

Aus der Klinik für Neurochirurgie der Medizinischen Fakultät  
Charité-Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Klinische und radiologische Ergebnisse nach posteriorer  
lumbaler interkorporeller Fusion mit einem neuartigen,  
distrahierbaren Polyetheretherketon-Implantat

Zur Erlangung des akademischen Grades Doctor medicinae  
(Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät Charite  
Universitätsmedizin Berlin

von  
Falah Sadik  
aus  
Berlin

Gutachter: 1. Privatdozent Dr. med. O. Suess  
2. Prof. Dr. med. T. A. Pietilä  
3. Prof. Dr. med. H. J. Meisel

Datum der Promotion: 30.11.2012

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Zielsetzung	9
3. Material und Methoden	10
3.1 Studiendesign und Patienten	10
3.2 Verwendetes Implantat	10
3.3 Indikation und Kontraindikation für einen distrahierbaren Cage	11
3.3.1 Indikation	11
3.3.2 Kontraindikation	11
3.4 Operationstechnik	12
3.5 Mögliche intraoperative Komplikationen	15
3.6 Prä- und postoperative neurologische Untersuchung	15
3.7 Prä- und postoperative radiologische Untersuchung	16
3.7.1 Bestimmung der Bandscheibenhöhe	17
3.7.2 Bestimmung des Winkels im ZWR	18
3.7.3 Beurteilung der Wirbelkörperfusion	19
3.8 Die Bestimmung der subjektiven Schmerzempfindung	20
3.9 Statistik	21
4. Ergebnisse	22
4.1 Patienten	22
4.2 Operationsspezifische Ergebnisse	22
4.3 Operationsindikation	24
4.4 Intra- und postoperative Komplikationen	25
4.5 Postoperative Patientenzufriedenheit bezüglich des Schmerzes	25
4.6 Vergleich von klinischen und radiologischen Parametern	27
4.7 Vergleich radiologischer Parameter	29

5. Diskussion	34
Alters- und Geschlechtsverteilung	35
Indikationsstellung zur PLIF	36
Bildgebung	37
Komplikationen	37
Klinische Symptomatik	39
Radiologisches Outcome-Fusion	40
Radiologisches Outcome-ZWR-Höhe	40
Radiologisches Outcome-ZWR-Winkel	41
Schlussfolgerungen	41
6. Zusammenfassung	43
7. Anhang Dokumentationsbogen	46
8. Literaturverzeichnis	49
9. Lebenslauf	54
10. Danksagung	55
11. Erklärung der Selbständigkeit	56

## **1. Einleitung**

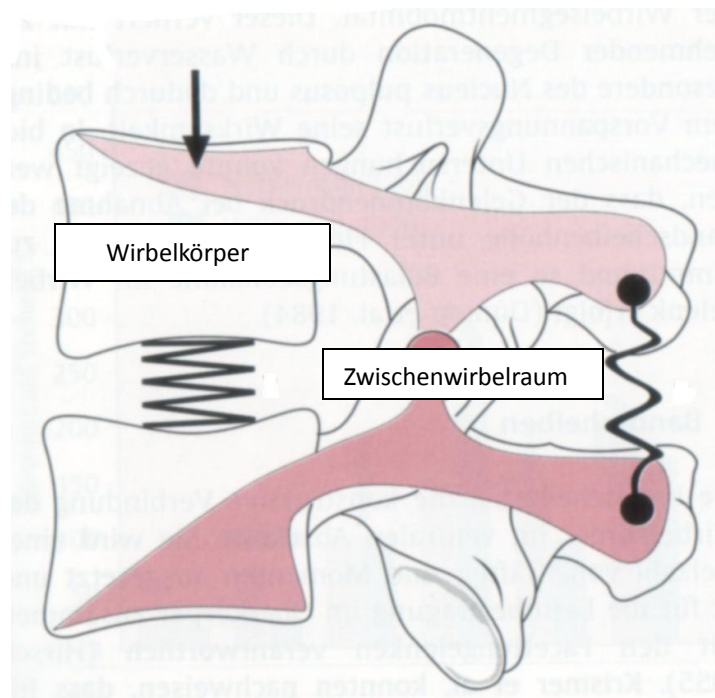
Die vorliegende Arbeit legt die klinischen und radiologischen Ergebnisse nach posteriorer lumbaler interkorporeller Fusion (PLIF) mit Hilfe eines neuartigen, distrahierbaren Polyetheretherketon (PEEK)-Implantats im Rahmen von schmerzhaften Erkrankungen im Bereich der Lendenwirbelsäule vor. Die Operationen wurden an der Klinik und Poliklinik für Neurochirurgie der Charite am Campus Benjamin Franklin durchgeführt.

Chronische Rückenschmerzen sind in den Industriestaaten die häufigste Ursache für Arbeitsunfähigkeit, Rehabilitation und Frühberentung. Die Gesamtkosten belaufen sich hierbei auf ca. 25 Mrd. Euro jährlich. [1] [2] Die Lebensprävalenz für Rückenschmerzen beträgt 55 bis 85 %. [3] Rückenschmerzen sind häufig Folge von degenerativen Veränderungen. Diese betreffen zum größten Teil (>60%) die Bewegungssegmente der LWS. [4]

Junghanns prägte 1951 erstmals den Begriff der „functional spinal unit“ (zu Deutsch: Bewegungssegment) der Wirbelsäule. [6] Ein solches Bewegungssegment besteht aus zwei benachbarten Wirbelkörpern, den Wirbelbögen und Gelenkverbindungen, der dazwischen liegenden Bandscheibe und dem dazu gehörigen Bandapparat. Aus biomechanischen Überlegungen unterteilte 1963 zunächst Holdworth die Wirbelsäule in eine vordere und hintere [7] und 1984 Denis in eine vordere, mittlere und hintere Säule, wobei die vordere Säule aus dem vorderen Längsband, der vorderen Hälfte des Wirbelkörpers und der Bandscheibe, die mittlere Säule aus dem hinteren Längsband, der hinteren Hälfte des Wirbelkörpers und der Bandscheibe und die hintere Säule aus den Wirbelbögen mit den dazu gehörigen Gelenkverbindungen und dem Bandapparat besteht. [8] Die gesunde Bandscheibe ist elastisch und dämpft dementsprechend die einwirkenden Kräfte problemlos ab.

Im Laufe des physiologischen Alterungsprozesses verliert die Bandscheibe Wasser, was zur Verminderung der Elastizität und Höhenminderung führt. Dieser Höhenverlust führt zu morphologischen Veränderungen des gesamten Bewegungssegmentes. (Abb. 1) Hierbei spricht man von diskogener Instabilität, da die Bandscheibe maßgeblich an der Stabilität des

Bewegungssegmentes beteiligt ist. [66] Die einwirkenden Kräfte werden aber auch auf die Grund- und Deckplatten der benachbarten Wirbelkörper abgegeben. Diese reagieren mit einer Abstützungsreaktion die zu einer Sklerosierung der Grund- und Deckplatten (Osteochondrose) und Entstehung neuer Knochensubstanz (Spondylose) führt. Diese qualitativen und quantitativen Veränderungen führen letztlich zu einer Minderung der „segmentalen Stabilität“ und konsekutiven mechanischen Auffälligkeiten, wie einer erhöhten Translation in dorsoventraler Richtung und pathologischer Begleitbewegungen. [5, 67]



**Abb. 1:** Bewegungssegment nach Junghanns  
(aus „Die Wirbelsäule“ v. Stempel, 2001)

Klinische Relevanz bei radiologischen Zeichen von Instabilität ist jedoch nur dann gegeben wenn entsprechende Symptome bestehen. Vereinfacht ausgedrückt spricht man dann von symptomatischer Instabilität.

Kirkaldy-Willis und Farfan teilen die Instabilität auf degenerativer Basis in 3 Phasen ein. In der 1. Phase kommt es zu intradiskalen Massenverschiebungen mit Bandscheibenprotrusionen und akut auftretenden Lumbalgien und evtl. Reizung der Nervenwurzel. Ein Korrelat in den bildgebenden Verfahren zeigt sich nicht. In der 2. Phase zeigen sich belastungsabhängige chronisch-rezidivierenden Schmerzen mit radiologischen Zeichen der Instabilität, wie z.B. Höhenminderung der Bandscheibe oder Black Disc mit arthrotischen Veränderungen der Facettengelenke im MRT. In der 3. Phase kommt es zur Stabilisierung des Bewegungssegmentes mit zunehmender Einsteifung bei geringen Schmerzen. Es zeigen sich jedoch gelegentlich Spinalkanalstenosen. [66]

Das therapeutische Ziel besteht in der Schmerzreduzierung durch Beseitigung der segmentalen Instabilität und der Dekompression neuraler Strukturen. Die Behandlung richtet sich zunächst nach dem Schweregrad der Erkrankung. In der Anfangsphase stehen hierfür zahlreiche Therapieoptionen zur Verfügung. Hierzu zählen die Physiotherapie mit Aufbau bzw. Stärkung der Muskulatur zur Stabilisierung des Bewegungssegmentes, die Verschreibung von Schmerzmitteln, die lokalen Injektionen bzw. Denervationen, physikalische Maßnahmen wie Wärmetherapie, Massagen und interventionelle bzw. verschiedene minimal-invasive Behandlungen.

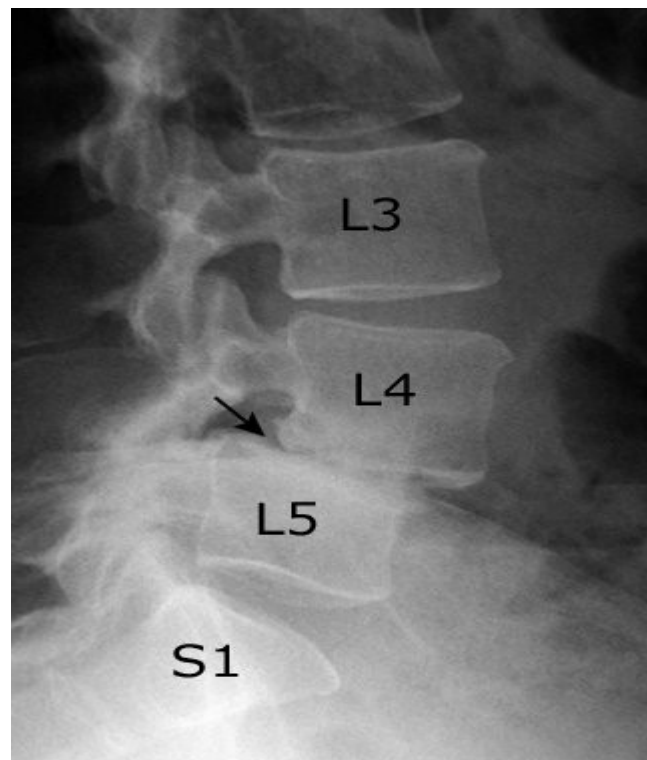
Bei Fortschreiten pathologischer Veränderungen, bei therapieresistenten Schmerzen und/oder neurologischen Defiziten ist eine operative Therapie angezeigt. Die Wirbelkörperfusion bzw. -versteifung (Spondylodese) ist hierbei ein etabliertes Verfahren, welches in den letzten Jahrzehnten durch Entwicklung verschiedenartiger Operationstechniken einen immensen Fortschritt erfahren hat. Zur Erhaltung bzw. Wiederherstellung der Funktionalität toleriert man durch die Wirbelkörperfusion jedoch den Verlust der zweiten wesentlichen Funktion der Wirbelsäule, nämlich die der Beweglichkeit. Weiner und Fraser formulierten 1998 für die Fusion u.a. folgende Ziele: Die Korrektur der mechanischen Deformierung mit Wiederherstellung der ursprünglichen Bandscheibenhöhe und Lordose und einer physiologischen Lastverteilung, eine ausreichende Primär- und daraus resultierender

Langzeitstabilität und eine geringe Sinterungstendenz der Implantate. [9]

Neben den Fusionstechniken über den ventralen (ALIF) und transforaminalen (TLIF) Zugangsweg existiert die „posterior lumbar interbody fusion“ (PLIF). Erstmals 1950 von Cloward beschrieben und durchgeführt erfolgt hierbei der Zugang von dorsal über eine (Teil-) Entfernung des Wirbelbogens und eine bilaterale Ausräumung des Bandscheibenfaches. [10, 11, 26] Diese Technik erlaubt neben der Dekompression nervaler Strukturen die dorsale Spondylodese über denselben Zugangsweg. Die notwendige Mobilisierung der nervalen Strukturen birgt jedoch in bis zu 15 % der Fälle die Gefahr von Verletzungen der Dura mit Liquorleck und des Myelons bzw. der Nervenwurzeln mit dementsprechenden sensomotorischen Defiziten. [10, 11]

Die beiden häufigsten Indikationen für die PLIF sind die Spondylolisthesis (das Wirbelgleiten) und die degenerative Spinalkanalstenose mit sekundärer Instabilität, was sich auch in dieser Studie widerspiegelt. Der Begriff der Spondylolisthese, der 1854 von Kilian [12] eingeführt wurde, besteht aus den Worten „spondylos“ für Wirbel und „olisthesis“ für Gleiten. Definiert wird die Spondylolisthesis als Gleiten eines Wirbels über den darunter liegenden Wirbel in sagittaler Richtung [13]. (Abb. 2)





**Abb. 2:** Spondylolisthesis (Wirbelgleiten) zwischen L 4 und L 5  
(aus ehealthyland.com)

Die häufigste Ursache der Spondylolisthesis ist ein Defekt im Bereich der Pars interarticularis, also eine Kontinuitätsunterbrechung zwischen Wirbelkörper und Lamina und unterem Gelenkfortsatz. Dieser kann ein- oder beidseits sein. [13] Wiltse et al. führten 1976 eine Klassifikation der Spondylolisthesis ein. Hier wird zwischen erworbenen und angeborenen Spondylolisthesen unterschieden [14].

Die Spondylolisthesis wird in 6 Typen unterteilt [15]:

**I. Kongenital (dysplastisch)**

- a) Spina bifida des 5. Lendenwirbels oder Sakrums kann zur Anlagestörung der Facettengelenke und zur Instabilität führen
- b) Sagittale Orientierung der Facettengelenke bietet tangentialen Kräften keinen Widerstand
- c) andere Anomalien, z.B. lumbale Kyphose

**II. Isthmisch**

- a) Ermüdungsbruch der Pars interarticularis
- b) wiederholte Mikrofrakturen->Kallusdistraction und Ausdünnung der Pars interarticularis

**III. Degenerativ (Pseudospondylolisthesis)**

Degenerative Veränderungen der Wirbelgelenke, Kapseln, Bändern und Diskusdegeneration führen zur Hypermobilität und zum Gleiten im Segment

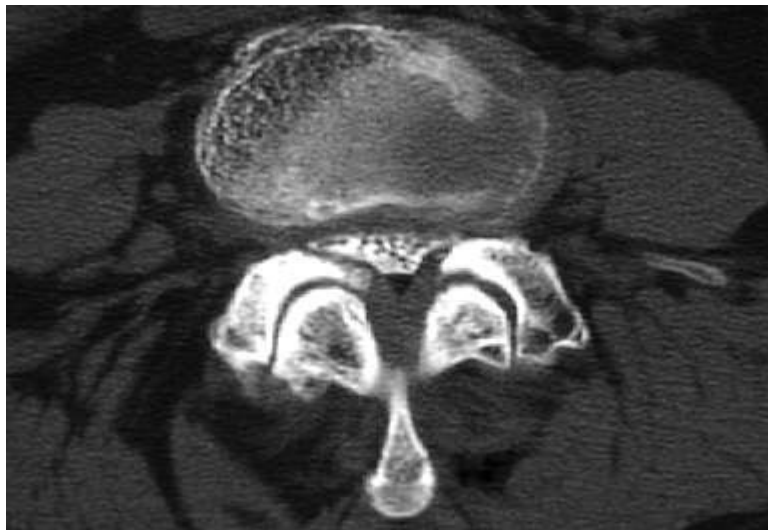
**IV. Traumatisch**

Ein akutes Trauma der hinteren Säule kann zum Wirbelgleiten führen.

