

Aus dem St. Marienkrankenhaus in Ludwigshafen
Akademisches Lehrkrankenhaus der Universität Heidelberg
Orthopädische und Unfallchirurgische Klinik
Chefarzt: Prof. Dr. med. Johannes Stöve

Retrospektive Vergleichsanalyse der Fusionsraten eines TLIF PEEK
Cages in Abhängigkeit vom versorgten Wirbelsegment.

Inauguraldissertation
zur Erlangung des medizinischen Doktorgrades
der
Medizinischen Fakultät Mannheim
der Ruprecht-Karls-Universität
zu
Heidelberg

vorgelegt von
Sandra Jung

aus
Landstuhl, Deutschland
2018

Dekan: Prof. Dr. rer. nat. Dr. med. Dr. h. c. Uwe Bicker
Doktorvater: Prof. Dr. med. Johannes Stöve
Betreuender Oberarzt: Dr. med. Michael Breitenfelder

Für meine Familie

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	1
1 EINLEITUNG	2
1.1 Einführung	2
1.1.1 Ziel der Studie	4
1.1.2 Hypothese	4
1.2 Anatomie des Bewegungssegments	4
1.3 Biomechanik des Bewegungssegments	5
1.4 Degeneration des Bewegungssegments	9
1.5 Geschichte der Fusionschirurgie	11
1.6 Problematik der Fusionschirurgie	19
1.7 Die transforaminale lumbale interkorporelle Fusion (TLIF)	22
2 MATERIAL UND METHODEN	27
2.1 Studendesign	27
2.2 Patienten	27
2.2.1 Demographie	27
2.2.2 Ein- und Ausschlusskriterien	32
2.2.3 Operationsindikationen	32
2.3 Operationstechnik der Studie	33
2.4 Klinische Evaluation	34
2.5 Radiologische Evaluation	35
2.6 Auswertungssoftware	36
2.7 Auswertungsbogen und erfasste Parameter	36
2.8 Statistische Analyse	42
3 ERGEBNISSE	44

3.1	Besonderheiten	44
3.2	Perioperative Komplikationen	45
3.3	Begleiterkrankungen der Wirbelsäule.....	46
3.4	Segmentbezogenes Fusionsverhalten	46
3.5	Korrelation Fusion und klinisches Ergebnis.....	47
3.6	Korrelation Pseudarthrose und klinisches Ergebnis	48
4	DISKUSSION	50
4.1	Bewertung der Ergebnisse	50
4.1.1	Segmentbezogenes Fusionsverhalten.....	50
4.1.2	Klinisches Outcome und Korrelation mit Fusionsergebnis.....	51
4.2	Einflussfaktoren.....	54
4.2.1	Patientengut	54
4.2.2	Operationstechnik.....	57
4.2.3	Material.....	59
4.2.4	Perioperative Komplikationen	62
4.2.5	Definition Fusion.....	63
5	ZUSAMMENFASSUNG.....	67
6	LITERATURVERZEICHNIS.....	67
7	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	88
8	TABELLENVERZEICHNIS	90
9	ANHANG	91
10	LEBENS LAUF	113
11	DANKSAGUNG.....	114

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AGF	Autologous Growth Factor
ALIF	Anteriore Lumbale Interkorporelle Fusion
ALL	Anterior Longitudinal Ligament
BAK	Bagby- und Kuslich-Cage
BMP	Bone Morphogenetic Protein
CFRP	Carbon-fiber-reinforced Polymer
COMI	Clinical Outcome Measurement Index
CT	Computertomographie
DISH	Diffuse Idiopathische Skeletthyperostose
DWG	Deutsche Wirbelsäulengesellschaft
F/U	Follow Up
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Liggamenta
LLIF	Laterale Lumbale Interkorporelle Fusion
LWK	Lendenwirbelkörper
LWS	Lendenwirbelsäule
M.	Musculus
Mm.	Musculi
MI-TLIF	Minimal-invasive Transforaminale Lumbale Interkorporelle Fusion
MRT	Magnetresonanztomographie
Mw	Mittelwert
NSAID	Non-steroidal Anti-inflammatory Drug
ODI	Oswestry Disability Index
PACS	Picture Archiving And Communication System
PEEK	Polyetheretherketon
PEKEKK	Polyetherketonetherketonketon
PI	Pelvic Incidence
PT	Pelvic Tilt
PLIF	Posteriore Lumbale Interkorporelle Fusion
PLL	Posterior Longitudinal Ligament
Proc.	Processus (Singular)
Procc.	Processus (Plural)
PSI	Patient Satisfaction Index
Resp.	Respektive
SS	Sacral Slope
SSL	Supraspinous Ligament
Rh-BMP	Recombinant Human Bone Morphogenetic Protein
TLIF	Transforaminale Lumbale Interkorporelle Fusion
VAS	Visuelle Analogskala
V.a.	Verdacht auf
XLIF	Extreme Laterale Lumbale Interkorporelle Fusion

1 EINLEITUNG

1.1 Einführung

Die vorliegende Studie untersuchte Patienten, die aufgrund einer degenerativen Wirbelsäulenerkrankung durch eine transforaminale lumbale interkorporelle Fusion in den Segmenten L3/4 und L4/5 versorgt worden sind. Es wurde das segmentabhängige Fusionsverhalten untersucht sowie der Zusammenhang zwischen Fusionsergebnis und klinischem Outcome.

