoliose als Hauptdiagnose.

Bei Nachweis einer symptomatischen Pseudarthrose befürworten wir abwartendes Vorgehen bis zum Abschluss des sechsten postoperativen Monats und stellen dann bei entsprechendem klinisch-radiologischen Befund die Indikation zur Respondylodese.

## 5.4 Komplikationen

Betrachtet man die Komplikationsraten, so muss man zwischen unmittelbaren operativen Komplikationen und den frühen (während des stationären Aufenthaltes) sowie späten Folgekomplikationen (nach Entlassung aus stationärer Therapie) unterscheiden. Nach Fritzell *et al.* lassen sich die Komplikationen in allgemeine (Sterblichkeit, Thrombose, Gastrointestinales System, pulmonale Komplikationen, Urogenitalsystem, psychologische Probleme und Hautprobleme), spezifische (Hämatom, oberflächliche/tiefe Wundinfektion, Nervenwurzelläsion, Duraläsion, Cauda-equina-Syndrom, Sympathektomie, Sexualität und Knochenspendemorbidity) sowie operationstechnische (Schraubenplatzierung, Materialbruch oder -lockerung, Materialdislokation) Komplikationen unterteilen (Fritzell *et al.* 2003).

Auf die Wundinfektionen sowie die Knochenspendemorbidity wird abweichend von obiger Einteilung gesondert eingegangen.

### 5.4.1 Allgemeine Komplikationen

Hierbei können diejenigen Komplikationen zusammengefasst werden, welche auch im Zusammenhang mit anderen operativen Versorgungsmassnahmen oder Krankenhausaufenthalten auftreten können. In zahlreichen Arbeiten werden Komplikationen nicht weiter aufgeschlüsselt, abhängig vom Studienzweck sind sie bisweilen gar nicht angegeben. Madan *et al.* kommen in ihrer Gesamtgruppe auf eine Rate von 4,1% Komplikationen (Madan *et al.* 2003), Rompe *et al.* kommen auf 3,5% tiefe Beinvenenthrombosen (Rompe *et al.* 1995), Turner *et al.* führen 6,1% Komplikationen auf (Turner *et al.* 1992) und Fritzell *et al.* beziffern die Komplikationsrate mit 4,1% (Fritzell *et al.* 2003).

Wie in *Tabelle 6* aufgelistet lag die Rate allgemeiner Komplikationen in unserem Patientengut bei 3,8% (vier Einzelfälle). Die Fälle beinhalten zwei nosokomiale Harnwegsinfekte, eine Pneumonie sowie einen paralytischen Ileus. Konsequente Ileusprophylaxe sowie physikalische und medikamentöse Thromboembolieprophylaxe reduzieren das Komplikationsrisiko ebenso, wie möglichst kurze Verweildauer von Blasen- und Venenkathetern mit sorgfältiger Katheterpflege.

### 5.4.2 Spezifische und operationstechnische Komplikationen

In dieser Kategorie sind die von Fritzell *et al.* genannten Komplikationen zusammengefasst exklusive der Wundinfektionen und der Knochenspendemorbidity, da diese in eigenen Kapiteln abgehandelt werden.

In den Publikationen sind die Werte für spezifische und operationstechnische Komplikationen nur bedingt miteinander vergleichbar, da eine differenzierte Auflistung nicht der Regelfall ist. Es werden Komplikationsraten von 4% (Greiner-Perth *et al.* 2004) bis 15,1% (Jutte *et al.* 2002) bzw. 17,8% (Fritzell *et al.* 2003) angegeben.

Im eigenen Kollektiv traten acht spezifische Komplikationen auf (entsprechend 7,6%), wobei ein retroperitoneales und ein subkutanes Hämatom einer operativen Revision respektive Punktion unterzogen wurden, während eine Abspaltung der linken Spina iliaca anterior superior sowie eine postoperative Schwäche der linken Bauchwand ebenso ohne operative Konsequenz blieben (siehe *Tabelle 6*) wie vier Postsympathektomiesyndrome (siehe *Tabelle 7*).

Wie bereits an anderer Stelle aufgeführt, wurden - abgesehen von den bereits beschriebenen Pedikelschraubenlockerungen - keine implantatspezifischen Komplikationen beobachtet. Bleibende Nervenwurzelirritationen oder Nervenläsionen

wurden im eigenen Kollektiv nicht beobachtet. Dies lässt sich mit der großen Erfahrung der Operateure und deren standardisiertem Vorgehen bei der Pedikelschraubenimplantation (intraoperative Neurostimulation (Pröbstl 1995) und obligate intraoperative fluoroskopische Lagekontrollen) erklären.

### 5.4.3 Knochenspendemorbidity

Im engeren Sinne zu den spezifischen Komplikationen gehörend, soll an dieser Stelle separat auf die Beckenkamm-Morbidity eingegangen werden. Mit dem Begriff der Knochenspendemorbidity werden in dieser Studie chronische lokale und/oder ausstrahlende Schmerzen und persistierende Dysästhesien bezeichnet.

Die Operationstechnik einschließlich der Gewinnung autologen Knochenmaterials vom hinteren Beckenkamm bei der dorsolateralen bzw. trikortikaler Knochenspäne vom vorderen Beckenkamm bei der ventralen Spondylodese wurde in der Einleitung (siehe Kapitel 1.4) beschrieben.

In einer retrospektiven Studie belegen Banwart *et al.* zu 10% schwerwiegende und zu 39% leichtgradige Beanstandungen seitens der Knochenspende (Banwart *et al.* 1995), wobei sämtliche Angaben seitens der Patienten, wie z.B. Kelloidnarben in die Auswertung einbezogen wurden. Anzumerken ist in diesem Zusammenhang, dass entgegen unserem Vorgehen ausschließlich bikortikale Späne gewonnen wurden. In einer Arbeit von Fernyhough *et al.* wurden chronische Beschwerden bei Knochenentnahmen vom hinteren Beckenkamm bei elektiven Spondylodese in 39% der Fälle angegeben (Fernyhough *et al.* 1992). Summers *et al.* fanden zu 25% anhaltende Beschwerden, wobei die höchste Prävalenz für trikortikale Spangewinnung galt (Summers *et al.* 1989). In retrospektiver Auswertung zeigten sich bei Ahlmann *et al.* in 23% Beschwerden nach vorderer Beckenkammspanentnahme und in lediglich 2,4% nach hinterer Spangewinnung (Ahlmann *et al.* 2002).

In der eigenen Patientengruppe bestand in 29,5% der Fälle eine Beschwerdesymptomatik (31 von 105 Patienten) bezogen auf das Gesamtkollektiv. Sämtliche Patienten mit klinischer Symptomatik entstammen jedoch der Gruppe der dorsoventral Operierten, so dass bezogen auf dieses Subkollektiv 41% der Patienten (entsprechend 31 von 75 Patienten) lokale oder ausstrahlende Beschwerden angaben. Der relativ hohe Prozentanteil liegt unter anderem in der Tatsache begründet, dass bei multisegmentalen Spondylodese ein größerer knöcherner und Weichteilschaden verursacht wird (Banwart *et al.* 1995). Des Weiteren wurden ausschließlich trikortikale Beckenkammspäne entnommen, was eine ausgeprägtere lokale Traumatisierung bedeutet. Schließlich wurde im Studiendesign keine Unterscheidung zwischen leichten und schwerwiegenden Beschwerden vorgenommen, so dass in der Rückschau keine exakte Bewertung hinsichtlich des tatsächlichen Leidensdrucks und der Auswirkung auf das klinische Gesamtergebnis möglich ist. In Kenntnis der Problematik lässt sich das Risiko einer Knochenspendemorbidity durch eine adäquate Operationstechnik reduzieren. Insbesondere das Vermeiden scharfer knöcherner Übergänge und palpabler spitzer Knochenecken (vor allem bei schlanken Patienten) aber auch die Verwendung bikortikaler Knochenspäne können die Knochenspendemorbidity herabsetzen. Dennoch stellt die autologe Knochenspende ein zusätzliches Trauma mit potenziellen akuten und chronischen Komplikationen dar, wodurch das Interesse nach Alternativen verständlich wird. Allogener Knochen weist jedoch einige wesentliche Nachteile auf, wie z.B. fragliche Patientenakzeptanz aufgrund eines Infektrisikos, lokale inflammatorische Reaktionen mit möglicherweise erhöhtem Pseudarthrosrisiko, eine unter Umständen geringere mechanische Integrität,

ausreichende Verfügbarkeit sowie erhöhte Kosten (Banwart *et al.* 1995). Ein Vorteil im Einsatz autologen oder allogenen Knochens im Vergleich zu metallischen Platzhaltern, sog. Cages, liegt in der verhältnismäßig zuverlässigen radiologischen Beurteilung der knöchernen Konsolidierung. Interkorporelle Fusionsimplantate sind seit nunmehr 15 Jahren im klinischen Einsatz und Studien belegen hohe Fusionsraten, positive subjektive Bewertungen sowie niedrige Komplikationsquoten (Freeman *et al.* 2000). Diesem Umstand wird auch von unserer Seite Rechnung getragen, so dass künftig die Anzahl der Beckenkammspanentnahmen eine rückläufige Tendenz zeigen und der Anteil der ventralen Spondylodesen mittels Einsatz von interkorporellen Fusionsimplantaten zunehmen wird.