**V. Pathologisch****VI. Postchirurgisch**

Nach Meyerding unterscheidet man fünf Schweregrade. [16] Bei einer Grad I-Spondylolisthesis besteht ein Versatz der Wirbelkörper bis zu 25 %, bei Grad II bis 50 %, bei Grad III bis 75 % und bei einer Grad IV-Spondylolisthesis über 75 %. Haben die Wirbelkörper den Kontakt zueinander verloren so spricht man von einer Spondyloptose.

Die Spinalkanalstenose ist definiert als mono- oder polysegmentale Einengung des Zentralkanals, der Recessus laterales und/oder Foramina intervertebrale. Unterschieden werden angeborene und erworbene Spinalkanalstenosen. Zu den angeborenen Stenosen gehören Wirbelmißbildungen, Achondroplasie und die idiopathische Spinalkanalstenose. Degenerativ bzw. erworben sind osteophytäre Reaktionen im Bereich der Facettengelenke, Hypertrophie der Ligamenta flava und Wirbelgleiten durch Bandscheibendegeneration. (Abb. 3) Die zentrale degenerative Stenose findet sich auf Höhe der Bandscheibe. Die laterale Stenose manifestiert sich als Recessusstenose durch Hypertrophie der Facettengelenke oder foraminale Stenose durch osteophytäre Anbauten. Die Sinterung des Bandscheibenfaches führt zur Subluxation der Facettengelenke. Dies kann sekundär zur Retrolisthesis und funktionellen Instabilität führen.



**Abb. 3:** Spinalkanalstenose mit Hypertrophie der Facettengelenke und Ligg. flava (aus orthobullets.com)

Die zuvor genannte PLIF-Technik stellt die am häufigsten angewandte Form der operativen Therapiemöglichkeiten zur Korrektur, Ruhigstellung und letztlichen Fusion eines solchen fehlgestellten und/oder instabilen Wirbelsegmentes dar. Anfangs benutzte man als Interponat autologes Knochenmaterial, meistens aus dem Beckenkamm. [10] Dieses Verfahren wird selbst heute noch als Goldstandard bezeichnet, da hierdurch eine hohe Fusionsrate erreicht und eine Fremdkörperreaktion verhindert wird. Nachteilig wirkt sich jedoch die vermehrte Belastung des Patienten durch längere Operationsdauer, Blutungen, Wundheilungsstörungen, Nervenverletzungen und Osteomyelitiden einerseits und das erhöhte Sinterungsrisiko andererseits aus. Zusätzlich wies man langfristig vermehrt Pseudarthrosen nach. [10]

Die Benutzung von allogenen Knochenmaterial zeigte im Vergleich eine verminderte Fusionsrate und ein erhöhtes Risiko für Fremdkörper- und Entzündungsreaktionen. Dies war der Anstoß zur Entwicklung synthetischer Interponate (sog. „cages“). Hierzu wurde eine Vielzahl von Materialien wie Metalle und Kunststoffe verwendet. Titan ist ein Metall und aufgrund seiner Biokompatibilität und Primärstabilität ein für die Cageherstellung geeignetes Material. Nachteilig wirkt sich jedoch die mit 100 Gigapascal im Vergleich mit kortikalem Knochen zehnfach höhere Elastizität aus. Dies führt zu einer vermehrten Neigung von

Cageeinbrüchen aufgrund der ungünstigen Lastverteilung einerseits und aufgrund der geringen Belastung des eingebrachten Knochenmaterials zu einer verminderten Wachstumsstimulation des Knochens andererseits. Diesen Effekt nennt man „stress shielding effect“. In Bezug auf die radiologische Beurteilbarkeit zeigen sich in den tomographischen Untersuchungen vermehrt Artefakte.

Polyetheretherketon (PEEK) ist ein teilkristallines, thermoplastisches Polymer. Die Herstellung erfolgt durch Polykondensation von 4,4'-Difluorobenzophenon und Hydrochinon bei 320°C in Anwesenheit von Diphenylsulfon und Kaliumcarbonat. Seine chemische Struktur bedingt eine hohe Stabilität gegenüber chemischer und Strahlen bedingter Schädigung. Zusätzlich besitzt es eine hohe mechanische Festigkeit und ist hydrolysebeständig. PEEK findet seit etwa 20 Jahren aufgrund seiner Biokompatibilität zunehmend Anwendung in der Implantatchirurgie. Es wird seit 1997 zur Cageherstellung verwendet. Es besitzt eine Elastizität, die dem von kortikalen Knochen ähnlich ist. Der „stress shielding effect“ ist dementsprechend gering ausgeprägt. Die hohe Biokompatibilität bedingt, dass bisher keine Fremdreaktionen beschrieben wurden. PEEK zeichnet sich außerdem durch eine hohe Röntgentransparenz aus.

Obwohl in den letzten Jahrzehnten eine Vielzahl von Cages entwickelt wurde, ist es bisher nicht gelungen die von Weiner und Fraser erwähnten Ziele bzw. Anforderungen in einem einzigen Cage zu vereinen. Eine neu entwickelte Gruppe von distrahierbaren Cages soll diesen Zielen näher kommen und wurde in dieser Arbeit untersucht. Hergestellt aus PEEK wurde der Cage der anatomischen Form der Wirbelkörperendplatten angepasst. Hierdurch soll eine optimale Lastverteilung erreicht und das Sinterungsrisiko vermindert werden. Durch die Möglichkeit zur Distraction sollten zudem zwei weitere wesentliche Ziele erreicht werden: a) ein zusätzlicher Höhengewinn des Bandscheibenfaches zur besseren Dekompression der nervalen Strukturen und b) die Wiederherstellung, bzw. Verbesserung der physiologischen LWS-Lordose durch Korrektur der Winkelung auf Höhe des operierten Zwischenwirbelraums.

## **2. Zielsetzung**

Im Rahmen dieser prospektiven Studie sollten die klinischen und radiologischen Ergebnisse einer posterioren lumbalen interkorporellen Fusion (PLIF) mit einem neuartigen, distrahierbaren PEEK-Cage untersucht werden.

Die potentiellen Vorteile des Implantats werden darin vermutet, dass der Cage unaufgespreizt in den Zwischenwirbelraum eingeführt und erst hier sekundär distrahiert werden kann. Das unaufgespreizte Einbringen kann potentiell auf einem kleineren und dadurch eventuell weniger invasiven Zugangsweg erfolgen. Sollte sich dieses Verfahren als praktikabel herausstellen, könnten sich Modifikationen des Operationsverfahrens, wie die Implantation über einen rein minimal-invasiven Zugangsweg, z.B. über ein perkutanes Tube-System, anbieten. Das Aufspreizen erst nach Platzierung im ausgeräumten Zwischenwirbelraum verspricht eine kontrollierte und mechanisch sichere Verankerung, so dass ein solches distrahierbares Implantat ggf. auch als Lösung für eine stand-alone Fusions-Variante in Frage käme. Zuvor sollte jedoch in dieser Studie die Einsetzbarkeit und die zu erwartende Fusionsrate bei konventioneller Anwendung in PLIF-Technik untersucht werden.

Ziel der Studie war die Beantwortung folgender Fragen:

1. Wie sicher und effektiv kann eine PLIF-Operation mit dem neuartigen distrahierbaren Cage durchgeführt werden?
  - Wie ist der klinische Verlauf nach Operation?
  - Wie hoch ist die Komplikationsrate?
2. Können physiologische Höhe und Winkel im Zwischenwirbelraum wiederhergestellt werden?
5. Wie hoch ist die Fusionsrate?

### 3.1 Studiendesign und Patienten

Die vorliegende prospektive Studie beschäftigt sich mit 58 Patienten, die in der Neurochirurgischen Klinik der Charité Campus Benjamin Franklin zwischen Januar 2006 und Juli 2009, aufgrund einer mono- bzw. multisegmentalen degenerativen Erkrankung der Lendenwirbelsäule mittels einer posterioren lumbalen interkorporellen Fusion (PLIF) mit distrahierbaren PEEK-Cages versorgt wurden. Zusätzlich erfolgte in allen Fällen die dorsale Stabilisierung mittels Fixateur interne (Schrauben-Stangen-System).

Zu den Einschlußkriterien zählten Lumbalgien, sensomotorische Defizite, eine radikuläre Schmerzausstrahlung oder eine Gehstreckenverkürzung im Sinne einer Claudicatio spinalis, welche sich unter intensiver, mindestens 6-monatiger Schmerzbehandlung und/oder physiotherapeutischer Beübung therapierefraktär zeigten. (Ein- und Ausschlusskriterien – siehe auch Kap. 3.3.1 und 3.3.2) Die radiologischen Untersuchungen (MRT, CT und Röntgenfunktionsaufnahmen der LWS) sicherten bei den Patienten die Diagnose einer Spondylolisthesis, bzw. einer segmentalen Instabilität mit konsekutiver Spinalkanalstenose ab. Die präoperativen Daten wurden mit Hilfe der Patientenakten und Patientenbefragung erfasst. Intraoperativ wurden fluoroskopische Kontroll-Röntgen-aufnahmen zu verschiedenen Zeitpunkten der Implantateinbringung angefertigt. Diese wurden zur späteren Vermessung digitalisiert. Die Patienten wurden im Mittel nach 6 und 12 Monaten zur klinischen und radiologischen Verlaufsuntersuchung einbestellt. Hierbei wurde der postoperative neurologische und radiologische Status erhoben, die radiologischen Kontrollaufnahmen ausgewertet und der subjektive Krankheitsverlauf der Patienten erfragt. Zwecks Erfassung der Patientendaten wurde ein Dokumentationsbogen erstellt. Zunächst wurden grundlegende Daten wie Geschlecht, Alter, Begleiterkrankungen und der Body-Mass-Index erfasst.

### 3.2 Verwendete Implantate

Das Zwischenwirbelraum-Implantat (WAVE Cage der Firma Advanced Medical Technologies, Nonnweiler, D.) besteht aus Polyetheretherketon (PEEK). Einem thermoplastischen Kunststoffpolymer mit hoher Biokompatibilität und Röntgentransparenz. Der Cage steht grundsätzlich in starrer und distrahierbarer Form, verschiedenen Lordosewinkeln ( $0^\circ$  und  $6^\circ$ ), Höhen (9-13 mm) und Längen (24 und 28 mm) zur Verfügung. Bei den in dieser

Studie eingeschlossenen Patienten wurden ausschließlich distrahierbare Cages mit einem Lordosewinkel von  $6^\circ$  implantiert. Die Studie erfolgte als monozentrische Anwendungsbeobachtung. Das Studiendesign sowie die Verwendung und der Umgang mit den Patientendaten erfolgte in Absprache und entsprechend der Vorgaben der Ethikkommission der Charité-Universitätsmedizin Berlin.

Die dorsale Spondylodese erfolgte mit dem Schrauben-Stangen-System XIA-System (Fa. Stryker Deutschland GmbH, Duisburg, D.) wobei ausschließlich polyaxiale, kanülierte Pedikelschrauben mit dem Durchmesser 6,5 bzw. 7,5 mm eingesetzt wurden.

### **3.3 Indikationen und Kontraindikationen für die Implantation eines distrahierbaren PEEK-Cages**

#### **3.3.1 Indikationen**

Indikation für die Implantation eines distrahierbaren PEEK-Cage-Paares (in Verbindung mit einer dorsalen Schrauben-Stab-Instrumentierung) bestand bei konservativ therapieresistenter degenerativer Spondylolisthesis der Lendenwirbelsäule, bei spinaler Stenose mit Claudicatio spinalis Symptomatik und segmentaler Instabilität sowie bei sekundärer Instabilität nach operativen Eingriffen im Sinne eines Postdiskotomiesyndroms.

Einschlußkriterien für die vorliegende Studie waren:

- mono- oder multisegmentale degenerative Pathologien im Bereich der LWS
- degenerative Instabilität der LWS mit konsekutiver Spinalkanalstenose
- Spondylolisthesis (Meyerding Grade 0-2)
- klinische und radiologische Indikation zur PLIF-Operation
- Patient volljährig

#### **3.3.2 Kontraindikationen**

Skoliotische Fehlstellungen der Lendenwirbelsäule, eine reduzierte Knochenfestigkeit, z.B. im Rahmen einer Osteoporose stellen genauso eine Kontraindikation dar, wie das Vorhandensein von tumorösen Prozessen und Frakturen.

Ausschlußkriterien für die vorliegende Studie waren:

- tumoröse oder traumatisch oder entzündlich bedingte Pathologien im Bereich der LWS
- Spondylolisthesis > Meyerding Grad 2
- Patientenalter < 18 Jahre
- BMI > 35
- Osteoporose
- insulinpflichtiger Diabetes mellitus
- sonstige Immunsuppression (u.a. durch Dauer-Kortikoid-Einnahme)
- bekannte Unverträglichkeit gegenüber Kunststoffen

### **3.4 Operationstechnik**

Nach typischer Bauchlagerung des Patienten und Höhenlokalisierung mittels Bildwandler erfolgte von dorsal der supraspinöse Hautschnitt. Nach Darstellung und Inzision der Faszie erfolgte subperiostal das Lösen der Rückenmuskulatur von den Dornfortsätzen, den Wirbelhalbbögen und den Facettengelenken. Unter Röntgendarstellung und Sondierung der Pedikel wurden die polyaxialen, kanülierten Schrauben eingebracht. Im Bereich der Pedikel der Lendenwirbelkörper LWK 1 bis 5 waren dies 6,5mm durchmessende Schrauben, im Bereich der Pedikel des SWK 1 grundsätzlich 7,5mm durchmessende Schrauben. Die Schraubenlängen wurden mechanisch durch Sondenkanülierung, bzw. durch Ausmessen der Wirbelkörperlänge im seitlichen Fluoroskopiebild bestimmt.

Hiernach wurde unter Einsatz des Operationsmikroskops eine osteoligamentäre Dekompression via Laminektomie durchgeführt. Nach Darstellung und Medialisierung der abgehenden Nervenwurzeln erfolgten die Inzision des hinteren Längsbandes und die beidseitige Ausräumung des betroffenen Bandscheibenfaches. Die Grund- und Deckplatten der angrenzenden Wirbelkörper wurden angefrischt und der Zwischenwirbelraum mittels Distraktor ausgemessen (Abb. 6).