Die kleinste Funktionseinheit der Wirbelsäule ist das Bewegungssegment nach Junghanns^{1,2}. Es besteht aus zwei benachbarten Wirbelkörpern, der Bandscheibe sowie den Bändern und Gelenken, die diese miteinander verbinden (siehe **Abbildung 1**).

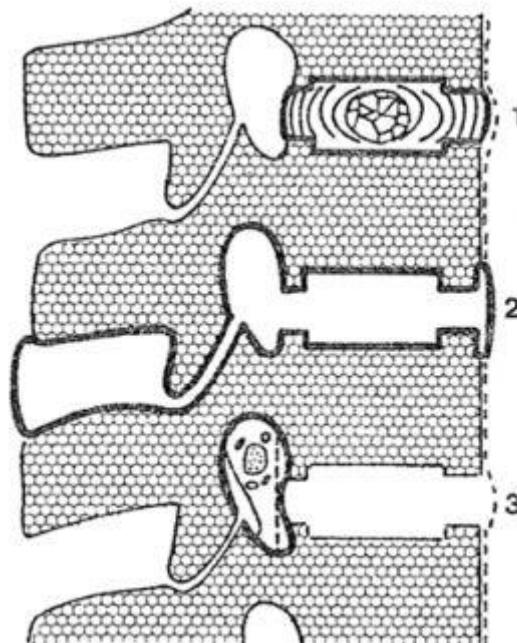


Abbildung 1: Bewegungssegment nach Junghanns, 1= Bandscheibe, 2= Bewegungssegment, 3= Foramen intervertebrals³

Alle Strukturen, die zu diesem Bewegungssegment gehören, sind mit zunehmendem Alter von degenerativen Prozessen betroffen. Vor allem die lumbalen Segmente sind durch den aufrechten Gang einer stärkeren Belastung ausgesetzt. Führen diese zu Stabilitätsverlust und Wirbelgleiten oder bedrängen Nervenstrukturen in unmittelbarer Nähe, können sie symptomatisch werden. Kommen konservative Therapien an ihre Grenzen, ist eine operative Therapie indiziert. Hierbei hat sich die Wirbelkörperfusion als bewährte Therapie durchgesetzt^{4,5}.

Das Ziel ist die Dekompression der Nerven zur Schmerzreduktion sowie Wiederherstellung der Lendenlordose und der ursprünglichen Zwischenwirbelraumhöhe⁶⁻¹⁵.

Außerdem wird vermutet, dass der Schmerz durch degenerative Prozesse an der Wirbelsäule bewegungs- und belastungsabhängig ist^{7,10,13-19}. Deshalb wird mit diesem Verfahren die segmentale Stabilität wiederhergestellt, indem die Segmente durch knöcherne Fusion dauerhaft ruhiggestellt werden.

Eine solche knöcherne Fusion kann durch posteriore, posterolaterale oder interkorporelle Anlagerung von Knochenmaterial durchgeführt werden^{7,20}.

Als interkorporelle Fusion werden sichtbare Knochenbrücken zwischen den angrenzenden Deck- und Bodenplatten der entsprechenden Wirbelkörper definiert^{5,21-23}.

Studien zeigen eine Verbesserung der Klinik nach erfolgreich durchgeführter Fusion^{5,24-26}. Fritzell et al.⁸ untersuchten Patienten, die aufgrund chronischer Rückenschmerzen mit unterschiedlichen Fusionstechniken behandelt worden sind. Sie zeigten, dass die lumbale Fusion gegenüber nicht-chirurgischen Behandlungsversuche überlegen war, was die Reduzierung der Schmerzen und Behinderung betrifft⁸. Dennoch wurde eine Diskrepanz zwischen Fusionsergebnis und klinischem Outcome beobachtet. Eine Fusion führt demnach meistens zur Verbesserung des klinischen Outcomes^{5,24-26}, aber ein gutes klinisches Outcome muss nicht immer mit einer Fusion zusammen hängen^{26,27}. Diese Theorie wurde bereits 1948 durch Cloward²⁸ beschrieben. Er entdeckte, dass bereits fibröse Neubildungen zwischen den Wirbelkörpern ausreichen, dass die Patienten postoperativ asymptomatisch wurden.

1911 beschrieb Albee²⁹ zum ersten Mal eine dorsale, knöcherne Fusion zur Behandlung des Morbus Pott (Knochtuberkulose). Er entfernte einen Teil der Procc. spinosi, befüllte den interspinalen Raum mit tibialer Spongiosa und fixierte dies. Da bei tuberkulöser Spondylitis die Wirbelkörper nacheinander zerstört werden und durch größere Bewegungsfreiheit Hyperkyphosen entstehen, sollte durch das oben genannte Verfahren eine Immobilisation der Wirbelkörper durch eine knöcherne Fusion der Procc. gewährleistet werden. Im selben Jahr wurde durch Hibbs²² dasselbe Verfahren genutzt um spinale Deformitäten wie die Skoliose zu stabilisieren.

Die Arbeiten von Albee²⁹ und Hibbs²² setzten somit den Grundstein zur intervertebralen Fusion.