#### **5.4.4 Wundinfektion**

Die Wundinfektion als eine der wichtigsten mittelbaren Operationskomplikationen wird in der Literatur mit Werten zwischen 1 und 6% beziffert. Steffee *et al.* geben in ihrem Kollektiv eine Rate von 6% (Steffee *et al.* 1993), Yuan *et al.* noch 2,6% (Yuan *et al.* 1994) und Rompe *et al.* 1,2% für oberflächliche und 3,5% für tiefe Wundinfektionen an (Rompe *et al.* 1995). Glassmann *et al.* berichteten in ihrer retrospektiven Auswertung mit einem Gesamtkollektiv von 858 Patienten über 1,6% oberflächliche und 2,6% tiefe Wundinfektionen (Glassmann *et al.* 1996). Thomsen *et al.* wiesen bei insgesamt 130 Patienten in der Pedikel-instrumentierten Gruppe 1,6% und in der nicht-instrumentierten Gruppe keine Infektionen nach (Thomsen *et al.* 1997), während Jutte *et al.* in 4,7% der Fälle tiefe Wundinfekte zu beklagen hatten (Jutte *et al.* 2002). Greiner-Perth *et al.* werteten 1680 Patienten, die sich einer PLIF unterzogen hatten, aus und stellten in 1,5% der Fälle revisionspflichtige Wundinfektionen fest (Greiner-Perth *et al.* 2004). Ein erweiterter Fusionsumfang und damit eine verlängerte Operationszeit sind als Risikofaktoren für eine Wundinfektion beschrieben (Glassmann *et al.* 1996).

In der hier vorgestellten Studie war in einem Fall ein revisionspflichtiger oberflächlicher Wundinfekt nach sechssegmentaler dorsolateraler Spondylodese aufgetreten. Dies entspricht einer Quote von 1% aller Patienten und 0,6% aller operativen Eingriffe (n=180). Der weitere Wundheilungsverlauf gestaltete sich unter testgerechter antibiotischer Therapie komplikationsfrei. Einen Grund für die niedrige Infektrate sehen wir neben der obligaten perioperativen Antibiotikaprophylaxe in den relativ kurzen Operationszeiten. Beispielsweise betrug die durchschnittliche OP-Gesamtdauer trisegmentaler dorsoventraler Spondylodesen in unserem Patientengut 218 Minuten. Kozak *et al.* geben bei kombiniert dorsoventralem Vorgehen über drei Segmente 235 Minuten an (Kozak *et al.* 1990). Glassmann empfiehlt bei Verdacht auf ein Infektgeschehen ein aggressives operatives Vorgehen mit dem Ziel einer adäquaten Fusion und eines akzeptablen subjektiven Gesamtergebnisses (Glassmann *et al.* 1996).

#### **5.4.5 Reoperationsrate**

Bezüglich der Angabe der Reoperationsrate in der Literatur muss in Betracht gezogen werden, dass üblicherweise sämtliche Materialentfernungen in der Statistik der Reoperationen auftauchen, da grundsätzlich keine Entfernung des Instrumentariums im Vorfeld geplant war.

Abhängig von der Ausgangssituation findet man sehr unterschiedliche Angaben in den Publikationen. Thomsen *et al.* gaben bei dorsolateralen Spondylodesen Raten von 19% in der instrumentierten Gruppe und 6% in der nicht-instrumentierten Gruppe

an (Thomsen *et al.* 1997). Bei Christensen *et al.* mussten 25% der Patienten erneut operiert werden (Christensen *et al.* 2002), Fritzell *et al.* stellten mit 22% die höchsten Raten in der Gruppe der instrumentierten posterolateralen Fusionen fest (Fritzell *et al.* 2003). Greiner-Perth *et al.* dokumentierten eine 13,2%ige Reoperationsrate bei 12,2% ihrer Patienten (Greiner-Perth *et al.* 2004). Bei Zucherman *et al.* lag die Revisionsrate bei 31% (Zucherman *et al.* 1988).

Wie im Kapitel 3.3.2. zusammengefasst beträgt die Reoperationsrate im eigenen Krankengut mit 35 Eingriffen 19,4% bezogen auf die 180 durchgeführten ventralen und dorsalen Operationen. Davon waren 32,4% der Patienten (34 der 105 Patienten) betroffen. Im Einzelnen wurden 27 vollständige Materialentfernungen, drei teilweise Materialentfernungen, drei Respondylodesen mit Neuinstrumentierung, eine infektbedingte Wundrevision sowie eine retroperitoneale Hämatomausräumung durchgeführt. Von den 35 Eingriffen waren 18 Operationen (entspricht 10%) ärztlich indiziert (in elf Fällen aufgrund lokaler Schmerzpersistenz oder einer Lumboischialgie, in zwei Fällen aufgrund symptomatischer Pedikelschraubenlockerungen, in drei Fällen aufgrund einer monosegmentalen Pseudarthrose, in einem Fall bei Infektgeschehen und in einem Fall aufgrund eines retroperitonealen Hämatoms); 17 Materialentfernungen erfolgten bei sicherer knöcherner Konsolidierung lediglich auf Wunsch der Patienten. Meist wurden in diesen Fällen Wetterfühligkeit oder leichtgradige lokale Restbeschwerden seitens der Patienten als Grund für ihre Entscheidung angeführt.

## 5.5 Klinische Ergebnisse

Auch bezüglich der klinischen Resultate finden sich voneinander deutlich abweichende Angaben in der Literatur. Unter anderem mag das daran liegen, dass die Bewertungskriterien für die Definition eines erfolgreichen Operationsergebnisses oft uneinheitlich sind. Auch erscheint bisweilen die Reduktion von Ergebnis-Scores - vor allem bei niedrigen Fallzahlen - in zwei bis vier klinische Ergebniskategorien willkürlich. Hinzu kommen diverse Bewertungssysteme, welche die postoperativen Angaben der Patienten unterschiedlich gewichten (Howe *et al.* 1985). Dennoch sind klinische Studien bei der Beurteilung von Behandlungsergebnissen auch auf subjektive Einschätzungen der Patienten angewiesen, zumal kein Zusammenhang zwischen radiologischen Befunden und subjektiver Beurteilung seitens der Patienten bestehen muss (Kumar *et al.* 2001). Pellisé *et al.* stellten fest, dass Patienten in retrospektiver Befragung die präoperativen Beschwerden in mangelnder Erinnerung eher dramatisieren, so dass prospektive Studien ein schlechteres Ergebnis erzielen als retrospektive Auswertungen (Pellisé *et al.* 2005).