**Abb. 6:** Distraction und Ausmessen des Zwischenwirbelraumes

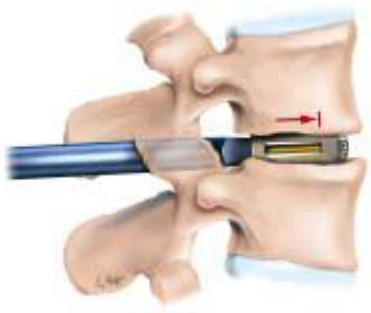


**Abb. 7:** Fixierung des Cages auf dem Druckstück des Setzinstrumentes

Mit Hilfe eines speziellen Setzinstrumentes (Abb. 7) wurden insgesamt 2 gleich hohe Cages bilateral platziert (Abb. 8) und nach fluoroskopischer Lagekontrolle im Zwischenwirbelraum auf die vorgegebenen 6 Grad Lordosewinkel aufgespreizt (Abb. 9).



**Abb. 8:** Setzen des Cages in den ausgeräumten Zwischenwirbelraum in PLIF-Technik



**Abb. 9:** Aufspreizen des Cages

(Abbildungen 6-9, modifiziert mit freundlicher Genehmigung nach der OP-Anleitung des Herstellers)

Nach Einbringen der Längsverbindungsstäbe erfolgte unter leichter Kompression die Einklemmung der Cages in den Zwischenwirbelraum und die abschließende Optimierung der Lordose, bevor Schraubenköpfe und Stange fest miteinander verblockt wurden. Das Ausmaß der erforderlichen Relordosierung wurde dabei abhängig von der individuellen sagittalen Balance bestimmt.

### **3.5 Mögliche intraoperative Komplikationen**

Eine wesentliche Komplikationsmöglichkeit stellt, vor allem bei der Mobilisierung der nervalen Strukturen zur dorsalen Bandscheibenausräumung und Einsetzen des Cages, die Duraverletzung dar. Ferner besteht bei Ausräumung des Bandscheibenfaches und des Anfrischens der Grund- und Deckplatten bei Perforation des vorderen Längsbandes die Gefahr der Verletzung der prävertebralen, abdominellen Gefäße.

Eine im Rahmen der Bandscheibendegeneration auftretende Teilversteifung des Zwischenwirbelraumes im Sinne einer fibrösen oder knöchernen Ankylose bei einer Diskopathie III° kann eine Distraction evtl. erschweren, so dass das gewünschte Ziel der Aufweitung der Neuroforamina und Wiederherstellung der Lendenlordose nicht erreicht werden kann.

### **3.6 Prä- und postoperative neurologische Untersuchung**

Im Rahmen einer ausführlichen neurologischen Untersuchung und symptombezogenen Befunderhebung wurden prä- und postoperativ sowie bei jedem der 2 ambulanten Verlaufsuntersuchungen der klinisch-neurologische Status erfasst. Hierbei wurde der sensomotorische Status mit dermatomspezifischen Auffälligkeiten und die Kraftgraderhebung nach Janda (Kraftgrad 0/5 bis 5/5) an den unteren Extremitäten, das Reflexniveau, die beschwerdefreie Gehstrecke, die Blasen- und Mastdarmfunktion sowie Stand- und Gangbild bewertet und registriert.

Zur quantitativen Evaluierung des prä- und postoperativen neurologischen Status wurde der von der Japanese Orthopedic Association 1975 eingeführte JOA-Score (Tabelle 1) angewendet, der von 0 für maximale Beeinträchtigung bis 17 für normal reicht. [65]

<b>I Motorische Funktion der unteren Extr.</b>	
Unfähig zu gehen	0 Punkte
Fähig auf ebenem Boden zu gehen, mit Gehstütze	1 Punkt
Treppensteigen mit Unterstützung	2 Punkte
Gehen möglich, jedoch unsicheres Gangbild	3 Punkte
Normal	4 Punkte
<b>II Sensibilität</b>	
<b>II a untere Extremität</b>	
Vollständiger Verlust von Berührungs- und Schmerzempfinden	0 Punkte
Geringes Sensibilitätsdefizit	1 Punkt
Normal	2 Punkte
<b>II b Rumpf</b>	
Vollständiger Verlust von Berührungs- oder Schmerzempfinden	0 Punkte
Geringes Sensibilitätsdefizit	1 Punkt
Normal	2 Punkte
<b>III Blasenfunktion</b>	
Komplette Retention und/oder Inkontinenz	0 Punkte
Unvollständige Blasenentleerung und/oder teilweise erhaltene Kontinenz	1 Punkt
Verzögerte Blasenentleerung und/oder Pollakisurie	2 Punkte
Normal	3 Punkte

**Tabelle 1:** JOA-Score [65]

### 3.7 Prä- und postoperative radiologische Untersuchung

Zur radiologischen Verlaufsuntersuchung wurden sowohl prä-operativ (neben der Schnittbildgebung zur Stellung der OP-Indikation und OP-Planung), als auch postoperativ nach 7 Tagen sowie nach 6 und 12 Monaten Röntgen-Nativ-Aufnahmen der Lendenwirbelsäule im anterior-posterioren und im lateralen Strahlengang (sowie in Funktion in den Follow-Up Untersuchungen) angefertigt (Tabelle 2). Die Aufnahmen wurden zur weiteren Bearbeitung digitalisiert.

**Zeitpunkte der Röntgen-Nativ-Bildgebung:**

1. innerhalb 72 Stunden präoperativ (ap., lat.)
2. intraoperativ; vor Eröffnung des ZWR (lat.)
3. intraoperativ; nach Ausräumung des ZWR (lat.)
4. intraoperativ; nach Cage Implantation, vor Distraction (lat.)
5. intraoperativ; nach Cage Implantation, nach Distraction (lat.)
6. intraoperativ; nach Fixateur-Verschluß (ap, lat.)
7. 7 Tage postoperativ (ap, lat.)
8. 6 und 12 Monate postoperativ, zur Routine-Verlaufsuntersuchung  
ap, lat., Funktion

**Tabelle 2:** Zeitpunkte der Röntgen-Bildgebung im lateralen Strahlengang  
(ZWR = Zwischenwirbelraum, ap= anterior-posteriore Röntgen-Projektion, lat.=  
lat.=laterale Röntgen-Projektion, Funktion=Funktionsaufnahmen in lateraler  
Projektion)

Intraoperativ wurden fluoroskopische Röntgenaufnahmen im seitlichen Strahlengang a) vor Eröffnung des Zwischenwirbelraumes, b) nach Ausräumung des Zwischenwirbelraumes, c) nach Cage-Implantation vor Distraction/Aufspreizung, d) nach vollständiger Distraction/Aufspreizung und e) nach dorsaler Kompression und Verschluß des Fixateur interne durchgeführt. Auch diese Aufnahmen wurden zur späteren Ausmessung digitalisiert und gespeichert.

Zur Verlaufsbeobachtung wurden a) die Zwischenwirbelraumhöhe (Kap. 3.7.1), b) der Winkel zwischen Grund- und Deckplatte des operierten Segmentes (Kap. 3.7.2) und die c) Fusionsrate im post-operativen Verlauf (Kap. 3.7.3) erfasst. Die Messungen wurden getrennt voneinander von den Prüfern der Studie (2 Personen, jeweils Fachärzte für Neurochirurgie) und einem unabhängigen Radiologen durchgeführt. Die Ergebnisse der Messungen wurden gemittelt und der daraus resultierende Mittelwert für die weiteren Berechnungen verwendet.

### 3.7.1 Bestimmung der Bandscheibenhöhe

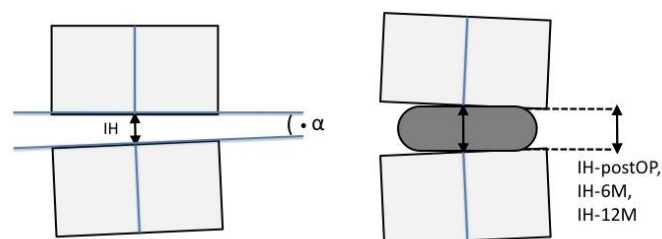
Zur Bestimmung der Bandscheibenhöhe wurde anhand von seitlichen Röntgen-Bildern die

Zwischenwirbelraumhöhe („intervertebral height“ = IH) zwischen zwei zu fusionierenden Wirbelkörpern gemessen. Die geometrische Genauigkeit der Messwerte (in mm) wurde durch die digitale Überlagerung und Größenanpassung der Röntgenaufnahmen auf die in allen Fällen vorliegenden präoperativen CT-Aufnahmen in sagittaler Rekonstruktion erreicht.

Diese Berechnung und Bildbearbeitung erfolgte mit dem computergestützten Bildbearbeitungsprogramm VISAGE (Visage Imaging GmbH, Berlin, D). Die IH wurde hierbei definiert als Distanz zwischen dem Mittelpunkt der Deckplatte des kranialen Wirbelkörpers und dem Mittelpunkt der Grundplatte des kaudalen Wirbelkörpers (Abb. 10). Der Vergleich der unmittelbar postoperativ gemessenen IH-postOP und der nachfolgenden Messungen nach 6 und 12 Monaten (IH-6M/12M) spiegeln das Ausmaß der Implantat-Sinterung wieder. [68, 69, 70]

### 3.7.2 Bestimmung des Winkels im Zwischenwirbelraum

Die Bestimmung des Winkels ( $\alpha$ ) im Zwischenwirbelraum wurde ebenfalls anhand von seitlichen Röntgen-Bildern, in der unter 3.7.1 beschriebenen Art und Weise ermittelt. Hierbei wurde sowohl an Grund- und Deckplatte der benachbarten Wirbelkörper eine „Tangente“ angelegt und der ZWR-Winkel a) präoperativ (Abb. 10), b) intraoperativ nach Distraction des Cages, c) nach dorsaler Kompression über das Schrauben-Stangen-System auf den postoperativen Kontroll-Röntgen-Aufnahmen sowie d) im 6 und 12 Monats Follow-Up gemessen.



**Abb. 10:** Bestimmung der Bandscheibenhöhe (IH) und des ZWR-Winkels ( $\alpha$ )

### 3.7.3 Beurteilung der Wirbelkörperfusion

Für eine erfolgreiche Wirbelkörperfusion im Bereich der Lendenwirbelsäule sollten in den Rö.-Aufnahmen sowohl im seitlichen und a.p.-Strahlengang als auch in Funktion folgende Kriterien (anlehnend an die FDA-Kriterien aus dem Jahr 2000) erfüllt sein:

1. der Nachweis einer kontinuierlichen Knochenbrücke zwischen den beiden Wirbeln
2. eine Translation (translational motion)  $<3$  mm und
3. eine Winkelverstellung (angular motion)  $<5^\circ$ .
4. keine sichtbaren Lysesäume um das Implantat

Zur quantifizierbaren Beurteilung der Wirbelkörperfusion wurde das folgende multimodale Bewertungssystem angewendet (Tabelle 3):

<b>1. Knochenbrücken zwischen Endplatten im a.p./seitlichen Röntgen</b>	
nicht vorhanden	0 Punkte
$<3$	1 Punkt
3-4	2 Punkte
5	3 Punkte
<b>2. Lyse-Saum um das Implantat</b>	
an beiden Endplatten	0 Punkte
an oberer oder unterer Endplatte	1 Punkt
kein Lyse-Saum	2 Punkte
<b>3. Segmentbeweglichkeit bei Flexion/Extension im Röntgen</b>	
Beweglichkeit	0 Punkte
(Translation (translational motion) = oder $>3$ mm oder Winkelverstellung (angular motion) = oder $>5^\circ$ )	
keine Beweglichkeit	2 Punkte
(Translation (translational motion) $<3$ mm oder Winkelverstellung (angular motion) $<5^\circ$ )	

**Tabelle 3:** Multimodales Bewertungssystem für die Bestimmung der Fusion

Anhand der erreichten Punktzahl (max. 7) wurde der Grad der Fusion wie folgt beurteilt (Tabelle 4):

<b>Grad/Gruppe</b>	<b>Punkteanzahl</b>	<b>Fusionsgrad</b>
I	0-2	nicht fusioniert
II	3-4	semirigide Ankylose
III	5	fragliche Fusion
IV	6-7	solide Fusion

**Tabelle 4:** Auswertetabelle für die Bestimmung des Fusionsgrade

Von einer „soliden“ Fusion wurde bei einem Punktwert von 6-7 von maximal 7 erreichbaren Punkten ausgegangen. Bei einem Punktwert von 5 war die Fusion „fraglich“, da entweder trotz sichtbarer Knochenbrückenbildung oder fehlenden Lysesäumen noch Beweglichkeit des Segmentes in den Funktionsaufnahmen nachzuweisen war oder trotz stabilen Verhältnissen unter Funktionsstress noch keine ausreichende Knochenbildung nachzuweisen war. Als „nicht fusioniert“ wurde ein Segment bei Erreichen von lediglich maximal 2 Punkten bewertet. Bei 3-4 Punkten lag eine „semirigide“ Ankylose oder Pseudarthrose vor, welche zumeist lediglich durch das dorsale Spondylodesematerial gehalten wurde.

### **3.8 Die Bestimmung der subjektiven Schmerzempfindung**

Die prä- und postoperative subjektive Schmerzempfindung wurde unter Verwendung folgender Schmerzskalen bestimmt:

#### **Visuelle Analog Skala (VAS)**

Die VAS ist eine linealähnliche Skala, die sich von 0 für keinen Schmerz bis 10 für unerträglichen Schmerz erstreckt. Die Unterteilung wurde hierbei in Millimetern vorgenommen, was eine äußerst genaue Bestimmung zuläßt. Die VAS wurde erstmals im Jahre 1921 von Hayes und Paterson angewendet, wobei eine zunehmende Aufmerksamkeit erst durch die Veröffentlichungen von Aitken im Jahre 1969 resultierte. Die VAS ist eine weltweit etablierte Methode zur Bestimmung der Schmerzintensität. [17] Zur differenzierteren Auswertung und Bewertung des klinischen Outcomes erfolgte die Unterscheidung zwischen



Bein- und Rückenschmerz (siehe Untersuchungsbogen im Anhang).

### **Denis Pain Scale**

Diese Schmerzskala wurde 1984 von Denis eingeführt. [64] Sie erstreckt sich von P 1 bis 5 (Tabelle 5):

<p><b>P 1</b> kein Schmerz</p> <p><b>P 2</b> gelegentlicher, minimaler Schmerz ohne Schmerzmedikation</p> <p><b>P 3</b> mäßiger Schmerz mit gelegentlicher Schmerzmedikation aber ohne Arbeitsunfähigkeit oder Einschränkung der Aktivität</p> <p><b>P 4</b> mäßiger bis heftiger Schmerz mit häufiger Schmerzmedikation und gelegentlicher Arbeitsunfähigkeit oder erheblicher Einschränkung der Aktivität</p> <p><b>P 5</b> konstanter oder heftiger Schmerz mit Arbeitsunfähigkeit und chronischer Schmerzmedikation</p>
---

**Tabelle 5:** Denis Pain Scale

Die Denis Graduierung wurde durch den behandelnden Stationsarzt während des stationären Aufenthaltes sowie den ärztlichen Untersuchern bei den routinemäßigen Verlaufskontrollen bestimmt.