Um diese jedoch zu erreichen muss das segmentale Bandscheibenfach ausgeräumt und mit Knochenmaterial bestückt werden. Die anfangs verwendete autologe Beckenkamm-spongiosa wird auch heute noch zum Teil als Material für die intervertebrale Fusion zur Wiederherstellung der Stabilität verwendet³⁰. Da die Entnahme der Spongiosa mit weiteren Komplikationen verbunden ist (sogenannte donor site morbidity), werden heute häufig operative Verfahren gewählt, bei denen entweder Knochenersatzstoffe (z.B. Tricalciumphosphatkeramiken), lokal anfallende Spongiosa oder allogene Spongiosa zur Befüllung des Bandscheibenfachs genutzt werden können³¹.

Da es bei der alleinigen Verwendung des Knochenmaterials häufig zu einem sekundären Korrekturverlust kommt, weshalb die Zwischenwirbelraumhöhe nicht aufrecht erhalten bleiben konnte, wurden künstliche Implantate entwickelt, die diese Probleme aufheben, eine bessere Lastverteilung bieten und als Bandscheibenersatz die intervertebrale Fusion unterstützen sollen^{25,27,32,33}.

Durch Wiederherstellung der Zwischenwirbelraumhöhe werden neben den Nerven auch die Wirbelbogengelenke entlastet und eine bessere Rekonstruktion des sagittalen Profils ermöglicht¹⁸.

Seit der Etablierung von Schrauben-Stab-Systemen in den achtziger Jahren ist es möglich die Fusionssegmente von dorsal rotationsstabil zu fixieren und somit das interkorporelle Knochenwachstum zu stützen^{7,13–15,34,35}.

Die Erfolgsraten der intervertebralen Fusion sind dabei von operativen und individuellen Einflüssen abhängig^{36–38}.

In der Literatur finden sich erfolgreiche Fusionsergebnisse von bis zu 90 % (siehe **Tabelle 2**, Seite 7).

1.1.1 Ziel der Studie

Da die anatomischen Gegebenheiten in jedem Segment unterschiedlich sind, ist es möglich, dass die Fusionsraten in den einzelnen Segmenten voneinander abweichen. Hierüber existieren nach aktuellem Kenntnisstand der Verfasserin der vorliegenden Arbeit bisher jedoch keine Studien.

Die oben genannten Ziele zeigen, dass das Erreichen der Fusion von großer Bedeutung ist. Deshalb ist es ebenfalls wichtig und sinnvoll zu wissen, ob es ggf. segmentbezogene Unterschiede im Fusionsverhalten gibt.

Das Ziel der vorliegenden Studie ist das Fusionsverhalten in den Segmenten L3/4 und L4/5 zu untersuchen. Zusätzlich wird die Korrelation von Fusionsergebnis und klinischem Ergebnis der Studienteilnehmer im Follow Up (F/U) untersucht.

1.1.2 Hypothese

In dieser Arbeit wird die Hypothese vertreten, dass es keine Abhängigkeit zwischen Segment und Fusionsergebnis gibt.

Außerdem wird auf Basis der Fusionsergebnisse gezeigt, dass das klinische Ergebnis der Patienten unabhängig vom Fusionsergebnis ist.

1.2 Anatomie des Bewegungssegments

Die Wirbelsäule bildet zusammen mit den Rippen und dem Brustbein das Rumpfskelett und ermöglicht zusammen mit der autochthonen Rückenmuskulatur die aufrechte Haltung². Sie lässt sich in fünf Abschnitte unterteilen. Die Halswirbelsäule besteht aus sieben, die Brustwirbelsäule aus zwölf und die Lendenwirbelsäule aus fünf Wirbelkörpern. Die Sakralwirbelsäule besteht aus fünf und das Os coccygis aus drei bis vier Wirbelkörpern, die jeweils miteinander verschmolzen sind².

Bei ca. 8 % der Bevölkerung findet sich eine Lumbalisation des 1. Sakralwirbels, eine Sakralisation des 5. Lumbalwirbels oder eine Einziehung des Atlas in den Schädel^{39,40}.

Die gesamte Wirbelsäule zeigt vier große sagittale Krümmungen: Zervikallordose, Thorakalkyphose, Lumbal lordose, Sakralkyphose. Diese erlauben das Abfedern der Kraft, die auf die Wirbelsäule durch den aufrechten Gang übertragen wird².

Jeder Wirbel, mit Ausnahme des ersten Halswirbels², setzt sich aus den gleichen Bauelementen zusammen. Der ventrale Anteil wird durch den Wirbelkörper gebildet. Der Wirbelbogen (Arcus vertebrae) besteht aus einem Pedikel (Pediculus arcus vertebrae) und einer Platte (Lamina arcus vertebrae) und bildet zusammen mit den zwei Querfortsätzen (Proc. transversus, bzw. costalis, mamillaris und accessorius bei der LWS), dem Dornfortsatz (Proc. spinosus) und den vier Gelenkfortsätzen (Procc.

articulares superiores et inferiores) den dorsalen Anteil². Über die Gelenkfortsätze sind die Wirbelkörper über das sogenannte Facettengelenk (Articularis zygapophysialis) miteinander verbunden. Zwischen dem Wirbelkörper und dem Wirbelbogen liegt jeweils das Wirbelkörperloch (Foramen vertebrale). Zusammen bilden die Foramina den Spinalkanal (Canalis vertebralis) in dem das Rückenmark umhüllt von den Rückenmarkshäuten liegt. Aus diesem treten nach lateral die Vorder- und Hinterwurzeln aus, die sich in den Foramina intervertebralia zum Spinalnerv vereinigen. Ein Spinalnerv ist für die Innervation eines bestimmten Dermatoms und Myotoms verantwortlich.