Gute klinische Ergebnisse variieren zwischen 18% und 94%, wobei der Beurteilung unterschiedliche Operationsverfahren zugrunde liegen. Fritzell *et al.* verglichen Ergebnisse von Wirbelsäulenfusionen mit Resultaten von konservativ behandelten Patienten und hatten in der operativen Gruppe zu 46% exzellente und gute Ergebnisse, in der konservativen Gruppe lediglich 1,6% sehr gute und 16,1% gute Resultate (Fritzell *et al.* 2001). Greenough *et al.* stellten Ergebnisse aus pedikelschrauben-instrumentierten dorsolateralen Spondylodesen denen aus rein ventralen Fusionen gegenüber und kamen auf sehr gute bzw. gute Ergebnisse zu 6% bzw. 13% im dorsolateralen Kollektiv und zu 17% bzw. 23% in der Gruppe der ventralen Fusionen (Greenough *et al.* 1998). Bei einer Gegenüberstellung zweier PLIF-Verfahren (mit und ohne Fixateur interne) zeigte sich bei Rompe *et al.* kein signifikanter Unterschied bezüglich des klinischen Resultates. In 46% der Fälle lag

ein großer respektive sehr großer Operationserfolg vor, in 49% lag ein lediglich mäßiger Erfolg vor (Rompe *et al.* 1995). In ihrer prospektiven Vergleichsstudie publizierten Madan *et al.* in der Kategorie der dorsoventralen Spondylodesen in 41% der Fälle exzellente, in weiteren 38,5% der Fälle gute Ergebnisse, ein unveränderter Schmerzzustand bestand in 15% der Fälle. Bezüglich der dorsolateralen Spondylodese kombiniert mit PLIF waren die Resultate in 66% exzellent, in 14% gebessert, ebenfalls in 14% unverändert und in 6% verschlechtert (Madan *et al.* 2003). Drei verschiedene operative Fusionsverfahren werden bei Thomas Zdeblick im Rahmen einer prospektiven und randomisierten Studie miteinander verglichen. Einer uninstrumentierten dorsolateralen Spondylodese werden dorsolaterale Fusionen mit semirigidem bzw. rigidem Pedikelschraubensystem gegenübergestellt. In der ersten Gruppe schnitten die Patienten zu 49% sehr gut, zu 22% noch gut und zu 29% nicht gut ab. In der semirigidem Fusionsgruppe waren es 60% mit sehr gutem und 29% mit gutem Erfolg und im Kollektiv der Spondylodese mit rigidem Fixateur interne waren 70% sehr überzeugt, 24% überzeugt und 6% unzufrieden (Zdeblick 1993). Freeman *et al.* analysierten die Operationsergebnisse nach dorsolateralen Spondylodesen in Verbindung mit dem PLIF-Verfahren und fanden zu 54% exzellente, zu 29% gute, zu 11% mäßige und zu 6% schlechte Ergebnisse in der subjektiven Patienteneinschätzung (Freeman *et al.* 2000).

In unserem Gesamtkollektiv erzielten wir nach durchschnittlich 30 Monaten Follow-up in 16% sehr hohe und in weiteren 52% hohe Zufriedenheit. Mäßig zufrieden waren 21% der Patienten und wenig bzw. nicht zufrieden waren 10% der Patienten in ihrer subjektiven Einschätzung. Möchte man einen Vergleich anstellen, der aus eingangs genannten Gründen nicht unproblematisch ist, so liegen die Angaben im Bereich der Ergebnisse oben aufgeführter Studien.

Als weiteres Bewertungssystem wurde in der vorliegenden Arbeit der in der Wirbelsäulen Chirurgie zahlreich eingesetzte (Manniche *et al.* 1994) „Disability Index“ (DI) basierend auf dem auf Validität und Reliabilität geprüften „Oswestry Low Back Pain Disability“-Fragebogen nach Fairbank verwendet (Fairbank *et al.* 1980).

Little *et al.* konnten bei einer heterogenen Gruppe von Patienten, die sich einer Wirbelsäulenoperation unterzogen hatten, eine Veränderung des Oswestry Disability Index von 42% präoperativ auf 26% postoperativ bei einem Follow-up von 24 Monaten feststellen, was einer relativen Veränderung um 38% entspricht. Little *et al.* betonen in diesem Zusammenhang, dass eine relative Veränderung des Disability Index das klinische Ergebnis weitaus besser widerspiegelt, als die absoluten Punktwerte bzw. deren Abweichungen (Little *et al.* 1994). In Ihrer prospektiven, vergleichenden Studie berichten Fritzell *et al.* über eine relative Änderung des Disability Index nach zwei Jahren bei uninstrumentierten dorsolateralen Spondylodesen von 25,5%, bei instrumentierten dorsolateralen Spondylodesen von 33% und von 28% relativer Verbesserung bei Patienten, die kombiniert mittels PLIF und instrumentierter dorsolateraler Spondylodese versorgt wurden (Fritzell *et al.* 2003). Bei einem Nachuntersuchungszeitraum von zwei Jahren wiesen Fritzell *et al.* eine relative Verbesserung des Disability Index bei mittels Fusion versorgten Patienten mit chronischen Lumbalschmerzen um 24,5% nach, während konservativ Behandelte einen  $\Delta$ DI von 6% aufwiesen (Fritzell *et al.* 2001).

In unserem Patientengut stellte sich bei 93% der Befragten eine Verbesserung des Disability Index ein, was 98 der 105 Patienten entspricht. Bezogen auf das Gesamtkollektiv konnte dabei eine relative Verbesserung um 32,6% erreicht werden ( $p=0,001$ ). In der Subkategorie der Pseudarthrosefälle betrug die relative Änderung

lediglich 21,9%, in der Gruppe der Pedikelschraubenlockerungen zeigte sich eine relative Besserung um nur 20,1%, was einem signifikant schlechterem Ergebnis entspricht verglichen zum Gesamtkollektiv bzw. zu den Patienten ohne Nachweis einer Pedikelschraubenlockerung ( $p < 0,05$ ). Die größte Gruppe der Osteochondrosepatienten lag mit einem  $\Delta$ DI von 29,6% nur knapp unter dem Gesamtergebnis von 32,6%, das bezogen auf die Anzahl kleine Kollektiv der degenerativen Lumbalstenosen ( $n=5$ ) zeigte gar einen relative Verbesserung um 54%. Bezogen auf die Segmentanzahl - insbesondere im Vergleich der beiden großen Gruppen der drei- und viersegmentalen Fusionen - konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Auch im Vergleich der Ergebnisse der navigierten zu den nicht-navigierten Pedikelschraubenplatzierungen findet sich keine signifikante Differenz ( $\Delta$ DI von 33% bei Navigation gegenüber 32% bei Nicht-Navigierten).

Eine hohe Korrelation ergibt sich bei der Auswertung zwischen den Ergebnissen im Oswestry Disability Index und denen der Visuellen Analog-Skala (VAS). Im Gesamtkollektiv beträgt der VAS-Wert 7,7 präoperativ und 4,6 postoperativ (Differenz 3,1 Punktwerte). Statistisch signifikante Unterschiede zeigen sich hinsichtlich der Auswertung komplikationsträchtiger Verläufe (Pedikelschraubenlockerungen, Pseudarthrosen) im Vergleich zu regelhaften Konsolidierungen bzw. unauffälligen radiologischen Befunden. Bei Patienten mit nachgewiesener Pseudarthrose lautet der präoperative Schmerzscore im Durchschnitt 7,3 und der postoperative 5,5 (Differenz lediglich 1,75), während die Änderung im VAS in der Gruppe der konsolidierten Spondylodesen 3,1 Punktwerte beträgt.

Insgesamt zeigt sich in unserem heterogenen Patientenkollektiv mit multietageren degenerativen Veränderungen unterschiedlichen Ausprägungsgrades lediglich ein deutliches Ergebnis im Vergleich der Patienten mit Pseudarthrosen oder Pedikelschraubenlockerungen mit solchen ohne eben genannte Komplikationen im gesamten Heilverlauf. Es scheint eine Korrelation zwischen dem Erreichen einer knöchernen Fusion bzw. einer Pedikelschraubenlockerung und einem klinisch gebesserten Operationsergebnis zu geben. Verschiedene Autoren berichten in diesem Zusammenhang, dass keine Assoziation zwischen subjektiver Einschätzung seitens der Patienten und dem Erreichen einer knöchernen Konsolidierung besteht (Flynn *et al.* 1979; Greenough *et al.* 1994). Es kann somit vermutet werden, dass die mechanische Stabilität eines Bewegungssegmentes nicht den einzigen Faktor darstellt, der zu einem guten klinischen Resultat führt. Ist nachgewiesen, dass die Bandscheibe als Schmerzursache dient, so ist ihre Exzision mit anschließender interkorporeller Fusion angezeigt. Bei voroperierten Patienten ist eine Differenzierung weitaus schwieriger, da epidurales Narbengewebe oder eine Arachnoiditis ebenso für die Schmerzentstehung verantwortlich sein können wie das Auftreten einer Anschlussdegeneration. Bei multisegmentalen degenerativen Veränderungen schließlich zeigen sich zudem oft Spinal- oder Foraminalstenosen mit und ohne segmentale Instabilitäten, was eine Eingrenzung von Schmerzursachen weiter erschwert.