### **3.9 Statistik**

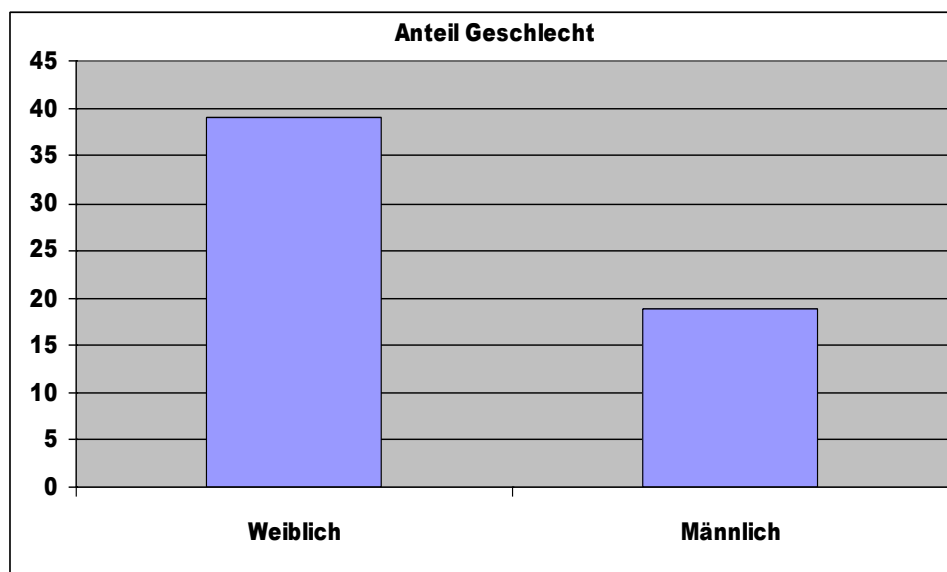
Alle Patientendaten und Messergebnisse wurden in verschlüsselter Form von den Untersuchungsprotokollen in ein Tabellenkalkulationsprogramm (Microsoft Excel 07, Microsoft Corp., USA) übertragen und ausgewertet. Für die epidemiologischen Daten wurde der Mittelwert sowie der Median bestimmt. Der Grad des Zusammenhangs zwischen metrischen Daten wurde durch den Pearson-Bravais'schen Maßkorrelationskoeffizienten bestimmt. Die Korrelation zwischen bestimmten Versuchsergebnissen wurde lediglich in der nachvollziehbar aufgetretenen Anzahl deskriptiv beschrieben.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Patienten

39 der 58 Patienten (67,25%) waren weiblichen Geschlechts und 19 (32,75 %) männlichen Geschlechts (Abb. 11). Das Alter der Patienten lag im Mittel bei 61,5 Jahren. Das Durchschnittsalter der weiblichen Patienten lag bei 63,5 Jahren, das Durchschnittsalter der männlichen Patienten bei 60,8 Jahren. Der älteste Patient war zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung 81 Jahre, der jüngste 29 Jahre alt.

Der mittlere BMI-Index lag bei 27,2 kg/m<sup>2</sup>. Die Frauen zeigten hierbei einen mittleren BMI-Index von 28,3 kg/m<sup>2</sup>, die männlichen Patienten einen mittleren BMI-Index von 26,6 kg/m<sup>2</sup>.

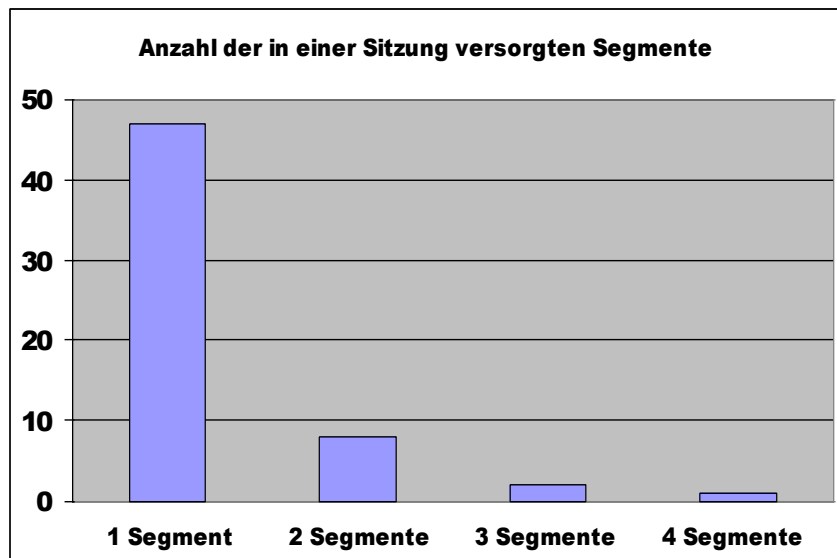


**Abb. 11:** Anzahl des jeweiligen Geschlechts bezüglich Gesamtpatientenzahl

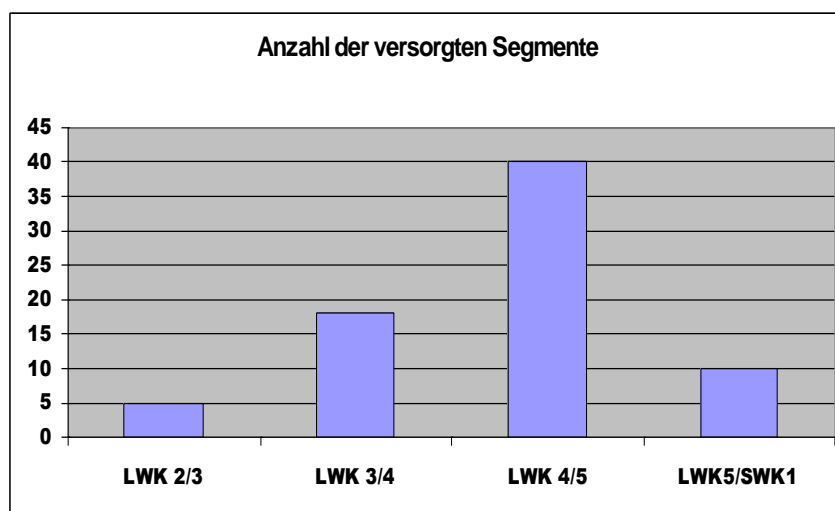
### 4.2 Operationsspezifische Ergebnisse

Bei den 58 Patienten erfolgte in 47 Fällen ein monosegmentaler und in 11 Fällen ein mehrsegmentaler Eingriff. Davon sind 8 Patienten in 2 Segmenten, 2 Patienten in 3 und 1 Patient in 4 Segmenten fusioniert worden. Bei den monosegmentalen Eingriffen wurden 29 Patienten im Segment L 4/5 fusioniert. Jeweils 8 Patienten wurden in den Segmenten L 3/4

und L 5/S 1 und ein 1 Patient im Segment L 2/3 fusioniert. Bei den bisegmentalen Eingriffen erfolgte die Fusion in 7 Fällen über die Segmente L 3 bis 5 und in einem Fall über die Segmente L 4 bis S 1. Bei den trisegmentalen Eingriffen erfolgte sie in beiden Fällen von L 2 bis 5 und bei dem Eingriff über 4 Segmente von L 2 bis S 1 (Abb. 12).



**Abb. 12:** Anzahl der operierten Segmente



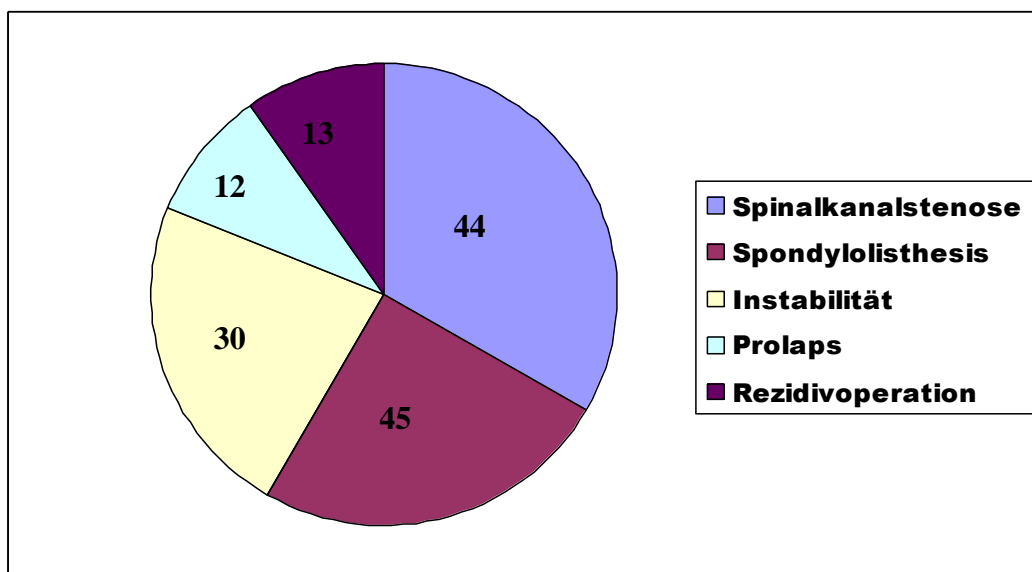
**Abb. 13:** Höhenlokalisation und Anzahl der versorgten Segmente

Insgesamt wurden 5 Patienten in Höhe LWK 2/3, 18 Patienten LWK 3/4, 40 Patienten in

Höhe LWK 4/5 und 10 Patienten in Höhe LWK 5/SWK 1 versorgt. Es wurden insgesamt 73 Cage-Paare implantiert (Abb. 13).

### 4.3 Operationsindikation

Die Patienten zeigten präoperativ eine Kombination von degenerativen Erkrankungen (Abb.14). Bei 45 Patienten bestand präoperativ eine degenerative Spondylolisthesis. Zwölf Patienten mit Spondylolisthesis zeigten zudem einen sequestrierten Bandscheibenvorfall mit Radikulopathie als klinisches Leitsymptom; bei 44 Patienten zeigte sich eine osteoligamentäre Spinalkanalstenose mit klinisches Zeichen einer Claudicatio spinalis. Eine segmentale Instabilität war bei 30 Patienten in den präoperativen Röntgen-Funktionsaufnahmen nachweisbar. Bei 13 Patienten stellte die PLIF eine Rezidivoperation dar.



**Abb. 14:** Anteil der zur Operation führenden Erkrankungen

**N= 14; Spondylolisthesis**

**N= 3; Spondylolisthesis + Rezidiveingriff**

**N= 4; Spondylolisthesis + segmentale Instabilität**

**N= 2; Spondylolisthesis + segmentale Instabilität + Rezidiveingriff**

**N= 7; Spondylolisthesis + osteoligamentäre Spinalkanalstenose**

**N = 3; Spondylolisthesis + osteoligamentäre Spinalkanalstenose + segm. Instabilität**

**N= 4; Spondylolisthesis + sequestrierter Bandscheibenvorfall**

**N= 4; Spondylolisthesis + seq. Bandscheibenvorfall und segm. Instabilität**  
**N= 4; Spondylolisthesis + seq. Bandscheibenvorfall + segm. Instabilität + Rezidiveingriff**  
**N= 9; Osteoligamentäre Spinalkanalstenose + segmentale Instabilität**  
**N= 4; Osteoligamentäre Spinalkanalstenose + segm. Instabilität + Rezidiveingriff**  
**ges. N= 58**

#### **4.4 Intra- und postoperative Komplikationen**

In 4 Fällen trat intraoperativ ein Duraleck auf, welches in allen Fällen komplikationslos per Naht, bzw. per Muskelpatchplastik verschlossen werden konnte (d.h. Bei 4/58=6,9% der Fälle bzw. 4/73=5,5% der implantierten Cages). In allen 4 Fällen handelte es sich um Rezidiveingriffe mit entsprechender periduraler Vernarbung. Hämodynamische, pulmonale oder anderweitige kardiale Komplikationen waren nicht zu verzeichnen. Mechanische Probleme beim Platzieren und Distrahieren der Cages kamen nicht vor. Revisionsbedürftige Implantatfehlagen oder spätere Implantatversagen mit sekundärer Einengung des Spinalkanals oder Neuroforamina zeigten sich bis zum 12 Monats-Follow up bei keinem der 58 Fälle. In einem Fall kam es zu einer oberflächlichen Wundheilungsstörungen, welche mit lokaler Wundrevision und Antibiotikagabe problemlos ausheilte, die Implantate mußten nicht entfernt werden.

N= 4/58 (6,9 %) intraoperatives Duraleck

N= 1 (1,7 %) Wundheilungsstörungen

N= 0 hämodynamisch wirksame peridurale Blutung (transfusionspflichtige Blutung; Hb-Abfall um mehr als 4 mg/dl; Blutverlust > 1000ml)

N= 0 revisionsbedürftige Implantatfehlage in den post-OP Rö-Kontrollen

N= 0 revisionsbedürftige Implantatdislokation bis zum 12 Monats-F.U.

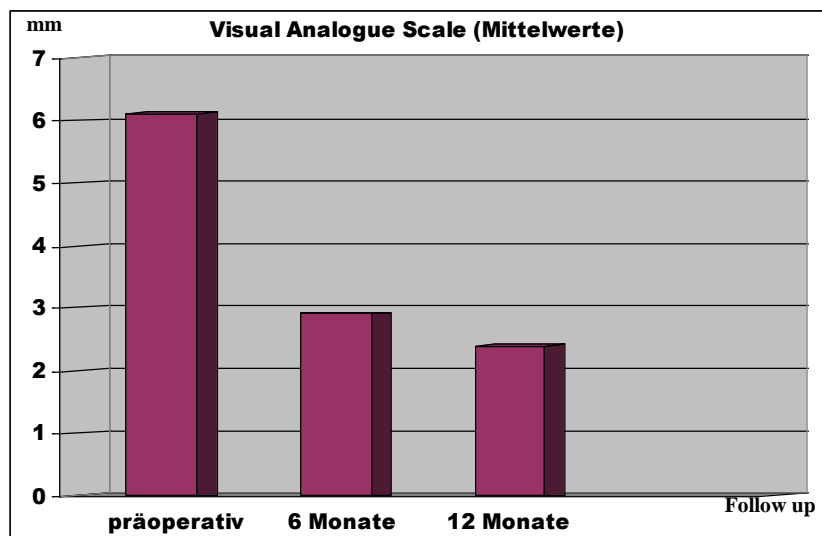
N= 0 mechanische Probleme (z.B. beim Distrahieren des Cages)

N= 0 sonstige intra-, peri- oder postoperative Komplikationen

#### **4.5 Postoperative Patientenzufriedenheit bezüglich des Schmerzes**

Die Auswertung des VAS (1-10) für den Rückenschmerz ergab präoperativ einen

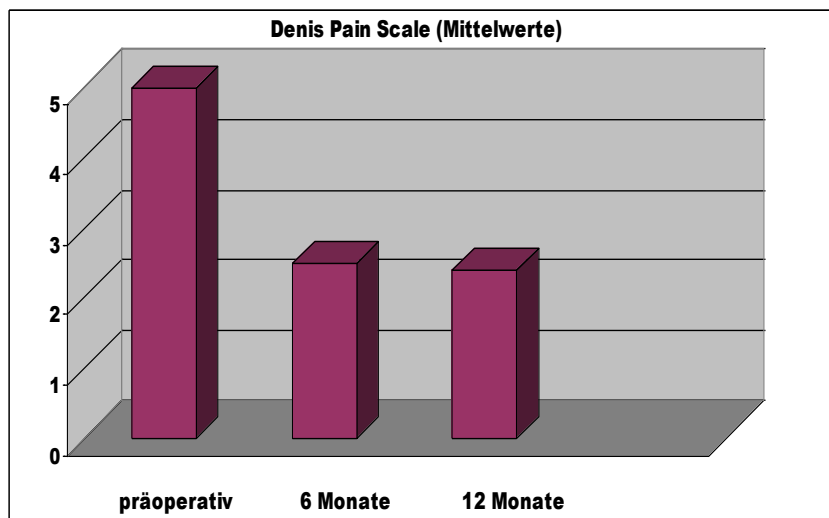
durchschnittlichen Wert von 6,12 Punkten auf der Schmerzskala. In den Follow-Ups zeigte sich nach 6 Monaten ein Mittelwert von 2,9 Punkten und nach 12 Monaten ein Mittelwert von 2,4 Punkten auf der Schmerzskala. Der niedrigste Wert beim 12 Monats-Follow Up lag bei 1, der höchste Wert bei 9 Punkten.