Auf Höhe des 1. bzw 2. Lendenwirbelkörpers (LWK) endet das Rückenmark in Form des Conus medullaris und wird durch das Filum terminale abgelöst.

An den jeweiligen Fortsätzen der einzelnen Wirbel setzen Muskeln und Bänder an. Im Bereich der Brustwirbelsäule zusätzlich die Rippen. Die Querfortsätze werden durch die Ligg. intertransversaria verbunden. Das Lig. supraspinale verläuft dorsal der Dornfortsätze und die Ligg. interspinalia verbinden diese miteinander. Nach ventral werden die Wirbelkörper vom Lig. longitudinale anterius und nach dorsal vom Lig. longitudinale posterius, das mit den Bandscheiben verwachsen ist, begrenzt. Die elastischen Ligg. flava unterstützen durch Verbindung der Wirbelbögen zusätzlich die autochthone Rückenmuskulatur. Der Bandapparat der Wirbelsäule ist somit stark ausgeprägt um den mechanischen Belastungen Stand zu halten².

Die Wirbelkörper werden durch die Bandscheiben (Disci intervertebrales) voneinander getrennt. Insgesamt gibt es 23 Bandscheiben. Jede einzelne ist ein funktionelles System aus zwei Strukturen: dem äußeren Faserring (Anulus fibrosus) und dem zentralen, nicht komprimierbaren Gallertkern (Nucleus pulposus). Der Nucleus pulposus besteht zu 80 % aus Wasser, das von den Glykosaminoglykanen gebunden wird⁴¹.

Jede Bandscheibe wird nach oben und unten von den Grund- und Deckplatten des benachbarten Wirbelkörpersegments begrenzt.

Nach ventral wird die Wirbelsäule durch die Thorax- und Bauchwandmuskulatur unterstützt. Dorsal befindet sich die autochthone Rückenmuskulatur (Mm. erector spinae), die sich in einen tiefen medialen und einen oberflächlichen lateralen Trakt untergliedert und von der Fascia thoracolumbalis umhüllt wird.

Der mediale Trakt gliedert sich in ein gerade verlaufendes spinales (Mm. Interspinales, M. spinalis) und ein schräg verlaufendes transversospinales System (Mm. rotatores, breves und longi, M multifidus, M semispinalis).

Der laterale Trakt gliedert sich in ein sakrospinales (M. iliocostalis, M longissimus), spinotransversales (M. splenius) und intertransversales (Mm. Intertransversarii, Mm. levatores costarum) System⁴².

1951 prägte Junghans^{1,2} den Begriff der „functional spinal unit“ (das Bewegungssegment) als kleinste Funktionseinheit der Wirbelsäule. Es setzt sich aus zwei benachbarten Wirbeln, den gelenkigen Verbindungen, der Bandscheibe sowie den angrenzenden Bändern und Muskeln zusammen (siehe **Abbildung 1**, Seite 2).

1.3 Biomechanik des Bewegungssegments

Die Krümmung der Wirbelsäule sowie die ligamentären und muskulären Verbindungen ermöglichen dem Menschen den aufrechten Gang. Aufgrund dessen ist eine ihrer

wichtigsten Aufgaben die Stütz- und Haltefunktion unter gleichzeitiger Erhaltung der Beweglichkeit. Außerdem muss sie die einwirkenden Kräfte ausgleichen und das Rückenmark und die Spinalnervenwurzeln schützen^{2,43,44}.

Das Zusammenspiel der anatomischen Strukturen erlaubt dem jeweiligen Bewegungssegment insgesamt sechs Bewegungsrichtungen⁴⁵.

Das Bewegungsausmaß eines Bewegungssegments lässt eine Ventralflexion und Dorsalextension in der Horizontalen und eine Rotation und Lateralflexion in der Vertikalen zu (siehe **Abbildung 2**). Jede Bewegung besteht grundsätzlich aus einer Kombinationsbewegung, die sowohl in der Horizontalen als auch in der Vertikalen stattfindet⁴⁵.

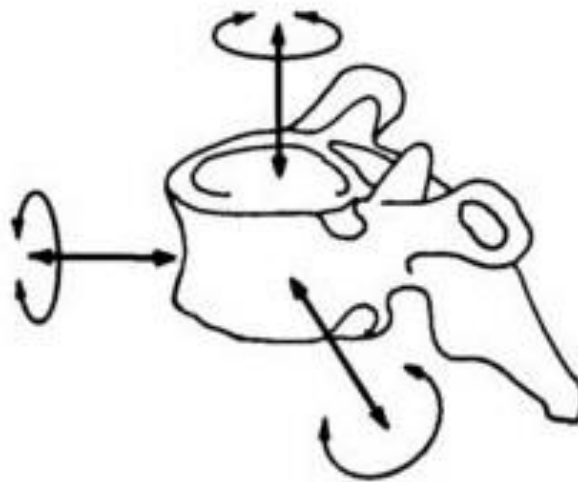


Abbildung 2: Bewegungsumfang eines Wirbelsäulensegments: Flexion/Extension, Rotation in beide Richtungen, Lateralflexion in beide Richtungen⁴⁵

Durch die Stellung der Wirbelkörper und Facettengelenke unterscheidet sich das Bewegungsausmaß je nach Wirbelsäulenabschnitt. In der Halswirbelsäule ist eine ausgeprägte Ventral- und Dorsalflexion sowie Rotation und Lateralflexion um die Vertikale möglich. Die Facettengelenke sind in der Brustwirbelsäule annähernd frontal ausgerichtet. Hierdurch ist zum einen eine gute Ventralflexion möglich, zum anderen wird die Dorsalflexion durch die überlappenden dorsalen Dornfortsätze gehemmt.