Die statistische Analyse der gewonnenen Resultate in unserem Kollektiv zeigt einen signifikanten Unterschied im klinischen Ergebnis zwischen Patienten mit und ohne Ausdehnung der Spondylodese auf das kaudal letzte Segment (in der Regel L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub>) zu Gunsten der Schonung dieses Segmentes auf. Daher sollte in Abhängigkeit der individuellen Situation - im Übrigen unabhängig vom verwendeten Instrumentarium - nach Möglichkeit auf die Fusion dieses Segmentes verzichtet werden.

Auf das Phänomen der Anschlussdegeneration oder Nachbarsegment-Dekompensation sei an dieser Stelle näher eingegangen. Zahlreiche klinisch-retrospektive wie auch biomechanische Studien haben sich mit dem Phänomen der Anschlussosteochondrose nach Fusionsoperationen beschäftigt. Dabei ist unbestritten, dass die Spondylodese zu erhöhtem intradiskalen Druck sowie zu einer Zunahme der Mobilität im Anschlusssegment führen kann, mit der Folge von Revisionsoperationen zu Lasten des klinischen Ergebnisses (Kumar *et al.* 2001). Es werden im langfristigen Verlauf Anschlussdegenerationen mit einer Häufigkeit von bis zu 49% nach zehn Jahren (Guigui *et al.* 1997) beschrieben. Kumar *et al.* konnten bei einem Nachuntersuchungszeitraum von 30 Jahren Anschlussdegenerationen in 36% der Fälle nachweisen, während in einer Vergleichsgruppe ohne stattgehabte Fusionsoperation zu 18,5% Anschlussosteochondrosen auftraten (Kumar *et al.* 2001). Kumar *et al.* fassten zusammen, dass das sagittale Profil in Verbindung mit der Einstellung der sakralen Inklination für die langfristige Prognose relevant ist und empfiehlt in diesem Zusammenhang ein mindestens fünfjähriges Follow-up der Patienten (Kumar *et al.* 2001). Goel *et al.* stellten zudem fest, dass die Fusionsrate bei herabgesetzter Rigidität des Fixateur interne ansteigt und das Auftreten von lokalen Resorptionszonen um die Pedikelschrauben herum (sog. „stress-shielding“) weitaus seltener vorkommt (Goel *et al.* 1991). In Verbindung mit der Aussage von Zdeblik, dass nämlich die Wahrscheinlichkeit für Anschlussdegenerationen bei Fixationssystemen herabgesetzter Rigidität abzunehmen scheint (Zdeblik 1993), sprechen doch mehrere Gründe für den Einsatz eines semirigiden Systems. Die Tatsache, dass in vorliegender Studie keine operationswürdige Anschlussdegeneration aufgetreten ist, liegt in erster Linie begründet in dem relativ kurzen Nachuntersuchungszeitraum. Auf eine Fokussierung auf Nachbarsegment-Degenerationen wurde aber auch in sofern verzichtet, als im untersuchten Krankengut nahezu sämtliche Patienten Osteochondrosen auch im nicht operierten Wirbelsäulenabschnitt vorzuweisen hatten. Zudem ist bei fehlender Kontrollgruppe der Anteil natürlichen Verschleißprozesses unbekannt, was eine Interpretation erschwert.

Grundsätzlich wäre es hinsichtlich der Auslegung klinischer Ergebnisse wünschenswert, einheitliche Kriterien für ein erfolgreiches klinisches Resultat festzulegen und somit eine optimierte Vergleichbarkeit der gewonnenen Ergebnisse aus verschiedenen Studien zu erreichen.

## **5.6 Fluoroskopische Pedikelschraubennavigation**

Seit der Einführung der Wirbelsäulenfixation durch transpedikuläre Schrauben in die klinische Praxis durch Roy-Camille, Louis und weitere Protagonisten werden Pedikelschrauben in Verbindung mit Platten oder Stäben immer öfter bei verschiedenen Indikationen zur spinalen Fusion verwendet. Eines der Hauptprobleme liegt dabei in dem Risiko einer Nervenwurzelläsion durch Fehlplatzierung der Pedikelschraube. Diesbezüglich wird die Inzidenz einer neurologischen Komplikation mit bis zu 7% angegeben (Esses *et al.* 1993). Diese Gefahr besteht vor allem bei einer medialen Fehlplatzierung. Vor diesem Hintergrund und bei publizierten Fehlplatzierungsraten von bis zu 39,9% nicht ideal platzierter Pedikelschrauben und 28,5% medial fehlplatzierter Pedikelschrauben (Jerosch *et al.* 1992) verwundert es nicht, dass eines der ersten Einsatzgebiete der sog. computer-assistierten Chirurgie die Verbesserung der Positionierung von Pedikelschrauben zum Ziel hatte (Nolte *et al.* 1995). Die initial eingesetzte CT-gestützte Navigation hat jedoch einige Nachteile: Die nach wie vor begrenzte Rechnerkapazität limitiert die

zur Verfügung stehenden Bildausschnitte, und das zugrunde liegende Computertomogramm bildet lediglich die präoperative Anatomie ab, so dass eine intraoperative Erfassung von beispielsweise repositionsbedingten Änderungen des präoperativen Datensatzes nicht möglich ist (Fritsch *et al.* 2002). Darüber hinaus ist die Strahlenbelastung durch das Planungs-CT etwa 15-fach höher als bei bildverstärker-assistierten Operationen (Schaeren *et al.* 2002). Zudem besteht nach Laine *et al.* ein erhöhter präoperativer (ein Plus von 45 Minuten) sowie intraoperativer (12 Minuten) Zeitaufwand verglichen zu einem nicht-navigierten Verfahren (Laine *et al.* 2000). Fritsch *et al.* sehen entscheidende Vorzüge in der bildwandlergestützten Navigation (Fritsch *et al.* 2002): Zum einen sind die Vorteile in der universellen Verfügbarkeit eines Bildwandlers in einem für Wirbelsäulen Chirurgie ausgestatteten Operationssaal zu sehen, zum anderen wird die aktuelle und nicht die präoperative Anatomie erfasst. Die Strahlenbelastung für Patient und OP-Personal wird - sowohl im Vergleich zur CT-basierten Navigation als auch zur nicht-navigierten Operation - dadurch herabgesetzt, dass nicht jeder Schritt der Pedikelschraubenpositionierung fluoroskopisch kontrolliert werden muss. Entscheidender Nutzen ist jedoch die Reduktion der Fehlplatzierungsrate durch fluoroskopische Pedikelschraubennavigation. So kamen Fritsch *et al.* zu dem Ergebnis, dass von 160 untersuchten Pedikelschrauben bei 30 Patienten insgesamt 151 (entsprechend 94,4%) ideal platziert vorgefunden wurden (postoperative CT-Kontrolle), wobei lediglich eine mediale Fehlplatzierung ohne jegliche neurologische Komplikation vorkam (Fritsch *et al.* 2002). Im Studienvergleich fanden Laine *et al.* eine Rate ideal platzierter thorakaler Pedikelschrauben von 73,5% in konventioneller Technik und von 91% CT-navigiert (Laine *et al.* 2000). Nachteile in Kontrast zur konventionellen Technik bestehen in geringer Zunahme der Operationsdauer und in der durchzuschreitenden Lernkurve des Operateurs.