**Abb. 15:** Subjektive Schmerzbeurteilung VAS (Rückenschmerz) präop, nach 6 und 12 Monaten

Die Auswertung des VAS (0-10) für den Beinschmerz ergab präoperativ einen durchschnittlichen Wert von 5,49 Punkten auf der Schmerzskala. In den Follow-Ups zeigte sich nach 6 Monaten ein Mittelwert von 1,91 Punkten und nach 12 Monaten ein Mittelwert von 1,36 Punkten auf der Schmerzskala. Der niedrigste Wert beim 12-Monats Follow-Up lag bei 0, der höchste Wert bei 7 Punkten.

Die Auswertung der Denis Pain Scale (1-5) ergab präoperativ einen durchschnittlichen Wert von 4,6 Punkten. In den Follow-Ups zeigte sich nach 6 Monaten ein Mittelwert von 2,6 Punkten und nach 12 Monaten ein Mittelwert von 2,5 Punkten. Der niedrigste Wert lag bei 1 Punkt, der höchste bei 4 Punkten.

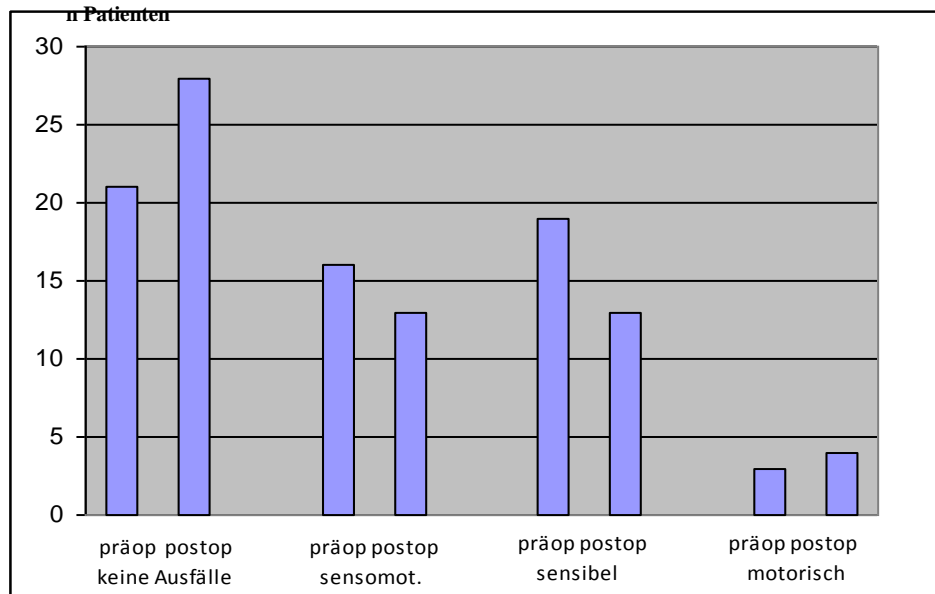


**Abb. 16:** Subjektive Schmerzbeurteilung mittels Denis Schmerzskala präop., nach 6 und 12 Monaten

#### 4.6 Vergleich von neurologischen und klinischen Parametern

Bei 37 der insgesamt 58 Patienten (63,8%) wurden präoperativ zusätzlich zur Schmerzbeschwerdesymptomatik auch neurologische Defizite festgestellt. 16 Patienten (35,1 %) zeigten kombinierte sensomotorische Defizite. In 19 Fällen (51,3%) zeigten sich rein sensible (dermatomspezifische Hyp- und Dysästhesien) und in 3 Fällen (8,1%) rein motorische Defizite (muskelgruppenspezifische radikuläre Paresen).

Postoperativ (zum Entlassungszeitpunkt – im Mittel 7,2 Tage nach dem Operationstermin) konnte noch bei 30 Patienten (51,7%) ein neurologisches Defizit festgestellt werden. 13 Patienten (43,3%) zeigten sensomotorische Defizite, 13 Patienten (43,3%) rein sensible und 4 (13,3%) rein motorische Defizite, wobei ein Patient postoperativ ein neu aufgetretenes motorisches Defizit zeigte.



**Abb. 17:** Neurologische Ausfallerscheinungen prä- und postoperativ

Von den insgesamt 30 Patienten mit postoperativem neurologischen Defizit zeigten jedoch 16 (53,3%) eine Regredienz ihrer neurologischen Defizite im Vergleich zum präoperativen Befund. Somit kam es insgesamt bei 62,2% der Patienten zu einer Regredienz oder kompletten Remission der neurologischen Defizite.

35 Patienten gaben präoperativ eine eingeschränkte Gehstrecke im Sinne einer Claudicatio spinalis an, wobei lediglich in einem Fall postoperativ eine unveränderte Gehstreckeneinschränkung verblieb – in den anderen 34 Fällen kam es sowohl in der subjektiven Einschätzung durch den Patienten, als auch in der objektiven Gehstreckemessung zu einer Besserung (mindestens plus 25% im Vergleich zur präoperativ bestandenen beschwerdefreien Gehstrecke).

Der klinisch funktionelle Verlauf wurde mit der JOA-Scale quantifiziert. Hier zeigte sich präoperativ ein Mittelwert von 13,5 Punkten, 14,1 Punkte zum Entlassungszeitpunkt, 15,3 Punkte nach 6 Monaten und 15,8 Punkten nach 12 Monaten.



#### **4.7 Vergleich radiologischer Parameter**

Rö-Aufnahmen in 2 Ebenen (anterior-posteriorer und lateraler Strahlengang) wurden für die prä- und postoperative Diagnostik in allen 58 Fällen durchgeführt. Zur Beurteilung des Fusionsgrades wurden zusätzlich Funktionsaufnahmen in Ante- und Retroflexion durchgeführt. Die präoperativen Aufnahmen wurden im Mittel 3,6 Tage vor dem Operationstermin angefertigt. Die postoperativen Kontrollaufnahmen wurden im Mittel 6,4 Tage post-operationem erstellt, die 6-Monats (182 Tage) Kontrollen im Mittel nach 174 Tagen (Spanne: 160-197 Tage) und die 12-Monats (365 Tage) Kontrollen im Mittel nach 374 Tagen (Spanne: 354-401 Tage).

#### **Höhe des Zwischenwirbelraumes:**

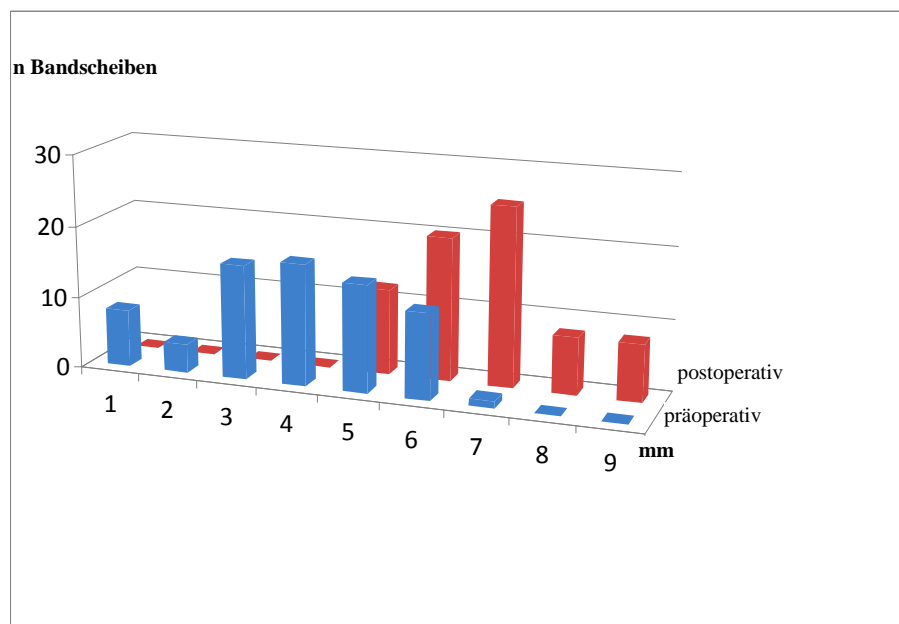
Gemessen wurde die Höhe des Zwischenwirbelraumes sowohl prä- als auch postoperativ. Es zeigte sich präoperativ eine durchschnittliche Höhe von 6,42 mm und postoperativ eine durchschnittliche Höhe von 9,72 mm (Abb. 16). Somit ergibt sich eine initiale Höhenzunahme von 3,3 mm durch die Implantation der Cages.

In den im Rahmen der Nachuntersuchung durchgeführten Rö-Aufnahmen der Lendenwirbelsäule ließen sich sowohl nach 6 als auch nach 12 Monaten insgesamt 4 Cage-Sinterungen um mehr als 2 mm in Grund- und Deckplatte der angrenzenden Wirbelkörper entsprechender Verringerung der Bandscheibenhöhe (zwischen 2,3 und 4,9 mm) nachweisen. Bei 3 der 4 Patienten zeigte sich außerdem ein Lysesaum zirkulär um die Implantate. In allen 4 Fällen handelte es sich um monosegmentale PLIF. In 3 Fällen handelte es sich um eine Fusion im Segment L 4/5 und in 1 Fall im Segment L 5/S 1. Alle 4 Patienten waren weiblichen Geschlechts. Bei 3 Patienten lag der BMI-Index über 30 kg/m<sup>2</sup>. Eine operative Revision wurde in keinem der Fälle erforderlich. In den 12 Monats Follow-Ups kamen keine weiteren Cage Sinterungen, über die bereits nach 6 Monaten gesehenen hinaus mehr vor. Eine Migration der unebenen Cage-Oberfläche in die Grund- und Deckplatte wurde als Zeichen des Einwachsens/“Setzens“ und nicht als Sinterung gewertet.

Eine Korrelationsanalyse zwischen dem Auftreten einer Sinterung und dem klinischen Verlauf zeigte jedoch, dass diese Patienten weder bezüglich des klinisch-neurologischen noch

funktionellen Resultates schlechter abschnitten als die Patienten ohne Cage-Sinterung.

Die durchschnittliche Höhe der Zwischenwirbelräume betrug nach 6 Monaten IH-6M= 7,46 mm sowie IH-12M= 7,28 mm nach 12 Monaten.

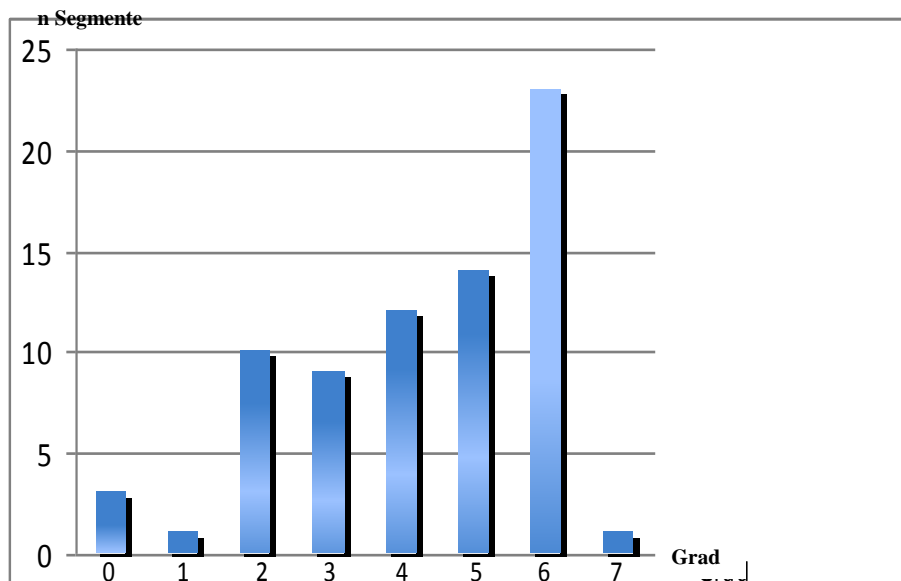


**Abb. 18:** Höhe des Bandscheibenraumes präoperativ und postoperativ

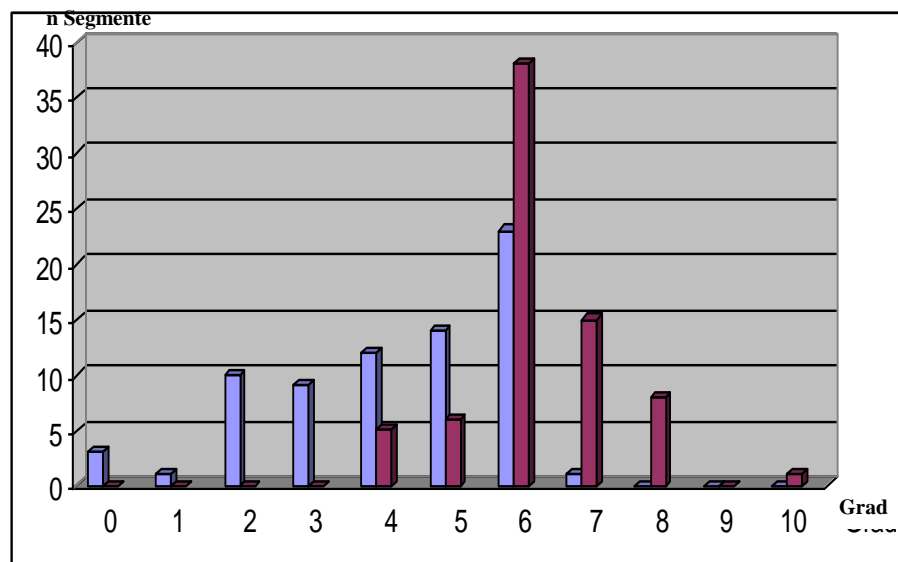
#### **Einstellung des ZWR-Winkels intraoperativ:**

Gemessen wurde intraoperativ a) der ZWR-Winkel unmittelbar nach Cage-Implantation und b) nach dorsaler Kompression über die Pedikelschrauben. Hierbei zeigte sich nach Cage-Implantation ein durchschnittlicher ZWR-Winkel von  $4,26^\circ$  und nach dorsaler Kompression über die Pedikelschrauben von durchschnittlich  $6,13^\circ$ .