In den Lumbalsegmenten ist eine ausgeprägte Flexion und Extension möglich^{2,39,46,47}. Yoshioka et al.⁴⁸ untersuchten die Bewegungsumfänge der lumbalen Segmente von 61 Patienten anhand von Funktionsaufnahmen. Sie zeigten, dass im LWK 4 die größte Flexion/Extension möglich ist. Im LWK 5 zeigten sie die größte Rotationsfreiheit.

Die unterschiedlichen Stellungen der Facettengelenke in den einzelnen Segmenten bedingen ebenfalls die segmental verschiedenen Lordosewinkel⁴⁹ (siehe **Abbildung 3**). In den von der Studie untersuchten Segmenten L3/4 und L4/5 zeigte sich eine Segmentlordose von durchschnittlich -13° bzw. -20° .

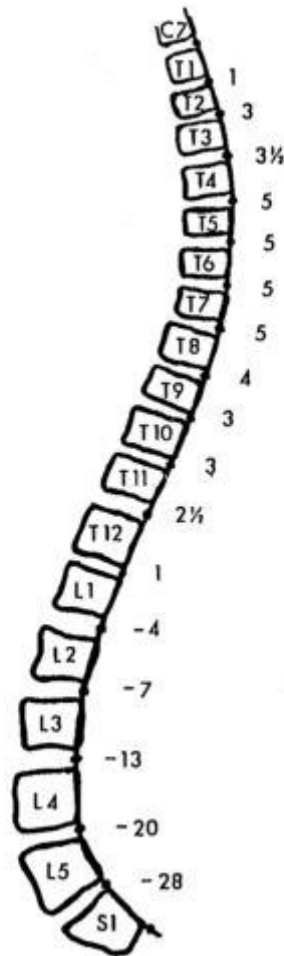


Abbildung 3: Segmentlordosen der Wirbelsäule in Grad [°]⁴⁹

Denis⁵⁰ entwickelte ein Modell das die Wirbelsäule in eine ventrale, mittlere und dorsale Säule unterteilt (siehe **Tabelle 1, Abbildung 4**). In der Traumatologie dient es zur Differenzierung, ob ein Wirbelkörperbruch je nach beschädigten Strukturen stabil ist oder nicht und dementsprechend eine operative Versorgung notwendig macht.

Tabelle 1: Drei-Säulen Modell nach Denis⁵¹

Säule	Beteiligte Strukturen	Stabilität
A: ventrale Säule	Wirbelkörper ohne Hinterkante	stabil
B: mittlere Säule mitbetroffen	Wirbelkörperhinterkante, Wirbelbogenwurzel, Hinteres Längsband	Instabil
C: dorsale Säule mitbetroffen	Wirbelbögen, Wirbelgelenke, Wirbelfortsätze	Instabil

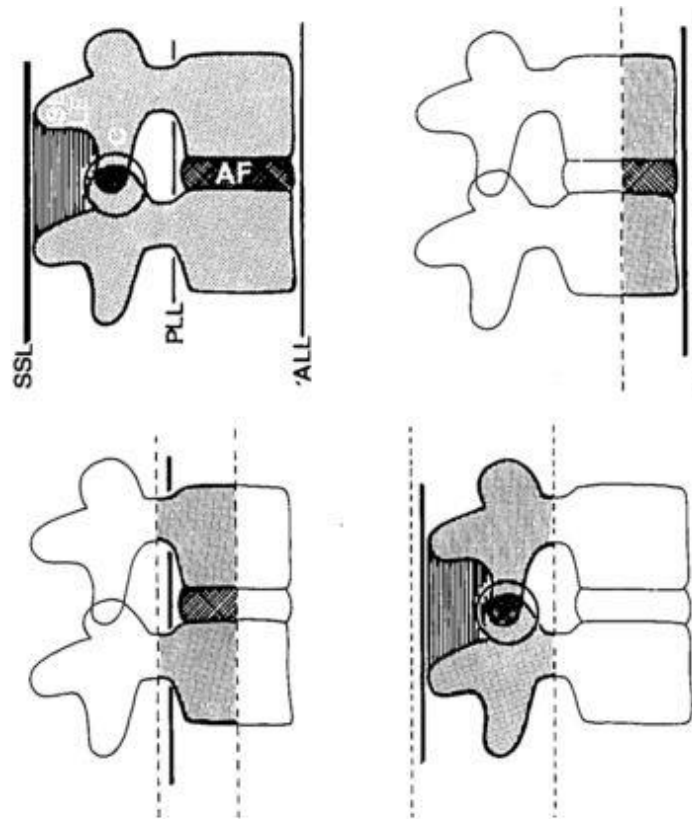


Abbildung 4: Drei-Säulen-Modell nach Denis⁵¹, ALL= anterior longitudinal ligament, PLL= posterior longitudinal ligament, SSL= supraspinous ligament

Magerl⁵² erweiterte das „Drei-Säulen-Modell“, indem er die Krafteinwirkung und den Verletzungsvorgang hinzufügte. Er entdeckte, dass unterschiedliche Kräfte jeweils eine Säule maximal belasten und somit die beteiligten Strukturen dieser Säule verletzt werden.