Die Auswertung unserer Daten ergab keinen Nachweis einer intra- oder postoperativen allgemeinen, spezifischen oder operationstechnischen Komplikation bei den 15 mittels fluoroskopischer Navigation versorgten Patienten. In der Röntgenübersicht in zwei Ebenen wurde in keinem Fall eine Schraubenfehlage festgestellt, wobei eine computertomographische Evaluierung nicht erfolgt ist. Wir sehen den Vorteil der Computernavigation vor allem in der sicheren Platzierung der Schanzschrauben bei Patienten mit ausgeprägten anatomischen Veränderungen. Daher war die Hauptdiagnose bei elf der 15 Patienten eine degenerative Skoliose der Lendenwirbelsäule und/oder des thorakolumbalen Überganges (entsprechend 73% der mit Hilfe der Navigation versorgten). Ein seriöser Vergleich klinischer Ergebnisse mit nicht-navigiertem Kollektiv fällt schwer, da 80% der navigierten Patienten einzeitig mittels dorsolateraler Spondylodese ohne vordere Beckenkamm-Spanentnahme versorgt wurden und auch in der nicht-navigierten Gruppe keine bleibenden neurologischen Ausfälle registriert wurden. Eine exakte Pedikelschraubenplatzierung kann letztlich nur durch computertomographische Evaluation erfolgen, auf welche wir bei fehlender Indikation aus Kostengründen und Gründen der Strahlenbelastung verzichtet haben.

Zusammenfassend stellt die technisch relativ einfach zu handhabende fluoroskopische Navigation ein bereicherndes Verfahren in der Wirbelsäulen Chirurgie dar, mit dem sich eine zuverlässige Reduktion von Pedikelschrauben-Fehlplatzierungen, insbesondere bei atypischer Anatomie, erreichen lässt bei gleichzeitiger Verringerung der Strahlenbelastung für Patient und Operateur bzw. Assistenzpersonal.

## 6 Zusammenfassung

Wirbelsäulenfusionen auf der Basis von Pedikelschraubensystemen werden seit den 1960er Jahren durchgeführt und haben sich seitdem etabliert. Durch den Einsatz unterschiedlicher Operationsmethoden und verschiedener Fixationssysteme wurden neue Anwendungsgebiete erschlossen. Insbesondere in der Traumatologie der Wirbelsäule (Frakturen, traumatisch bedingte Instabilitäten), bei Tumoren und Entzündungen ist der Einsatz der Pedikelschraubeninstrumentation unumstritten, während in anderen Bereichen, wie den degenerativen Veränderungen und dem Failed-Back-Surgery-Syndrom, ihre Verwendung noch nicht vollständig definiert ist.

Die hier vorgestellte Arbeit hat die Intention, den klinischen Nutzen eines neu entwickelten Fixateur interne in einer breiten klinischen Anwendung bei einem heterogenen Kollektiv von 105 Patienten mit multisegmentalen degenerativen Veränderungen zu bewerten. Die Ausgangsdiagnosen umfassten Osteochondrosen (n=53), degenerativ bedingte lumbale und thorakolumbale Skoliosen (n=19), anderweitig voroperierte Patienten (n=17), degenerative Spondylolisthesis (n=11) und degenerativ bedingte Spinalstenosen (n=5). Die Spondylodesestrecke beinhaltete zu 73% drei Segmente (n=77), zu 22% vier Segmente (n=23), zu 4% fünf Segmente (n=4) und in einem Fall sechs Segmente.

Die Auswertung erfolgte anhand radiologischer, klinischer sowie subjektiver (Patienten-Fragebogen) Kriterien mit einem durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraum von 30,2 Monaten.

Die Evaluierung ergab eine Pseudarthrose-Rate von 4%, was einer Konsolidierungsquote von 96% entspricht. Die Rate der Pedikelschraubenlockerungen betrug 11,4% des Gesamtkollektivs, wobei ausnahmslos Pedikelschrauben betroffen waren, die entweder das rostrale oder kaudale Ende der Spondylodesestrecke darstellten. Ein Materialversagen, d.h. ein Bruch von Pedikelschraube oder Längsträger, konnte bei keinem der nachuntersuchten Patienten dokumentiert werden. Die Rate der Revisionsoperationen, abzüglich der routinemäßigen Materialentfernungen, betrug 17%, wobei 3% auf Spondylodesen aufgrund einer Pseudarthrose und 10% auf vollständige Materialentfernungen bei persistierender lokaler Beschwerdesymptomatik entfallen. Die restlichen 4% betreffen Weichteilrevisionen und unvollständige Materialentfernungen. Im verwendeten „Oswestry Low Back Pain Disability Index“ lagen die prä- und postoperativen Werte bei 51,9% bzw. 35,0%. Dies entsprach einer relativen Verbesserung ( $\Delta$ DI) von 32,6%. Bei 93% der Patienten konnte eine Verbesserung des Disability Index festgestellt werden. Tendenziell zeigten Osteochondrose-Patienten schlechtere Ergebnisse ( $\Delta$ DI = 29,6%) als das Gesamtkollektiv oder versorgte Patienten mit degenerativer Stenose ( $\Delta$ DI = 54,2%), letztere Gruppe bestand jedoch aus lediglich fünf Patienten. Die Knochenspendemorbidity, bezogen auf das untersuchte Gesamtkollektiv, betrug 29,5%, in Hinblick auf die trikortikale Spanentnahme aus dem vorderen Beckenkamm zeigte sich gar eine Quote von 41%.

Der hier verwendete, auf Pedikelschrauben basierende und in einer heterogenen Patientengruppe angewandte, semirigide Fixateur interne kann demzufolge den

bereits etablierten Pedikelschraubenimplantaten gegenübergestellt werden. Er ist für mehrsegmentale dorsoventrale und dorsolaterale Spondylodesen ohne erkennbare Einschränkungen einsetzbar. Die doch erhebliche Knochenspendemorbidity ist unter anderem Ausdruck des hohen Knochenbedarfs. Mit zunehmendem Einsatz interkorporeller Fusionsimplantate in Kombination mit dem Fixateur interne steht bei dorsoventraler Spondylodese künftig eine vielversprechende Alternative zu Verfügung.

## 7 Literaturverzeichnis

- Agorastides, I.D., Lam, K.S., Freeman, B.J.C., Mulholland, R.C. (2002). "The Adams classification for cadaveric discograms: inter- and intra-observer error in the clinical setting." Eur Spine J 11: 76-79
- Ahlmann, E., Patzakis, M., Roidis, N., Shepherd, L., Holtom, P. (2002). "Comparison of anterior and posterior iliac crest bone grafts in terms of harvest-site morbidity and functional outcomes." J Bone Joint Surg [Am] 84-A: 716-20
- Albert, T.J., Pinto, M., Denis, F. (2000). "Management of symptomatic lumbar pseudarthrosis with anteroposterior fusion: A functional and radiographic outcome study." Spine 25: 123-29
- Albrektsson, T., Hansson, H.A. (1989). "An ultrastructural characterisation of the interface between bone and sputtered titanium or stainless steel surfaces." Biomaterials 7: 201-5
- Banwart, J.C., Asher, M.A., Hassanein, R.S. (1995). „Iliac Crest Bone Graft Harvest Donor Site Morbidity.“ Spine 20: 1055-60
- Bauer, R., Kerschbaumer, F., Poisel, S. (Hrsg.) "Orthopädische Operationslehre." Band 1 Wirbelsäule, Stuttgart, Thieme-Verlag (1991): 269-92
- Benini, A. (1997). "Die Stenose des lumbalen Wirbelkanals." Orthopäde 26: 503-14
- Blumenthal, S., Gill, K. (1993). „Complications of the Wiltse Pedicle Screw Fixation System.“ Spine 18: 1867-71
- Bogduk, N., Twomey, L.T. (1987). "Clinical anatomy of the lumbar spine." Churchill Livingstone, Melbourne. 1987
- Bullough, P.G. (1994). "Farbatlas der Wirbelsäulenerkrankungen." Hannover, Die Deutsche Bibliothek: 73
- Brinckmann, P., Biggemann, M., Hilweg, D. (1989). "Prediction of the compressive strenght of human lumbar vertebrae." Spine 14: 606-9
- Carl, A.L., Tromanhauser, S.G., Roger, D.J. (1992). „Pedicle screw instrumentation for thoracolumbar burst fractures and fracture-dislocations.“ Spine 17: 317-24
- Christensen, F.B., Dalstra, M., Sejling, F., Overgaard, S., Bünger, C. (2000). "Titanium-alloy enhances bone-pedicle screw fixation: mechanical and histomorphometrical results of titanium-alloy versus stainless steel." Eur Spine J 9: 97-103
- Christensen, F.B., Hansen, E.S., Laursen, M., Thomsen, K., Bünger, C.E. (2002). „Long-Term Functional Outcome of Pedicle Screw Instrumentation as a Support for Posterolateral Spinal Fusion.“ Spine 27: 1269-77
- Christensen, F.B., Hansen, E.S., Eiskjær, S.P., Høy, K., Helmig, P., Neumann, P., Niedermann, B., Bünger, C.E. (2002). „ Circumferential Lumbar Spinal Fusion With Brantigan Cage Versus Posterolateral Fusion With Titanium Cotrel-Dubouset Instrumentation.“ Spine 27: 2674-83
- Christensen, F.B. (2004). "Lumbar spinal fusion. Outcome in relation to surgical methods, choice of implant and postoperative rehabilitation." Acta Orthop Scand Suppl 75 (313): 2-43