Nur bei 9 Patienten zeigte sich trotz dorsaler Kompression keine Zunahme des Lordosewinkels. Der intraoperativ eingestellte ZWR-Winkel zeigte in den Nachuntersuchungen mittleren Lordoseverlust von  $0,15^\circ$  nach 6 Monaten und  $0,17^\circ$  nach 12 Monaten.



**Abb. 19:** Lordosewinkel nach Cage-Implantation



**Abb. 20:** Lordosewinkel nach Cage-Implantation und dorsaler Kompression

**Fusionsrate:**

Die Fusionsrate wurde anhand von Nativ- und Funktions-Röntgenaufnahmen im 6- und 12-Monate-Follow-up mittels des unter 3.7.3 beschriebenen multimodalen Bewertungssystems beurteilt.

43 (58,9%) der 73 Segmente zeigten nach den oben beschriebenen Kriterien im 6 Monate-Follow-Up eine solide Fusion. Im 12 Monate-Follow-Up waren 57 Segmente (78,1%) fusioniert. (Tabelle 6)

In 21 (70 %) der 30 nicht fusionierten Segmente im 6 Monate-Follow-Up handelte es sich um eine monosegmentale Versorgung. In 4 Fällen (13,8%) um eine bisegmentale Versorgung, wobei in 3 Fällen nur ein Segment und in 1 Fall beide Segmente nicht solide fusioniert erschienen.

In beiden trisegmentalen PLIF's zeigten sich insgesamt 3 (10,34%) nicht solide fusionierte Segmente, wobei in einem Fall ein Segment und in dem anderen Fall 2 Segmente nur fraglich fusioniert waren.

In der einzigen Versorgung über 4 Segmenten zeigten sich im 6 Monate-Follow-Up in 2 Segmenten (d.h., 50% der Segmente dieses Falles und 6,9% in Bezug auf alle operierten Fälle dieser Studie) keine solide Fusion.

Subsumiert man die Gruppen III und IV zur „Gruppe der funktionell stabilen Spondylodesen“, so zeigten sich bereits in den 6-Monats Follow-Up Untersuchungen 82,2% der operierten Segmente nach radiologischen und funktionellen Kriterien stabil. Nach 12 Monaten waren dies 91,8% (Tabelle 6). Das heisst, daß nach einer postoperativen Ausheilungszeit von einem Jahr lediglich 8,2% der operierten Segmente als tatsächlich nicht funktionell stabil und fusioniert anzusehen waren.

	6-Monats Follow-Up	12-Monats Follow-Up
Gr. I – nicht fusioniert	4 (5,5%)	2 (2,7%)
Gr. II – semirigide Ankylose	9 (12,3%)	4 (5,5%)
Gr. III – fragliche Fusion	17 (23,3%)	10 (13,7%)
Gr. IV – solide Fusion	43 (58,9%)	57 (78,1%)
	n = 73 Segmente (100%)	n = 73 Segmente (100%)

**Tabelle 6:** Fusionsraten in den 6- und 12-Monats Nachuntersuchungen

## **5. Diskussion**

In den letzten Jahrzehnten wurden verschiedene Operationsverfahren zur Therapie der degenerativen segmentalen Instabilität im LWS-Bereich mit unterschiedlichen Techniken und Zugängen beschrieben. [18] Dabei hat sich gezeigt, dass interkorporelle Fusionen eine effektive Behandlung besonders bezüglich Rückenschmerzes darstellen und eine frühe Mobilisierung des Patienten erlauben. [19, 20, 21, 22, 23] Interkorporelle Fusionen haben zum Ziel sowohl die Kompression von nervalen Strukturen als auch bestehende Instabilitäten durch Distraction der Neuroforamina und des Zwischenwirbelraumes und Rekonstruktion des Alignements zu beheben. [24] Die Stabilisierung über ein interkorporelles Implantat im ausgeräumten Zwischenwirbelraum in Verbindung mit einem Schrauben-Stab-System garantiert hierbei eine hohe Fusionsrate. Aufgrund der Zugangstechniken und der neuroanatomischen Gegebenheiten sind die Risiken allerdings nicht unerheblich.

Die P-LIF (posteriore lumbale interkorporelle Fusion) ist hierbei eine weit verbreitete und die heute am häufigsten angewendete Methode, die von Cloward entwickelt und erstmalig beschrieben wurde. [10, 11, 26] Anwendung findet diese Methode bei degenerativen Erkrankungen der Lendenwirbelsäule, Spondylolisthesen, Segmentinstabilitäten und Postdiskotomiesyndromen. Der Zugang erfolgt hierbei ausschließlich von dorsal. Um das Bandscheibenfach zwecks Einbringens des Interponats auszuräumen, bedarf es der Entfernung größerer Anteile der Wirbelbögen und der Mobilisierung von Duralschlauch und Nervenwurzeln, was eine dorsale Schrauben-Stab-Osteosynthese zusätzlich zum Zwischenwirbelraum-Implantat bedingt. Als Nachteile der PLIF-Technik wurden vor allem Vernarbungen im Spinalkanal und Anschlußinstabilitäten in den Nachbarsegmenten berichtet. [10, 26]

Harms und Jeszenszky führten 1998 erstmals eine solche „lumbale interkorporelle Fusion (LIF)“ über einen unilateralen transforaminalen Zugang (T-LIF) ein. Der operative Zugang erfolgt also über eine einseitige Eröffnung des Foramen intervertebrale von dorsolateral. [27] Sowohl Duralschlauch und Nervenwurzeln, als auch angrenzende bindegewebige Strukturen wie das Ligamentum flavum und interspinosum können auf diesem Zugangsweg

mehr, als bei der PLIF-Technik geschont werden. Dies bedingt ein geringeres Risiko für eine Anschlußinstabilität. Durch den uniportalen Zugang kann sich jedoch die lediglich einseitige Dekompression des Spinalkanals, als auch eine geringere Auflagefläche des Cages und nachteilig auswirken.

Eine Alternative zu den dorsalen Zugangstechniken stellt die anteriore lumbale interkorporelle Fusion (A-LIF) dar. [32] Neben den gängigen Indikationen zur segmentalen Stabilisierung wird die ALIF auch nach erfolglosen dorsalen Operationen an der LWS als Revisionseingriff durchgeführt. Der operative Zugang erfolgt bei der ALIF von ventral mit transperitonealem oder retroperitonealem Zugang zur Wirbelsäule. Dies ermöglicht einen direkteren Zugang zum Bandscheibenfach sowie dessen vollständigere Ausräumung. Das Risiko einer Verletzung der nervalen Strukturen kann somit (besonders bei Revisionseingriffen) gesenkt werden. Zu den Nachteilen dieser Methode zählen die Gefahr der Verletzung der großen Blutgefäße [33] oder des Ureters [34]. Eine weitere wesentliche Komplikation ist die retrograde Ejakulation durch Verletzung des Plexus hypogastricus superior. [35, 36] Seltene Komplikationen sind postoperative arterielle Gefäßverschlüsse [37], Bildungen von gastroparaspinalen Fisteln [38] oder retroperitonealen Fibrosen und Bauchwandhernien. [39]

In der hier vorgestellten Studie wurde die am weitesten verbreitete Fusionstechnik, die PLIF eingesetzt.

### **Alters- und Geschlechtsverteilung**

Degenerative Erkrankungen der Lendenwirbelsäule sind eher Krankheitserscheinungen mit Betonung der zweiten Lebenshälfte, so dass entsprechend auch in unserem Patientenkollektiv 49 der 58 der Patienten (85%) älter als 50 Jahre alt sind. Der Altersdurchschnitt in der vorliegenden Untersuchung beträgt 61,5 Jahre. Diese Alterverteilung spiegelt sich auch in vielen Studien wider. Das weibliche Geschlecht überwiegt mit einem Verhältnis von 2:1.

In einer vergleichenden Studie von Schwab et al. [40] 1995, in der die Autoren 215 Patienten einer PLIF mit und ohne Instrumentation unterzogen haben, beträgt das Durchschnittsalter

der Patienten 53,2 Jahre bei der Gruppe, die ausschließlich durch eine PLIF versorgt wurde und 54,4 Jahre bei den Patienten, welche einer PLIF mit Instrumentation unterzogen wurden. Das Verhältnis Frauen zu Männern beträgt 1,57:1 in der einen und 1,78:1 in der anderen Gruppe.

Der Altersdurchschnitt in der aufgeführten Studie unterscheidet sich im Vergleich zu dem unserer Patientengruppe mit 61,5 Jahren um ca. 7 Jahre. Es bleibt zu spekulieren, dass es epidemiologische Unterschiede sowohl im Einzugsgebiet als auch in der Alterstruktur des Patientenklientels zwischen den Kliniken gibt. Die Alterstruktur in beiden Studien bestätigt jedoch die Aussage, dass es sich um ein Krankheitsbild der zweiten Lebenshälfte handelt. Das Geschlechterverhältnis ist mit Überbetonung des weiblichen Geschlechtes vergleichbar ausgeprägt und somit in unserem Patientenkollektiv repräsentativ.

### **Indikationsstellung zur PLIF**

Hierzu gehörte in unserer Studie vor allem die Spondylolisthesis und die segmentale Instabilität mit Entwicklung neurologischer Defizite und therapieresistenter Schmerzen unter erfolgloser konservativer Therapie. Auffällig ist jedoch die Uneinheitlichkeit der Indikationsstellung in der Literatur. [24, 41, 42]

Einige Autoren sehen zudem die symptomatische degenerative Bandscheibenerkrankung, Prolapsrezidive und das Postdiskotomiesyndrom als Indikation an. [22, 43] Als weitere Indikation zur PLIF werden die degenerative Spinalkanalstenose, die Wirbelsäulendeformität und das Facettengelenkssyndrom angegeben. [44,45] Hanley et al. konnten in einer 1995 veröffentlichten Studie über verschiedene Indikationen für die lumbale Fusion zeigen, dass die Erfolgsraten bei bestehender segmentaler Instabilität und Spondylolisthesis deutlich höher liegen, als bei degenerativen Bandscheibenerkrankungen. [42] Der „Erfolg“ einer Operation wurde hierbei sowohl anhand klinischer, als auch radiologischer Ergebnisse festgemacht, wobei sich die radiologischen Resultate auf Fusionsgrad, Rekonstruktion des Zwischenwirbelraumes und Implantatfestigkeit beziehen.



### **Bildgebung**

Die bildgebende Diagnostik hat neben der klinischen Untersuchung und der Anamneseerhebung einen hohen Stellenwert, da nur über eine suffiziente Bildgebung eine Aussage über die prä- und postoperative Stellung des zu operierenden Segmentes und dessen Auswirkung auf die Balance der restlichen Wirbelsäule getroffen werden kann. [71]

Hierzu gehören u.a. konventionelle Röntgen-Aufnahmen in 2 Ebenen (im anterior-posterioren sowie im lateralen Strahlengang). Diese Aufnahmen wurden zu allen Kontroll-Untersuchungszeitpunkten unseres Studiendesigns durchgeführt, um hieran Zwischenwirbelraumhöhe und Winkelung im ZWR zu bestimmen. Weitere bildgebende Verfahren sind die Magnetresonanz- und Computertomographie sowie in Einzelfällen auch die Myelographie. Bei allen Fällen einer degenerativen Spondylolisthesis wurde in unserer Studie eine Magnetresonanztomographie zwecks Beurteilung der Spinalkanalweite und Ausmaß der Bandscheibendegeneration durchgeführt. Die präoperative Schnittbildgebung mittels Computertomographie wurde sowohl für die Operationsplanung (Höhenbestimmung und Winkelmessung des ZWR, Bestimmung des Durchmessers der Pedikel, Implantatplanung, etc.), als auch für die digitale Kalibrierung der Röntgenbilder eingesetzt. Röntgenfunktionsaufnahmen wurden im Rahmen der Fusionsgradbestimmung erforderlich, da eine bildgebende Aussage zur Translation und/oder Aufwinkelung im operierten Segment Bestandteil der Fusionskriterien u.a. der FDA sind und daher in das in dieser Studie verwandte Bewertungssystem übernommen wurden.

Im Vergleich zum routinemäßigen Bildgebungs-Regime unserer Klinik außerhalb dieser Studie wurden lediglich die Funktionsaufnahmen zusätzlich angefertigt. Die Patienten wurden im Rahmen der Aufklärung und Einwilligung in die Studienteilnahme hierüber informiert und willigten diesem schriftlich zu.

### **Komplikationen**

Bedeutungsvoll bei der Beurteilung neuer Operationsverfahren bzw. Anwendung neuer Implantate sind die intra- und postoperativen Komplikationen. Da jede Operation Risiken mit sich bringt, muss das Verhältnis Risiko/Nutzen abgeschätzt werden. Sind es bei den dorsalen Zugängen Verletzungen des Duraschlauches, ergibt sich bei den ventralen

Zugängen die Gefahr von Verletzungen der Strukturen im intra- und retroperitonealen Raum.

Auch Implantat-bedingte Komplikationen wie Implantatlockerungen, -brüche und -dislokationen, Pseudarthrosen und Anschlußinstabilitäten sind als mögliche Komplikationen anzusehen.

Bei einer von Okuyama et al. durchgeführten Studie über Komplikationen nach PLIF bei Anwendung von Pedikelschrauben kamen sie zu folgenden Ergebnissen: Bei 6 von 148 Patienten kam es zu einer Duraverletzung, bei sechs weiteren zeigte sich eine Pedikelschraubenfehllage. Bei einem Patienten zeigte sich eine Schraubenlockerung und ein Schraubenbruch. Nervenverletzungen zeigten sich in keinem Fall. In 2 Fällen kam es zu tiefen Infektionen. [46] Bohnen et al. geben bei gleichem Verfahren ebenfalls postoperative Komplikationen in Form von Schraubenlockerungen und -brüchen sowie eine Fehllage an. [47]

Fritzell et al. führten einen Vergleich zwischen posterolateraler Fusion, posterolateraler Fusion mit Instrumentation und 360°-Fusion durch. Registriert wurden alle intra- und postoperativen Komplikationen. Bezüglich der Komplikationsraten zeigten sich folgende Ergebnisse: 12% bei alleiniger posterolateraler Fusion, 22% bei posterolateraler Fusion mit Instrumentation und 40% bei 360°-Fusion. In 5 Fällen kam es zu einer tiefen Infektion, die zu einer Revisionsoperation führten. In 10 Fällen kam es zu neu aufgetretenen radikulären Schmerzen, wobei in 3 Fällen eine Revisionsoperation erforderlich war. [48, 49]

Jutte und Castelein untersuchten bei 105 Patienten die Komplikationsrate bei Anwendung von Pedikelschrauben in lumbalen und lumbosakralen Fusionen bei 105 Patienten unabhängig von der Operationsmethode, wobei es sich in der überwiegenden Mehrzahl um dorsale Fusionen handelte. Bei 35 Patienten zeigten sich eine Schraubenfehllage und eine Neurapraxie. Schraubenbrüche zeigten sich in 28 Fällen, in 5 Fällen zeigten sich Lockerungen und Brüche des Verbindungsstabes und bei ebenfalls 5 Patienten tiefe Infektionen. [50]

Bei dem Vergleich mit der Komplikationsrate in unserer Studie zeigt sich ein Wert von

8.6%. Hierbei handelt es sich um 4 Duralecks, die intraoperativ versorgt werden konnten sowie eine Schraubenlockerung, bei der bis dato keine Revision notwendig war. In einem weiteren Fall kam es postoperativ zu einer neu aufgetretenen Parese ohne bildgebendes Korrelat.