Bei normalen Bewegungen wird durch die Krümmungen der Wirbelsäule die Hauptbelastung zu 80 % auf die ventrale Säule übertragen^{52,53}. Da diese durch die Wirbelkörper und Bandscheiben gebildet wird, nehmen diese somit die Hauptlast auf. Im Nucleus pulposus der Bandscheibe kommt es zu Flüssigkeitsverschiebungen. Die dabei entstehenden Druckkräfte werden auf den äußeren Fasserring übertragen und dort in Zugkräfte umgewandelt, wodurch dieser gespannt wird⁴¹. Dadurch fungieren die Bandscheiben als Stoßdämpfer und sorgen für eine gleichmäßige Kraftverteilung².

Die Schwerkraft sorgt dafür, dass die Krafteinwirkung auf die Segmente nach kaudal zunehmend ist. Um dieser Mehrbelastung entgegen zu wirken, nehmen die Bandscheiben und Wirbelkörper von kranial nach kaudal an Größe zu^{44,54}. Dadurch wird eine erhöhte Tragkraft der Lendenwirbelkörper erreicht.

Die restlichen 20 % der Last werden durch die dorsale Säule aufgenommen.

Diese biomechanischen Erkenntnisse zeigen, dass durch die unterschiedlichen Krümmungen der Wirbelsäule und die nach kaudal zunehmende Belastung durch die Schwerkraft, die Kraftverteilung in jedem Segment unterschiedlich ist. Aufgrund dessen ist die Fusion in jedem Segment unterschiedlichen Anforderungen ausgesetzt.

1.4 Degeneration des Bewegungssegments

Die Wirbelsäule ist ab dem Zeitpunkt des ersten aufrechten Stehens täglich hohen statisch-mechanischen Belastungen ausgesetzt. Sie ermöglicht den aufrechten Gang, stabilisiert das Körpergleichgewicht und sorgt für Beweglichkeit^{39,44}. Aus diesen Aufgaben und der damit verbundenen hohen Belastung lassen sich die Veränderungen, die die Wirbelsäule im Laufe der Jahre durchmacht, ableiten.

Die ersten degenerativen Prozesse zeigen sich an der Bandscheibe. Um das 12. Lebensjahr sind diese nicht mehr durchblutet^{55,56}. Durch Mikrotraumatisierungen und/oder genetische Schwachstellen in den knorpeligen Grund- und Deckplatten der Wirbelkörper beginnen die degenerativen Veränderungen dort bereits ab diesem Zeitpunkt^{41,55,56}. Da die degenerativen Veränderungen hier bereits beginnen, aber noch keine klinische Korrelation aufweisen zeigt, dass nicht alle degenerativen Veränderungen automatisch zu Rückenschmerzen führen.

Die Bandscheibendegeneration ist definiert als eine von der Norm abweichende, zellabhängige Antwort auf eine progressive strukturelle Störung⁵⁶. Das heißt, dass extrinsische Einflüsse die Reparaturmechanismen der Zellen überfordern, wodurch es zu einem Wasserverlust des Nucleus pulposus und Elastizitätsverminderung des Anulus fibrosus kommt und zu einer Höhenminderung des Zwischenwirbelraumraumes^{41,56}. Durch diesen Qualitätsverlust und Mangel an Reparaturmechanismen sowie weiter bestehender axialer Druckbelastung kommt es zu Bandscheibenprotrusionen und Bandscheibenprolapsen, die durch Kompression der Nerven und Gefäße im Foramen intervertebrale zu sensomotorischen Defiziten in den unteren Extremitäten führen können⁵⁷.

Alle Strukturen, die den Wirbelkanal umgeben, unterliegen degenerativen Prozessen und begünstigen eine Spinalkanalstenose (siehe **Abbildung 5**).

Die Bandscheibendegenerationen verändern die Biomechanik der Wirbelsäule, wodurch die angrenzenden Facettengelenke mehr belastet werden, sklerosieren und Spinalkanalstenosen durch die Ausbildung von Spondylophyten und Hypertrophien des Lig. flavum begünstigen^{58,59}. Aufgrund der Höhenminderung der Bandscheiben und weiter bestehender Bewegungsreize bilden sich Osteochondrosen mit Geröllzysten an den Wirbelkörperschlussplatten. Das Lig. flavum wird entlastet, die Elastinfasern durch Kollagenfasern ersetzt, wodurch das Band verdickt und der Spinalkanal ebenfalls eingeengt wird⁶⁰. Dieses räumliche Missverhältnis führt zu einer ischämischen Beeinträchtigung des Rückenmarks und der intrathekal verlaufenden Nervenwurzeln sowie zu Kompressionen der Spinalnerven im Foramen intervertebrale. Klinisch resultiert dies als Claudicatio intermittens spinalis.