- Cotrel, Y, Dubousset, J., Guillaumat, M. (1988). "New universal instrumentation in spinal surgery." Clin Orthop 227: 10-23
- Dick, W. (1984). "Innere Fixation von Brust- und Lendenwirbelfrakturen." In: Burri, C., Harder, F., Jäger, M.: „Aktuelle Probleme in Chirurgie und Orthopädie.“ Huber, Bern
- Dörner, J., Ringeisen, M., Matzen, K.A. (1995). „Die Spondylodese bei lumbal einfach oder mehrfach voroperierten Patienten als Therapie der Wahl?“ Orthop Praxis 31: 836-43
- Esses, S.I., Sachs, B.L., Dreyzin, V. (1993). „Complications associated with the technique of pedicle screw fixation.“ Spine 18: 2231-39
- Fairbank, J.C.T., Couper, J., Davies, J.B., O’Brien, J.P. (1980). "The Oswestry Low Back Pain Disability Questionnaire." Physiotherapy 66: 271-3
- Fernyhough, J.c., Schimandle, J.J., Weigel, M.C., Edwards, C.C., Levine, A.M. (1992). "Chronic Donor Site Pain Complicating Bone Graft Harvesting from the Posterior Iliac Crest for Spinal Fusion." Spine 17: 1474-80
- Fischgrund, J.S., Mackay, M., Herkowitz, H.N., Brower, R., Montgomery, D.M., Kurz, L.T. (1997). "Degenerative Lumbar Spondylolisthesis With Spinal Stenosis: A Prospective, Randomized Study Comparing Decompressive Laminectomy and Arthrodesis With and Without Spinal Instrumentation." Spine 22: 2807-12
- Flynn, J.C., Hoque, M.A. (1979). "Anterior fusion of the lumbar spine. End-result study with long-term follow-up." J Bone Joint Surg [Am] 61: 1143-50
- Freeman, B.J.C., Licina, P., Mehdian, S.H. (2000). "Posterior lumbar interbody fusion combined with instrumented postero-lateral fusion: 5-year results in 60 patients." Eur Spine J 9: 42-46
- Frick, H., Leonhardt, H., Starck, D. (1992). "Wirbelsäule." Allgemeine Anatomie, Spezielle Anatomie I.; Stuttgart, Thieme-Verlag: 454-78
- Fritsch, E., Duchow, J., Seil, R., Grunwald, I., Reith, W. (2002). „Genauigkeit der fluoroskopischen Navigation von Pedikelschrauben.“ Orthopäde 31: 385-391
- Fritsch, E.W. (2003). "Spondylolisthesis." Orthopäde 32: 340-61
- Fritsch, E.W. (1996). "The Failed Back Surgery Syndrome." Spine 21: 626-33
- Fritz, J.M., Delitto, A., Welch, W.C. (1998). „Lumbar spinal stenosis: A review of current concepts in Evaluation, management and outcome measurements.“ Arch Phys Med Rehabil 6: 700-708
- Fritzell, P., Hägg, O., Wessberg, P., Nordwall, A. (2001). „Lumbar Fusion Versus Nonsurgical Treatment for Chronic Low Back Pain.“ Spine 26: 2521-34
- Fritzell, P., Hägg, O., Nordwall, A. (2003). „Complications in lumbar fusion surgery for chronic low back pain: comparison of three surgical techniques used in a prospective randomized study. A report from the Swedish Lumbar Spine Study Group.“ Eur Spine J 12: 178-89
- Gertzbein, S.D., Betz, R., Clements, D., Errico, T., Hammerberg, K., Robbins, S., Shepherd, E., Weber, A., Kerina, M., Albin, J., Wolk, D., Ensor, K. (1996). „Semirigid Instrumentation in the Management of Lumbar Spine Conditions Combines With Circumferential Fusion.“ Spine 21: 1918-26
- Glassmann, S.D., Dimar, J.R., Puno, R.M., Johnson, J.R. (1996). "Salvage of Instrumented Lumbar Fusions Complicated by Surgical Wound Infection." Spine 21: 2163-69

- Goel, V.K., Lim, T.-H., Gwon, J. et al. (1991). „Effect of rigidity of an internal fixation device: A comprehensive biomechanical investigation.“ Spine 16 (Suppl): S155-61
- Greenough, C.G., Taylor, L.J., Fraser, R.D. (1994). “Anterior lumbar fusion: results, assessment techniques and prognostic factors.” Eur Spine J 3: 225-30
- Greenough, C.G., Peterson, M.D., Hadlow, S., Fraser, R.D. (1998). “Instrumented Posterolateral Lumbar Fusion.” Spine 23: 479-86
- Greiner-Perth, R., Boehm, H., Allam, Y., Elsaghir, H., Franke, J. (2004). „Reoperation Rate After Instrumented Posterior Lumbar Interbody Fusion.“ Spine 29: 2516-20
- Guigui, P., Lambert, P., Lassale, B., Deburge, A. (1997). “Long term outcome at adjacent levels of lumbar arthrodesis.” Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot 83: 685-696
- Haaker, R. (2004) “Spondylodese”. In Wirth, C.J., Zichner, L. (Hrsg.). „Orthopädie und Orthopädische Chirurgie“, Band „Wirbelsäule, Thorax“ von Krämer, J. (Hrsg.). Stuttgart, Thieme-Verlag: 346-7
- Hähnel, H., Muschik, M., Zippel, H., Gutsche, H. (1991). „Lumbale Segmentspondylodese – isoliert ventral oder kombiniert dorsoventral? – Ein Ergebnisvergleich.“ Z Orthop Ihre Grenzgeb 129: 197 203
- Hanley, Jr., E.N., David, S.M. (1997). “Who should be fused?” In: Frymoyer, J.W. (Hrsg.) “The Adult Spine: Principles and Practice.” Philadelphia, Lippincott-Raven (1997): 2157-172
- Heikkilä, J.K., Koskenvuo, M., Heliövaara, M. et al. (1989). „Genetic and environmental factors in sciatica. Evidence from a nationwide panel of 9365 adult twin pairs.“ Ann Med 21: 393-8
- Hildebrandt, J., Müller, G., Pflingsten, M., (Hrsg.) (2004). „Epidemiologie und Sozialmedizin.“ In „Lendenwirbelsäule“ München, Urban & Fischer, 2004; 6-7
- Howe, J., Frymoyer, J.W. (1985). “The Effect of Questionnaire Design on the Determination of End Results in Lumbar Spinal Surgery.” Spine 10: 804-05
- Ivanic, G.M., Pink, T.P., Homann, N.C., Scheitza, W., Goyal, S. (2001). “The post-discectomy syndrome.” Arch Orthop Trauma Surg 121: 494-500
- Jerosch, J., Malms, J., Castro, W.H., Wagner, R., Wiesner, L. (1992). “Lagekontrolle von Pedikelschrauben nach instrumentierter dorsaler Fusion der Lendenwirbelsäule.” Z Orthop 130: 479-83
- Junghanns, H. (1930). „Spondylolisthese, Präspndylolisthese, Pseudo-spondylolisthese und Wirbelkörperverschiebung nach hinten.“ Brunś Beitr Klin Chir 151: 376
- Junghanns, H. (1951). “Die funktionelle Pathologie des Zwischenwirbelscheiben als Grundlage für klinische Betrachtungen.” Langenbecks Arch Dtsch Z Chir 267: 393-417
- Jutte, P.C., Castelein, R.M. (2002). „Complications of pedicle screws in lumbar and lumbosacral fusions in 105 consecutive primary operations.“ Eur Spine J 11: 594-98
- Kaiser, P.J. (1990). „ Sinnvoller Ablauf der Indikationsstellung zum operativen Vorgehen bei diskogenen Erkrankungen.“ Orthopädische Praxis 1190; 4: 245-9
- Kluger, P., Gerner, H.J. (1988). „Klinische Erfahrungen mit dem Fixateur interne und seine Weiterentwicklung.“ In: „Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis.“ Bd. 107. Hippokrates, Stuttgart