Gründe für die teilweise weite Spanne an Komplikationsraten in den unterschiedlichen Studien können u.a. am unterschiedlichen Ausmaß der zur OP führenden Degeneration, der Rate der Revisionseingriffe im Patientenkollektiv, der Erfahrung des Operateurs und die unterschiedliche Ausstattung der operierenden Kliniken (Operationsmikroskop; intraoperative C-Bogen Fluororskopie und/oder Navigation) liegen.

### **Klinische Symptomatik**

Auch der Faktor Schmerzreduzierung spielt bei der Beurteilung eines neuen Operationsverfahrens, wie bei der Anwendung eines neuen Cages, eine wesentliche Rolle. In der vorliegenden Studie konnten in den Follow-Ups eine Reduzierung der Rücken- und Beinschmerzen bei insgesamt 96,5% der Patienten feststellen. Dies spiegelt sich sowohl in den Punktwerten der subjektiven VAS-Einschätzung als auch in der objektiveren Denis Pain Scale wider.

Leufven und Nordwall stellten bei einer Nachuntersuchung der PLIF eine ebenfalls signifikante Reduzierung von Rücken- und Beinschmerz nach zwei Jahren fest. [51] Freeman und Mitarbeiter untersuchten 60 Patienten nach PLIF. Der Nachuntersuchungszeitraum betrug fünf Jahre. 83% der Patienten berichteten über eine Verbesserung von Bein- und Rückenschmerz von mehr als neunzig Prozent. [52]

Krismer et al. verglichen in einer retrospektiven Studie 76 Patienten, die mit einer PLIF mit Instrumentation versorgt wurden mit 46 Patienten, die einer ventrodorsalen Fusion unterzogen wurden. Hierbei wurde eine größere Schmerzreduzierung bei den ventrodorsalen Fusionen bei höherer Komplikationsrate festgestellt. Andererseits konnte weder eine Funktionsbesserung noch eine Verminderung der Arbeitsunfähigkeit verzeichnet werden, so dass keine Erklärung für die bessere Schmerzreduzierung gefunden wurde. [53]

### **Radiologisches Outcome - Fusion**

Unabhängig von den eingesetzten Implantaten wird in der Literatur von Fusionsraten zwischen 50 und 100% berichtet. [54, 55, 56, 57] Grund hierfür sind die verschiedenen Definitionen einerseits und Beurteilungskriterien für eine Fusion andererseits. Zur Beurteilung wurden zumeist konventionelle Röntgenaufnahmen verwendet.

Resnick et al. versuchten 2005 Richtlinien für die radiologische Beurteilung einer lumbalen Wirbelkörperfusion aufzustellen. Resnick et al empfehlen, die Fusion zweier Wirbelkörper nicht alleine mit statischen Röntgen-LWS-Aufnahmen zu beurteilen, sondern Funktionsaufnahmen der LWS hinzuzuziehen. [58]

Zur Beurteilung der Wirbelkörperfusion wurde in der hier vorgestellten Studie anhand von konventionellen Röntgenaufnahmen ein für die HWS-Fusion etabliertes Bewertungssystem zur Hilfe genommen. In 4 Fällen kam es innerhalb von 12 Monaten zu Cagesinterungen, 3 davon zeigten einen Lysesaum. Diese Patienten zeigten jedoch in den Nachuntersuchungen bezüglich des klinisch-neurologischen und funktionellen Status keine auffälligen Resultate. Auch Resnick et al. kommen in ihrer Studie von 2005 zu dieser Erkenntnis. [59] Die meisten Studien belegen einen Zusammenhang zwischen radiologisch belegter Fusion und gutem funktionellen Ergebnis [60, 61], wobei es aber auch Studien gibt, die keine Korrelation zeigen. [62, 63]

Die Rate der „soliden“ Fusion in der hier diskutierten Studie lag nach 12 Monaten bei 78 %. Die Fusion erfolgte über die Bildung neuer trabekulärer Knochenbrücken-Strukturen lateral, ventral, dorsal (und zentral) des Cages – sichtbar in der lateralen Röntgenaufnahmen (ventrale und dorsale Trabekel) und den a.p. Aufnahmen (laterale Trabekel). Berücksichtigt man jedoch die Tatsachen, dass der Cage größtenteils geschlossen ist und dementsprechend nur wenige Trabekelbrücken hindurch wachsen können und das selbst die Patienten mit einem Lysesaum die Fusionskriterien erfüllen, steigt die Fusionsrate auf über 90%.

### **Radiologisches Outcome – ZWR-Höhe**

Die Höhe des Zwischenwirbelraumes wurde sowohl prä- als auch postoperativ, als auch im

Rahmen der Follow-Up Untersuchungen bestimmt. Hierbei wurde eine durchschnittliche Höhenzunahme von 3,3 mm unmittelbar nach der Cage-Implantation festgestellt. Dadurch wurde im Vergleich zu den Anschlußsegmenten in den meisten Fällen die ursprüngliche Höhe des Zwischenwirbelraumes erreicht – es wurde darauf geachtet, dass keine Überdistraktion vorliegt. Die in den Folgemonaten eingesetzte Höhenminderung um <1mm (<10% der Ursprungshöhe) an Grund- und Deckplatte kann mit dem Einwachsen im Sinne einer geringen Migration der angerauten Cageoberflächen in die angrenzenden Wirbelkörper erklärt werden. Hierbei handelte sich demnach nicht um ein klassisches Sinterungsphänomen.

### **Radiologisches Outcome - ZWR-Winkel**

In den Fällen, in denen neben der Wiederherstellung der Bandscheibenhöhe auch die Wiederherstellung des ZWR-Winkels erreicht werden soll, stellt der hier untersuchte distrahierbare Cage eine suffiziente und mechanisch einfach durchzuführende Alternative dar. Allerdings lässt sich bezüglich des Versuches, das Realignment durch Wiederherstellung des Winkels im Zwischenwirbelraum wiederherzustellen feststellen, dass die distrahierbaren Cages nach Distraktion auf 6° lediglich einen Winkelgewinn von durchschnittlich 4,26° erreichen. Dies entspricht 2/3 des vom Hersteller angegebenen Aufspreiz-Winkels. Die vollständigen 6° werden in den meisten Fällen nur nach zusätzlicher dorsaler Kompression über die Pedikelschrauben und Verbindungsstäbe erreicht. Somit kann der Cage zwar auch als stand-alone Variante eingesetzt werden, die gewählte Cagegröße sollte in diesen Fällen jedoch knapp 130% des anzustrebenden Winkels im Zwischenwirbelraum betragen, **da im Mittel knapp 30% an Winkelverlust bzw. Einsinterung des Cages entstehen.**

### **Schlussfolgerungen**

Die posteriore lumbale interkorporelle Fusion mit Cages und dorsaler Instrumentation stellt ein erfolgreiches Operationsverfahren nach Dekompression nervaler Strukturen im degenerativ veränderten Spinalkanal dar. Das Polyetheretherketon (PEEK)-Material stellt sich aufgrund seiner hervorragenden Biokompatibilität als ein geeignetes Material dar. Die vorliegenden Ergebnisse der PLIF unter Verwendung des distrahierbaren Cages und dorsaler

Instrumentation zeigen zufriedenstellende radiologische Fusionsergebnisse. Zum Teil erst spät einsetzende Trabekelbildung im Zwischenwirbelraum kann dabei am Einwachsvverhalten des PEEK Materials im Rahmen einer Distanzosteoneogenese erklärt werden, was Ansatz für weitere Forschung auf diesem Gebiet bietet.

## **6. Zusammenfassung**

Chronische Rückenschmerzen sind in den Industriestaaten die häufigste Ursache für Arbeitsunfähigkeit, Berentung und Frührehabilitation. Diese sind häufig Ergebnis degenerativer Veränderung und betreffen in ca. 60% der Fälle die Lendenwirbelsäule. Die primäre Therapie besteht in konservativen Maßnahmen. Schlagen konservative Maßnahmen nicht an und besteht eine Korrelation zwischen Bildmorphologie und Klinik, so steht die operative Therapie als nächster Schritt zur Verfügung.

In den letzten Jahrzehnten wurden Operationstechniken mit verschiedenen Zugangswegen und Implantaten aus verschiedenen Materialien entwickelt. Die posteriore lumbale interkorporelle Fusion (PLIF) hat das Ziel durch Implantation eines intersomatischen Cages den Zwischenwirbelraum wieder aufzurichten und durch Distraction der Neuroforamina die Nervenwurzeln zu entlasten. Zusätzlich wird versucht durch dorsale Kompression mittels Fixateur interne eine Korrektur der Lendenlordose zu erreichen und eine zugangsbedingte Instabilität zu verhindern. Um eine Korrektur des Alignements und die Fusion des Segmentes zu unterstützen wurde in der vorliegenden Studie ein Zwischenwirbelraum-Implantat aus Polyetheretherketon (PEEK) untersucht, welches nach Implantation auf 6° distrahiert werden kann.

Es wurden insgesamt 58 Patienten mit verschiedenartigen degenerativen Erkrankungen der Lendenwirbelsäule nach Implantation eines distrahierbaren PEEK-Cage-Paares und dorsaler Stabilisierung mittels Fixateur interne in PLIF-Technik eingeschlossen. Untersucht wurden die radiologischen und klinischen Ergebnisse nach 6 und 12 Monaten. Die eingeschlossenen Patienten wurden allesamt in der Neurochirurgischen Klinik der Charite Campus Benjamin Franklin versorgt. 47 Patienten wurden monosegmental und 11 mehrsegmental versorgt. Es wurden insgesamt 73 Cage-Paare implantiert.

Es wurden im Rahmen der Nachuntersuchung nach 6 und 12 Monaten konventionelle Röntgen-Aufnahmen in anterior-posterioren und seitlichen Strahlengang und in Funktion angefertigt. Zusätzlich wurde der funktionelle Status anhand des VAS und der Denis Pain Scale beurteilt. Der klinisch funktionelle Verlauf wurde mit der JOA-Scale dokumentiert.

Hier zeigte sich präoperativ ein Mittelwert von 13,5 Punkten, 14,1 Punkte zum Entlassungszeitpunkt, 15,3 Punkte nach 6 Monaten und 15,8 Punkten nach 12 Monaten.

Die Rate der soliden Fusion lag nach 12 Monaten bei 78%. Im 12 Monats-Follow-Up zeigten sich sowohl in den monosegmentalen als auch multisegmentalen PLIF's nicht vollständig fusionierte Segmente. Subsumiert man die Gruppen III und IV zur „Gruppe der funktionell stabilen Spondylodesen“, so zeigten sich bereits in den 6 Monats-Follow-Up Untersuchungen 82,2% der operierten Segmente nach radiologischen und funktionellen Kriterien stabil. Nach 12 Monaten waren dies 91,8%. Das heisst, das nach einer postoperativen Ausheilungszeit von einem Jahr lediglich 8,2% der operierten Segmente als tatsächlich nicht funktionell stabil und fusioniert anzusehen waren. Die Höhe des Zwischenwirbelraumes wurde sowohl prä- als auch postoperativ bestimmt. Hierbei wurde eine durchschnittliche Höhenzunahme von 3,3 mm festgestellt. In den Fällen bei denen neben der Wiederherstellung der Bandscheibenhöhe auch die Wiederherstellung des Lordosewinkels erreicht werden soll, stellt der hier untersuchte distrahierbare Cage somit eine Alternative dar. Allerdings lässt sich bezüglich des Versuches des Realignements durch Wiederherstellung des Lordosewinkels im Zwischenwirbelraum feststellen, dass die distrahierbaren Cages nach Distraction auf 6° lediglich einen Lordosewinkel von durchschnittlich 4,26° erreichen. Dies entspricht 2/3 des vom Hersteller angegebenen Aufspreiz-Winkels. Die vollständigen 6° werden in den meisten Fällen dann nach zusätzlicher dorsaler Kompression über die Pedikelschrauben und Verbindungsstäbe erreicht. Somit kann der Cage zwar auch als stand-alone Variante eingesetzt werden, die gewählte Cagegröße sollte in diesen Fällen jedoch knapp 130% des anzustrebenden Winkels im Zwischenwirbelraum betragen.

Die posteriore lumbale interkorporelle Fusion mit Cages und dorsaler Instrumentation stellt ein erfolgreiches Operationsverfahren nach Dekompression nervaler Strukturen im degenerativ veränderten Spinalkanal dar. Das Polyetheretherketon (PEEK) Material stellt sich aufgrund seiner hervorragenden Biokompatibilität als ein geeignetes Material dar. Die vorliegenden Ergebnisse der PLIF unter Verwendung des distrahierbaren Cages und dorsaler Instrumentation zeigen zufriedenstellende radiologische Fusionsergebnisse. Zum Teil erst spät einsetzende Trabekelbildung im Zwischenwirbelraum kann dabei am



Einwachsverhalten des PEEK Materials im Rahmen einer Distanzosteoneogenese erklärt werden, was Ansatz für weitere Forschung auf diesem Gebiet bietet.