Abbildung 5: Röntgenbild der lumbalen Wirbelsäule anterior-posterior (rechts) und lateral (links) mit osteoporotisch verändertem Knochen, Sklerosierungen der Grund- und Deckplatten, Osteochondrosen, degenerative Spondylolisthese im Segment L4/5 und Sinterung der Bandscheiben (Bilder aus dem eigenen Patientengut)

Durch die Bandscheibendegeneration und der damit verbundenen Degeneration der Facettengelenke kann es zu einem Vorwärtsgleiten eines Wirbelkörpers kommen, der sogenannten degenerativen Spondylolisthese⁶¹ (siehe **Abbildung 6**). Dieses Vorwärtsgleiten wird durch erhöhte Zugkräfte auf die Bänder, durch die Verkleinerung des Zwischenwirbelraums sowie degenerative Prozesse, die an den Bändern stattfinden, begünstigt und kann ebenfalls zu Einengungen der Dura und der Nervenwurzeln führen²⁸.

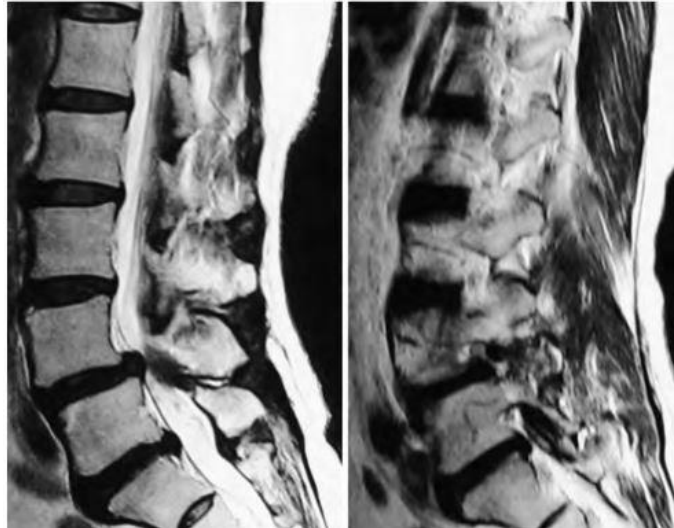


Abbildung 6: Sagittale T1-MRT-Aufnahme mit degenerativem Wirbelgleiten und daraus resultierender Spinalkanalstenose (links) und Foramenstenose (rechts)⁶² (Bilder aus dem eigenen Patientengut)

1.5 Geschichte der Fusionschirurgie

Die Geschichte der Fusionschirurgie durchlief mehrere Phasen bis es zur Entwicklung der Spondylodese mit Diskektomie, Schrauben-Stab-Systemen und unterschiedlicher Möglichkeiten der knöchernen Fusion kam.

Die Diskektomie wurde zum ersten Mal 1909 durch Krause und Oppenheim⁶³ beschrieben. Bis 1934 waren jedoch die Zusammenhänge eines Bandscheibenvorfalles und der klinischen Auswirkung unbekannt. Erst Mixer und Barr⁶⁴ fanden heraus, dass durch Protrusionen der Bandscheiben die radikulär ausstrahlenden Rückenschmerzen entstehen und durch eine Diskektomie verbessert werden können.

Barr⁶⁵ kombinierte 1947 die Diskektomie mit der knöchernen, interkorporellen Fusion, um die segmentale Schwäche, die durch die Diskektomie entsteht, auszugleichen und die chronischen lumbalen Rückenschmerzen zu verbessern⁶⁶.

Frymoyer et al.⁶⁷ untermauerten die Erkenntnis, dass eine Diskektomie mit Fusion, in ihrem Fall eine posteriore, zusammen durchgeführt werden sollen, um klinische Vorteile in der Behandlung von Bandscheibenerkrankungen zu erreichen.

Die Technik der knöchernen Fusion war bereits seit 1911 bekannt. Hier beschrieb Albee²⁹ erstmals eine posteriore knöcherne Fusion zur Behandlung des Morbus Pott. Da bei der tuberkulösen Spondylitis Hyperkyphosen durch Zerstörung der Wirbelkörper entstehen, wollte er durch eine knöcherne Fusion der Procc. spinosi eine Immobilisation der Wirbelkörper erreichen. Hierzu nahm er als Fusionsmaterial tibiale Spongiosa und lagerte sie zwischen den Procc. spinosi an.

Im selben Jahr wurde durch Hibbs²² dasselbe Verfahren genutzt, um spinale Deformitäten wie die Skoliose zu stabilisieren.

1953 beschrieb Watkins⁶⁸ zum ersten Mal eine posterolaterale Fusion, indem er zwischen den Proc. transversus des LWK 4 und dem ersten Sakralwirbel Beckenkamm-spongiosa anlagerte. Im selben Jahr beschrieb Cloward³⁰ das

intervertebrale Einbringen von Beckenkammspongiosa als Alternative zur dorsalen Fusion.

Im Laufe der Zeit fand man heraus, dass dorsale Instrumentierungen das Segment zusätzlich rotationsstabil fixieren und die knöchernen Fusion begünstigen^{7,13-15,34,35}.

Die Idee einer dorsalen instrumentellen Stabilisierung im Rahmen von cervikalen Frakturen und Dislokationen wurde erstmals 1891 von Hadra⁶⁹ beschrieben. Er schuf mit Drähten eine instrumentelle Verbindung der cervikalen Procc. spinosi und stabilisierte so die Segmente.