- Kozak, J.A., O'Brien, J.P. (1990). „Simultaneous combined anterior and posterior fusion. An independent analysis of a treatment for the disabled low-back pain patient.“ Spine 15: 322-28
- Kuklo, T.R., Bridwell, K.H., Lewis, S.J., Baldus, C., Blanke, K, Iffrig, T.M., Lenke, L.G. (2001). „Minimum 2-Year Analysis of Sacropelvic Fixation and L5-S1 Fusion Using S1 and Iliac Screws.“ Spine 26: 1976-83
- Kumar, M.N., Baklanov, A., Chopin, D. (2001). “Correlation between sagittal plane changes and adjacent segment degeneration following lumbar spine fusion.” Eur Spine J 10: 314-19
- Kumar, M.N., Jacquot, F., Hall, H. (2001). “Long-term follow-up of functional outcomes and radiographic changes at adjacent levels following lumbar spine fusion for degenerative disc disease.” Eur Spine J 10: 309-13
- Kummer, B. (1991). “Biomechanische Aspekte der Instabilität der Wirbelsäule.“ In „Instabile Wirbelsäule“ Fuchs, G.A. (Hrsg.), Stuttgart, Thieme-Verlag: 8-14
- La Rocca, H.S. (1990). „Failed lumbar surgery.“ In: The lumbar spine. Weinstein, J. and Wiesel, S. Philadelphia, WB Saunders: 872-81
- Laine, T., Lund, T., Ylikoski, M., Lohikoski, J., Schlenzka, D. (2000). „Accuracy of pedicle screw insertion with and without computer assistance: a randomised controlled clinical study in 100 consecutive patients.“ Eur Spine J 9: 235-40
- Lettice, J.J., Kula, T.A., Derby, R., Kim, B.-J., Lee, S.-H., Seo, K.S. (2005). “Does The Number of Levels Affect Lumbar Fusion Outcome?” Spine 30: 675-81
- Little, D.G., MacDonald, D. (1994). “The use of percentage change in Oswestry Disability Index score as an outcome measure in lumbar spine surgery.” Spine 19: 2139-43
- Louis, R. (1986). “Fusion of the lumbar and sacral spine by internal fixation with screw plates.” Clin Orthop 203: 18-33
- Madan, S.S., Boeree, N.R. (2003). “Comparison of instrumented anterior interbody fusion with instrumented circumferential lumbar fusion.” Eur Spine J 12: 567-75
- Manniche, C., Asmussen, K., Lauritsen, B., Vinterberg, H., Kreiner, S., Jordan, A. (1994). „Low Back Pain Rating scale: validation of a tool for assessment of low back pain.“ Pain 57: 317-26
- Matzen, K.A. “Der enge Spinalkanal.” In Pfeil, J., Rompe, J.D. (Hrsg.) (2004). “Der enge Spinalkanal.” Darmstadt, Steinkopff-Verlag; 9-17
- McGuire, R.A., Amundson, G.M. (1993). “The use of primary internal fixation in spondylolisthesis.” Spine 18: 1662
- Meyerding, H.W. (1932). „Spondylolisthesis.“ Surg Gynecol Obstet 54: 371-7
- Nerlich, A.G., Paesold, G., Bachmeier, B., Boos, N.: “Pathophysiologie und Pathomorphologie der Bandscheibendegeneration.“ In Hildebrandt, J., Müller, G., Pflugsten, M., (Hrsg.): „Lendenwirbelsäule“. München, Urban & Fischer Verlag, 2004: 98-105
- Newman, P.H., Stone, K.H. (1963). „The etiology of spondylolisthesis with a special investigation.“ J Bone Joint Surg (Br) 45: 39-59
- Nolte, L.-P, Zamorano, I., Jiang, Z., Wang, Q., Langlotz, F., Berlemann, U. (1995). „Image-guided insertion of transpedicular screws: A laboratory setup.“ Spine 20: 497-500

- Nolte, L.-P., Langlotz, F. (2003). "Grundlagen der computerassistierten Chirurgie (CAOS)." In Konermann, W., Haaker, R. „Navigation und Robotic in der Gelenk- und Wirbelsäulen Chirurgie.“ Berlin, Springer-Verlag: 3-35
- Okuyama, K., Abe, E., Suzuki, T., Tamura, Y., Chiba, M., Sato, K. (1999). "Posterior lumbar interbody fusion." Acta Orthop Scand 70 (4): 329-34
- Pellisé, F., Vidal, X., Hernández, A., Cedraschi, C., Bagó, J., Villanueva, C. (2005). "Reliability of Retrospective Clinical Data to Evaluate the Effectiveness of Lumbar Fusion in Chronic Low Back Pain." Spine 30: 365-68
- Pfeiffer, M., Deike, B., Clausen, J.D., Wilke, A., Griss, P. (2001). „A new semirigid implant for instrumentation of scoliosis: preliminary report.“ Eur Spine J 10: 427-36
- Pope, M.H., Wilder, D.G., Goel, V.K. (1997): „Biomechanics of the lumbar spine.“ In Frymoyer, J.W. (Hrsg.) "The Adult Spine: Principles and Practice." Lippincott-Raven, Philadelphia (1997): 1705-21
- Pröbstl, O. (1995). „Intraoperative Neurostimulation über Pedikelschrauben zur Vermeidung neurologischer Komplikationen bei Fixateur-interne-Implantationen.“ Orthop.Praxis 31: 398-401
- Putz, R.: "Funktionelle Anatomie der Wirbelsäule." In Hildebrandt, J., Müller, G., Pflingsten, M., (Hrsg.): Lendenwirbelsäule. München, Urban & Fischer Verlag, 2004: 71-72
- Putz, R., Müller-Gerbl, M. (1996). "The vertebral column – A phylogenetic failure? A theory explaining the function and vulnerability of the human spine." Clin Anat 1996; 9: 205-12
- Raspe, H.: "Back pain." In Silman, A., Hochberg, M.C., (eds.): „Epidemiology of the rheumatic diseases.“ Oxford University press, Oxford, 2001; 309-38
- Rathonyi, G.C., Oxland, T.R., Gerich, U. (1998). "The role of supplemental translamina screws in anterior lumbar interbody fixation: A biomechanical study." Eur Spine J 7: 400-7
- Richter, A., Hille, E. (2004). "Die postoperative Phase: Mobilisation, Rehabilitation und symptomorientiertes Management bei postoperativen Beschwerden." In Hildebrandt, J., Müller, G., Pflingsten, M. (Hrsg.) „Lendenwirbelsäule“ München, Urban & Fischer, 2004; 666-75
- Rohmann, A., Graichen, F., Weber, U., Bergmann, G. (2000). „2000 Volvo award winner in biomechanical studies: monitoring in vivo implant loads with a telemeterized internal spinal fixation device.“ Spine 25: 2981-86
- Rompe, J.D., Eysel, P., Hopf, C. (1995). "Clinical efficacy of pedicle instrumentation and posterolateral fusion in the symptomatic degenerative lumbar spine." Eur Spine J 4: 231-37
- Roughley, P.J. (2004). „Biology of intervertebral disc aging and degeneration.“ Spine 29: 2691-99
- Roy-Camille, R., Roy-Camille, M, Demeulenaere, C. (1970). "[Osteosynthesis of dorsal, lumbar and lumbosacral spine with metallic plates screwed into vertebral pedicles and articular apophyses]." Presse Med 78: 1447-8
- Schaeren, S., Roth, J., Dick, W. (2002). "Effektive In-vivo Strahlendosis bei bildwandlerkontrollierter Pedikelinstrumentation vs. CT-basierter Navigation." Orthopäde 31: 392-96
- Schulitz, K.-P. (2004). "Spinalkanalstenosen und Engpasssyndrome." In Hildebrandt, J., Müller, G., Pflingsten, M. (Hrsg.) „Lendenwirbelsäule“ München, Urban & Fischer, 2004; 634-56