## CharitéCentrum für Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie

Charité | Campus Benjamin Franklin | 12200 Berlin

**Neurochirurgische Klinik und Hochschulambulanz**  
**Direktor: Prof. Dr. med. P. Vajkoczy**

### DOKUMENTATIONSBOGEN

Klinische und radiologische Ergebnisse nach posteriorer lumbaler interkorporeller Fusion mit einem neuartigen, distrahierbaren Polyetheretherketon-Implantat

**Sekretariat:**  
 Tel: (030) 8445 2531  
 Fax: (030) 8445 3569

**Station 014B:**  
 Tel. (030) 8445 2661  
 Fax. (030) 8445 4478

<http://neurochirurgie.charite.de>

### Präoperative Dokumentation

#### 1. Demographische Daten

Fallnummer

Geschlecht

Alter

BMI

#### 2. Diagnose

Segment	L1/2	L2/3	L3/4	L4/5	L5/S1
Spinalkanalstenose	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>
Bandscheibenprolaps	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>
Spondylolisthesis	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>
Revisionsoperation	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>
Instabilität	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>

#### 3. Symptomatik

motorische Defizite	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>
sensible Defizite	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>
Claudicatio spinalis	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>
Blasen-/Mastdarmstörungen	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>
Ischialgien	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>
Lumbalgien	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>

#### 4. Nebendiagnose

Adipositas	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>
Herzinsuffizienz	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>
Diabetes mellitus	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>
Osteoporose	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>
Autoimmunerkrankungen	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>
Malignom	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>
Nikotinabusus	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>

- -

**DOKUMENTATIONBOGEN**  
distrahierbare Polyetheretherketon-Implantate

Fall-Nr: \_\_\_\_\_

**5. Therapie**

Physiotherapie	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>
PRT	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>
Thermokoagulation	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>
Infiltration	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>

**Operative Dokumentation**

**Segment**      L1/2     L2/3     L3/4     L4/5     L5/S1

**Implantat:**      Wave-Cage

Fixateur interne XIA Precision

**intraoperative Komplikationen**

**Postoperative Dokumentation**

**Entlassungsstatus**

motorische Defizite	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>	Regr.	<input type="checkbox"/>
sensible Defizite	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>	Regr.	<input type="checkbox"/>
Claudicatio spinalis	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>	Regr.	<input type="checkbox"/>
Blasen-/Mastdarmstörungen	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>	Regr.	<input type="checkbox"/>
Lumboischialgien	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>	Regr.	<input type="checkbox"/>

**Follow up & Scoring**

**1. Zeitpunkt**

6 Monate postoperativ

12 Monate postoperativ

**2. Komplikationen**

Wundheilungsstörungen	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>
Liquorleck	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>
Schraubendislokation	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>
Schraubenbruch	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>

**3. Scores**

VAS	präoperativ	<input type="text"/>	postoperativ	<input type="text"/>
JOA	präoperativ	<input type="text"/>	postoperativ	<input type="text"/>
Denis Pain Scale	präoperativ	<input type="text"/>	postoperativ	<input type="text"/>

**DOKUMENTATIONBOGEN**  
 distrahierbare Polyetheretherketon-Implantate

Fall-Nr: \_\_\_\_\_

**4. Radiologische Messdaten**

Bandscheibenhöhe	präoperativ	<input type="text"/>
	unmittelbar postoperativ	<input type="text"/>
	nach 6 Monaten	<input type="text"/>
	nach 12 Monaten	<input type="text"/>
Lordosewinkel	präoperativ	<input type="text"/>
	nach Distraction durch Cage	<input type="text"/>
	nach Kompression durch Fix. int.	<input type="text"/>
	nach 12 Monaten	<input type="text"/>
Fusion	nach 6 Monaten	<input type="text"/>
	nach 12 Monaten	<input type="text"/>

Bemerkungen:

---



---



---



---



---

Sonstige Notizen:

---



---



---



---



---

Untersucher:

Datum:

**8. Literaturverzeichnis**

- [1] Statistisches Bundesamt 1998.
- [2] Bundesministerium für Gesundheit und Soziale Sicherung 2002.
- [3] Kohlmann T (2001) Bevölkerungsbezogene Epidemiologie am Beispiel chronischer Rückenschmerzen. Lehrbuch der Schmerztherapie, Zenz M, Jurna I. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft; 221-9
- [4] Krämer J (1994) Bandscheibenbedingte Erkrankungen. 3:11
- [5] Panjabi MM (1988) What constitutes spinal instability? Clin. Neurosurg. 34: 313-339.
- [6] Junghanns H (1951) Die funktionelle Pathologie der Zwischenwirbelscheibe. Langenbecks Arch Chir. 267: 393-398.
- [7] Holdworth et al. (1963) Holdworth's two column model. JBJS
- [8] Denis S (1984) Spinal instability is defined by the three-column spine concept in acute spinal trauma. Clin. Orthop. 189: 65.
- [9] Weiner BK, Fraser RD (1998) Spine update. Lumbar interbody cages. Spine 24, 634-40.
- [10] Cloward RB (1953) The treatment of ruptured lumbar intervertebral discs. Am. J. Surg. 86: 145-51.
- [11] Cloward RB (1981) Spondylolisthesis: treatment by laminectomy and posterior interbody fusion. Clin. Orthop. 154: 74-82.
- [12] Kilian K. (1854) De Spondylolisthesis gravissimae pelvangustiae causa nuper detecta. Commentatio anatomico-obstetrica.
- [13] Neugebauer F. (1881) Zur Entwicklungsgeschichte des spondylolisthetischen Beckens und seiner Diagnose. Deutsche Z Chir 17:577-8.
- [14] Wiltse LL, Newman PH, Macnab I. (1976) Classification of spondylolysis and spondylolisthesis. Clin.Orthop. 117:23-9.
- [15] Moskopp D, Wassmann H. (2005) Neurochirurgie. Stuttgart: Schattauer. 10:608
- [16] Meyerding HW (1932) Spondylolisthesis, surgical treatment and results. Surg Gynecol Obstet 54:371-7

- [17] Aitken RC (1969) Measurement of feelings using visual analogue scales. *Proc. R. Soc. Med.* 62 (10) 989-93.
- [18] Hanley EN JR., (1999) Lumbar Arthrodesis for the treatment of back pain. *J. Bone and Joint Surg.* 81-A, NO. 5:717-30
- [19] Kozak JA, O´Brien JP (1990) Simultaneous combined anterior and posterior fusion. An independent analysis of a treatment for the disabled low-back pain patient. *Spine*; 15:322-28
- [20] Lee CK, Vessa P (1995) Chronic disabling low-back pain syndrome caused by internal disc derangements. The result of disc excision and posterior lumbar interbody fusion. *Spine*; 20:356-61
- [21] Linson MA, Williams H (1991) Anterior and combined anteroposterior fusion for lumbar disc pain. A preliminary study. *Spine*; 16:143-45
- [22] Ray CD (1997) Threaded titan cages for lumbar interbody fusions. *Spine*; 22:667-80
- [23] Weiner BK, Fraser RD (1998) Spine update lumbar interbody cages. *Spine*; 23:634-40
- [24] Diedrich O, Kraft CN, Bertram R (2000) Dorsal lumbar interbody implantation of cages for stabilizing segmental spinal instabilities. *Z Orthop Ihre Grenzgeb.*; 138:162-8
- [25] Gibson JNA, Waddel G, Grant IC (2003) Surgery of lumbar degenerative spondylosis. *The Cochrane Library*, Vol. 2
- [26] Cloward RB (1985) Posterior lumbar interbody fusion updateed. *Clin Orthop*; 193:16-9
- [27] Harms JG, Jeszensky D (1998) Die posteriore lumbale interkorporelle Fusion in unilateraler transforaminaler Technik. *Operative Orthopädie und Traumatologie*; 10:90-102
- [28] Brislin B, Vaccaro AR (2002) Advances in posterior lumbar interbody fusion. *Orthop Clin North Am*; 33:367-74
- [29] Humphreys SC, Hodges SD (2001) Comparison of posterior and transforaminal approaches to lumbar interbody fusion. *Spine*; 26:567-71
- [30] Lowe TG, Tahernia AD (2002) Unilateral transforaminal posterior lumbar interbody fusion: indications, technique, and 2-year results. *J Spinal Disord Tech*; 15:31-8
- [31] Moskowitz A (2002) Transforaminal lumbar interbody fusion. *Orthop Clin North Am*; 33:359-66
- [32] Tiusanen H, Seitsalo S, Osterman K, Soini J (1996) Anterior lumbar interbody fusion in severe low back pain. *Clin Orthop*; 324:153-63

- [33] Baker JK, Reardon PR, Reardon MJ, Heggeness MH (1993) Vascular injury in anterior lumbar spine surgery. *Spine*; 18:2227-30
- [34] Isiklar ZU, Lindsey RW, Coburn M (1996) Uretral injury in anterior lumbar interbody fusion. A case report. *Spine*; 21:2379-82
- [35] Christensen FB, Bungert CE (1997) Retrograde ejaculation after retroperitoneal lower lumbar interbody fusion. *Int Orthop*; 21:176-80
- [36] Flynn JC, Price CT (1984) Sexual complications of anterior fusion of the lumbar spine. *Spine*; 9:489-92
- [37] Hackenberg L, Liljenqvist U, Halm H, Winkelmann W (2001) Occlusion of the left common iliac artery and consecutive thromboembolism of the left popliteal artery following anterior lumbar interbody fusion. *J Spinal Disord*; 14:365-8
- [38] Jurbala BM, Kelly JD 4<sup>th</sup>, Dempsey DT, Caroline DF (1997) Gastroparaspinal fistula: a late postoperative complication of anterior spina fusion. *Orthopedics*; 20:985-7
- [39] Chan FL, Chow SP (1983) Retroperitoneal fibrosis after anterior spinal fusion. *Clin Radiol*; 34:331-5
- [40] Schwab FJ, Nazarian DG, Mahmud F, Michelsen CB (1995) Effect of spinal instrumentation on fusion of the lumbosacral spine. *Spine*; 20: 2023-2028
- [41] Dunsker SB (1990) Lumbar spine stabilization: Indications. *Clin Neurosurg*; 36:147-158
- [42] Hanley EN (1995) The indications for lumbar spinal fusion with and without instrumentation. *Spine*; 24:143-153
- [43] Kuslich SD, Ulstrom CL, Griffith SL, Ahern JW, Dowdle JD (1998) The Bagdy and Kuslich method of lumbar interbody fusion. History, techniques, and 2-year follow-up results of a United States prospective, multicenter trial. *Spine*; 23:1267-127
- [44] Esses, SI, Huler, RJ (1992) Indications for lumbar spine fusion in the adult. *Clin Orthop*; 87-00
- [45] Siegling, CW, Hochheim, B, Werner, G (1992) Die dorsale Interbodyfusion, Ergebnisse und Schlußfolgerungen. In Matzen KA ed. *Wirbelsäulen Chirurgie II; operative Behandlung chronischer Kreuzschmerzen*; 176-183
- [46] Okuyama K, Abe E, Suzuki T, Tamura Y, Chiba M, Sato K (1999) Posterior lumbar interbody fusion: a retrospective study of complications after facet joint excision and pedicle screw fixation in 148 cases. *Acta Orthop Scand*; 70:329-34
- [47] Bohnen IM, Schaafsma J, Tonino AJ (1997) Results and complications after posterior lumbar spondylodesis with the „Variable screws placement spinal fixation system“. *Acta*

Orthop Belg; 63:67-73

[48] Fritzell P, Hagg O, Wessberg P, Nordwall A (2002) The Swedish Lumbar Spine Study Group: Chronic low back pain and fusion: a comparison of three surgical techniques: a prospective multicenter randomized study from the Swedish Lumbar Spine Study Group. *Spine*; 27:1131-41

[49] Fritzell P, Hagg O, Nordwall A (2003) Complications in lumbar fusion surgery for chronic low back pain: comparison of three surgical used in prospective randomized study. A report of the Swedish Lumbar Spine Study Group.; 12:178-189

[50] Jutte PC, Castelein RM (2002) Complications of pedicle screws in lumbar and lumbosacral fusions in 105 consecutive primary operations. *Eur Spine J*; 11:594-598

[51] Leufven C, Nordwall A (1999) Management of chronic disabling low back pain with 360 degrees fusion. Results from pain provocation test and concurrent posterior lumbar interbody fusion, posterolateral fusion, and pedicle screw instrumentation in patients with chronic disabling low back pain. *Spine*; 24:2042-5

[52] Freeman BJ, Licina P, Mehdian SH (2000) Posterior lumbar interbody fusion combined with instrumented postero-lateral fusion: 5 year results in 60 patients. *Eur Spine J*; 9: 42-46

[53] Krismer M, Auckenthaler T, Gruber R, Wimmer C, Sterzinger W, Ogon M (1997) Lumbale Fusion beim Erwachsenen-dorsal oder kombiniert ventral/dorsal? *Orthopädie*; 26: 568-71

[54] Brantigan JW, Steffee AD (1993) A carbon fiber implantat to aid interbody lumbar fusion. 2-year clinical results in the first 26 patients. *Spine*; 18:2106-7

[55] McAfee PC (1999) Interbody fusion cages in reconstructive operations on the spine. *J. Bone Joint Surg. Am.*; 81:859-80

[56] Stauffer RN, Coventry MB (1972) Posterolateral lumbar-spine fusion. Analysis of MayoClinic series.*J. Bone Joint Surg. Am.*; 54:1195-204

[57] Tullberg T, Brandt B, Rydberg J, Fritzell P (1996) Fusion rate after posterior interbody lumbar rate with carbon fiber implant: 1-year follow-up of 51 patients. *Eur. Spine J.*; 5:178-82

[58] Resnick DK, Choudri TF, Dailey AT, Groff MW, Khoo L, Matz PG (2005) Guidelines for the performance of fusion procedures for degenerative diseases of the lumbar spine. Part 4: radiographic assessment of fusion. *J. Neurosurg. Spine*; 2:653-7

[59] Resnick DK, Choudri TF, Dailey AT, Groff MW, Khoo L, Matz PG (2005) Guidelines for the performance of fusion procedures for degenerative diseases of the lumbar spine. Part 5: correlation between radiographic and functional outcome. *J. Neurosurg. Spine*; 2:658-61

[60] Vamvanij V, Fredrickson BE, Thorpe JM, Stadnick ME, Yuan HA (1998) Surgical



treatment of internal disc rupture: An outcome study of four fusion techniques. *J Spinal Disord.*; 11:375-82

[61] Wetzel FT, Brustein M, Phillips FM, Trott S (1999) Hardware failure in an unconstrained lumbar pedicle screw system. A 2-year follow-up study. *Spine*; 24:1138-43

[62] Diedrich O, Perlick L, Schmitt O, Kraft CN (2001) Radiographic characteristics on conventional radiographs after posterior interbody lumbar fusion: comparative study between radio-translucent and radiopaque cages. *J. Spinal Disord.*; 14:522-32

[63] Greenough CG, Peterson MD, Hadlow S, Fraser RD (1998) Instrumented posterolateral lumbar fusion. Results and comparison with anterior interbody fusion. *Spine*; 23:479-86

[64] Denis F, Armstrong GW, Searls K, Matta L (1984) Acute thoracolumbar burst fractures in the absence of neurologic deficit. A comparison between operative and nonoperative treatment. *Clin. Orthop Relat. Res.*; 189:142-49

[65] Fukui K, Kataoka O, Sho T, Sumi M (1990) Pathomechanism, pathogenesis, and results of treatment in cervical spondylotic myelopathy caused by dynamic canal stenosis. *Spine*; 15:1148-52

[66] Krämer J (2006) Bandscheibenbedingte Erkrankungen; 6:54-55

[67] Kirkaldy-Willis WH, Farfan HF (1982) Instability of the lumbar spine. *Clin. Orthop. Relat. Res.*; 165:110-23

[68] Krismer M, Haid C, Ogon M, Behensky H, Wimmer C (1997) Biomechanics of lumbar instability. *Der Orthopäde*; 6:516-20

[69] Anandjiwala J, Seo J-Y, Ha K-Y, Oh I-S, Shin D-C (2011) Adjacent segment degeneration after instrumented posterolateral lumbar fusion: a prospective cohort study with a minimum five-year follow-up. *Eur Spine J*; 20:1951-60

[70] Chen B-L, Wei F-X, Ueyama K, Xie D-H, Sannohe A, Liu S-Y (2011) Adjacent segment degeneration after single-segment PLIF: the risk factor for degeneration and its impact on clinical outcomes. *Eur Spine J*; 20:1946-50

"Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht."

**10. Danksagung**

Mein größter Dank gilt Herrn Priv. Doz. Dr. med. Olaf Süss für die Überlassung der Arbeit, aber vor allem dafür auf welche Art und Weise er mit seiner Menschlichkeit und fachlichen Kompetenz mir mit Rat und Tat zur Seite stand.

Auch möchte ich mich herzlich bei allen anderen neurochirurgischen und radiologischen Kollegen bedanken.

Besonders bedanken möchte ich mich auch bei Gott und meiner wunderbaren Familie, die mir in jeder Lebenslage eine wahnsinnig große Stütze waren und sind.

## **Erklärung**

„Ich, Falah Sadik, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Klinische und radiologische Ergebnisse nach posteriorer lumbaler interkorporeller Fusion mit einem neuartigen, distrahierbaren Polyetheretherketon-Implantat“ selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.“

Datum

Unterschrift