- Sonntag, V.K.H. (1996). "History of spinal disorders." In Menezes, A.H., Sonntag, V.K.H. "Principles of spinal surgery." McGraw-Hill, New York, (1996), 3-23
- Steffee, A.D., Biscup, R.S., Sitkowski, D.J. (1986). "Segmental spine plates with pedicle screw fixation. A new internal fixation device for disorders of the lumbar and thoracolumbar spine." Clin Orthop 203: 45-53
- Steffee, A.D., Brantigan, J.W. (1993). "The variable screw plate fixation system." Spine 18: 1160
- Steffen, R., Wittenberg, R., Plafki, C. (2003). „Biomechanische Untersuchungen lumbaler Spondylodesen mittels Fixateur interne aus einer Titanlegierung.“ Z Orthop 141: 73-78
- Summers, B.N., Eisenstein, S.M. (1989). „Donor site pain from the ilium: A complication of lumbar spine fusion.“ J Bone Joint Surg [Br] 71: 677-80
- Thomsen, K., Christensen, F.B., Eiskjær, S.P., Hansen, E.S., Fruensgaard, S., Bünger, C.E. (1997). „1997 Volvo Award Winner in Clinical Studies: The Effect of Pedicle Screw Instrumentation on Functional Outcome and Fusion Rates in Posterolateral Lumbar Spinal Fusion: A Prospective, Randomized Clinical Study.“ Spine 22: 2813-22
- Tillmann, B., Töndury, G. (1987). „Anatomie des Menschen - Lehrbuch und Atlas.“ Band I - Bewegungsapparat; Stuttgart, Georg Thieme Verlag 1987: 229-47
- Urban, J.P.G., Smith, S., Fairbank, J.C.T. (2004). "Nutrition of the intervertebral disc." Spine 29: 2700-09
- Vaccaro, A.R., Garfin, S. (1995). "Internal fixation (pedicle screw fixation) for fusions of the lumbar spine." Spine 20 (suppl): S157-65
- Waddle, G., Kummel, E.G., Lotto, W.N., Graham, J.D., Hall, H., McCulloch, J.A. (1979). "Failed lumbar disc surgery and repeated surgery following industrial injuries." J Bone Joint Surg 1979; 61-A: 201-7
- Wittenberg, R.H., Willburger, R.E., Krämer, J. (1998). „Spondylolyse und Spondylolisthese.“ Orthopäde 27: 51-63
- Yuan H.A., Garfin, S.R., Dickman, C.A., Mardjetko, S.M. (1994). „A historical cohort study of pedicle screw fixation in thoracic, lumbar and sacral spinal fusions.“ Spine 19 (Suppl): 2279S-96S
- Zdeblick, T.A. (1993). „A Prospective, Randomized Study of Lumbar Fusion.“ Spine 18: 983-91
- Zucherman, J., Hsu, K., White, A., Wynne, G. (1988). "Early results of spinal fusion using variable spine plating system." Spine 13: 570-79
- Zucherman, J., Hsu, K., Picetti, G., White, A., Wynne, G. Taylor, L. (1992). "Clinical efficacy of spinal instrumentation in lumbar degenerative disc disease." Spine 17: 834-37

## 8 Abkürzungsverzeichnis

<b>a.p.</b>	anterior-posterior
<b>BWK</b>	Brustwirbelkörper
<b>CCD</b>	Charge-coupled Device (lichtempfindlicher Halbleiterdetektor)
<b>CT</b>	Computertomographie
<b><math>\chi^2</math></b>	Chi-Quadrat-Test
<b>DI</b>	Disability Index
<b><math>\Delta</math>DI</b>	relative Änderung des DI in Prozentpunkten
<b>DLS</b>	dorsolaterale Spondylodese
<b>DRB</b>	dynamische Referenzierungsbasis
<b>DVS</b>	dorsoventrale Spondylodese
<b>ePP</b>	erreichte Punkte eines Patienten
<b>FBSS</b>	Failed Back Surgery Syndrome
<b>k</b>	Anzahl unbewerteter Kategorien im ODQ
<b>LED</b>	Light Emitting Diode
<b>LWK</b>	Lendenwirbelkörper
<b>m.</b>	männlich
<b>M.</b>	Musculus
<b>min-max</b>	Minimal- und Maximalpunktwert
<b>Mm.</b>	Musculi
<b>MW</b>	Mittelwert
<b>ODQ</b>	„Oswestry Low Back Pain Disability Questionnaire“
<b>Pat.</b>	Patient
<b><math>P_{\max(50)}</math></b>	maximal erreichbare Punktezahl im ODQ
<b>PLIF</b>	posterior lumbar interbody fusion
<b>SA</b>	Standardabweichung

<b>SWK</b>	Sakralwirbelkörper
<b>VAS</b>	visuelle Analogskala
<b><math>\Delta</math>VAS</b>	relative Änderung des VAS in Prozentpunkten
<b>w.</b>	weiblich

## 9 Danksagung

In erster Linie möchte ich an dieser Stelle Herrn Professor Dr. K. A. Matzen für die Überlassung des Themas und die Möglichkeit danken, die Patientenuntersuchungen an seiner Klinik durchführen zu können. Auch darf ich mich für die Gelegenheit bedanken, tiefere Einblicke in die Orthopädie und vor allem in die orthopädische Wirbelsäulenchirurgie erhalten zu haben.

Ebenfalls danken möchte ich Herrn Dr. Y. Martin für die geleistete Vorarbeit und die wertvollen Hinweise.

Ein besonderer Dank gilt den hilfreichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern im Archiv für die verrichtete Mehrarbeit.

Auch gebührt mein Dank allen ärztlichen Mitarbeitern für die geleistete Mitarbeit, ohne die eine prospektiv angelegte Studie nicht durchführbar wäre.

Schließlich bedanke ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden für ihre Geduld, die ich ihnen abverlangt habe, und ihr Verständnis, das sie mir entgegengebracht haben.

M. Mlinaric, Augsburg 2005



## Lebenslauf



Name und Vorname	Mlinaric Mario
Geburtsdatum und -ort	28. Juli 1970 in München
Staatsangehörigkeit	deutsch
Religionsgemeinschaft	römisch-katholisch
Familienstand	ledig
Eltern	Nada und Josip Mlinaric

## Schulischer Werdegang

Grundschule	1977 bis 1981 in München
Hauptschule	1981 bis 1982 in München
Gymnasium	1982 bis 1986 Gisela-Gymnasium, München 1986 bis 1991 Carl-Orff-Gymnasium, Lohhof 1991 Hochschulreife
Hochschule	1991 bis 1994 Ludwig-Maximilians-Universität, München Physikum 1994 1994 bis 1999 Technische Universität, München Hochschulabschluß 1999

## Beruflicher Werdegang

Arzt im Praktikum Laqua)	Juni 1999 bis November 2000 Allgemeinchirurgie in der Kreisklinik Pasing, München (Chefarzt Dr. med. D.
Assistenzarzt der Laqua)	Dezember 2000 bis Januar 2001 Allgemeinchirurgie in Kreisklinik Pasing, München (Chefarzt Dr. med. D.
Assistenzarzt	Februar 2001 bis Januar 2003 Unfall- und Wiederherstellungschirurgie im Krankenhaus Dritter Orden, München (Chefarzt Dr. med. S. Garbe)
Assistenzarzt	seit Februar 2003 Orthopädie in der I. Orthopädischen Klinik der Hessing-Stiftung, Augsburg (Chefarzt Prof. Dr. med. Dr. med. habil. K. A. Matzen)

M. Mlinaric, Augsburg 2005