Lange⁷⁰ konstruierte 1910 ein Stabsystem zur Fixierung der Wirbelsäule, um Schmerzen bei Spondylitis zu verbessern und eine schnellere Heilung herbeizuführen. Durch die Entwicklung von Facettengelenkschrauben durch King⁷¹, Pedikelschrauben durch Boucher⁷² (siehe **Abbildung 7**), Haken-Stab-Systeme durch Harrington⁷³, Schrauben-Platten-Systeme⁷⁴ und später Schrauben-Stab-Systeme durch Magerl³⁵ (siehe **Abbildung 8**), wurde das Prinzip der dorsalen Instrumentierung weiter ausgebaut. Hiermit erweiterte sich das Indikationsspektrum der Fusion auf degenerative Erkrankungen der Wirbelsäule.

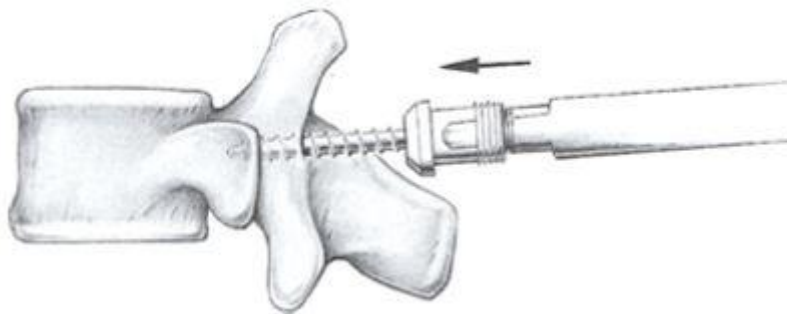


Abbildung 7: Einbringen von Pedikelschrauben, die anschließend über Längsträger miteinander verbunden werden¹¹



Abbildung 8: Längsträger, die die Pedikelschrauben miteinander verbinden.
Intervertebral liegt ein Cage mit Fusionsmaterial in und um den Cage⁷⁵

Aufgrund der Erkenntnis, dass die lasttragende Säule hauptsächlich durch die Wirbelkörper hindurch geht und nicht dorsal davon, erlangte die intervertebrale Fusion eine immer größere Bedeutung^{30,32}. Es wurden mehrere Zugangswege zum Bandscheibenfach beschrieben, um eine interkorporelle Fusion durchführen zu können (siehe **Abbildung 9**).

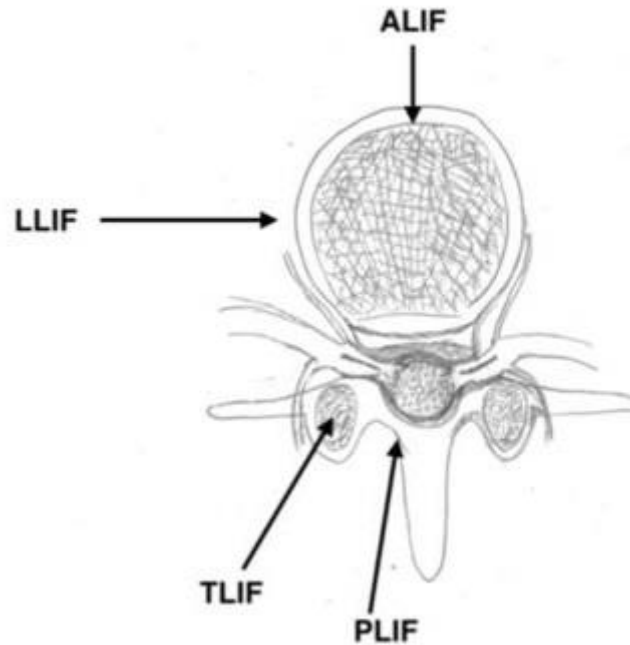


Abbildung 9: Zugänge zum Bandscheibenfach zur interkorporellen Fusion: ALIF= anteriore lumbale interkorporelle Fusion, TLIF= transforaminale lumbale interkorporelle Fusion, PLIF= posteriore lumbale interkorporelle Fusion, LLIF= laterale lumbale interkorporelle Fusion⁶⁶

Burns⁷⁶ beschrieb 1933 die anteriore lumbale interkorporelle Fusion (ALIF) zur Behandlung der Spondylolisthesis. Hierbei erfolgt der Zugang zum Bandscheibenfach von anterior, entweder retro- oder in den untersten Segmenten transperitoneal. Die posteriore lumbale interkorporelle Fusion (PLIF) wurde 1953 durch Cloward³⁰ zur Behandlung von rupturierten Bandscheiben beschrieben und wurde später zur Behandlung von Spondylolisthesen und Spinalkanalstenosen weiterentwickelt^{25,28}. Hierbei erfolgt der Zugang zum Bandscheibenfach von posterior. Cloward³⁰ führte neben der knöchernen intervertebralen auch eine knöchernen posteriore Fusion durch. Dabei verwendete er als Implantat autologen Knochen aus dem Beckenkamm. 1982 entwickelten Harms und Rolinger⁷ die posteriore lumbale interkorporelle Fusion weiter, indem sie als neuen Zugang zum Spinalkanal den transforaminalen wählten. Sie stellten die transforaminale lumbale interkorporelle Fusion (TLIF) als einseitiges Verfahren zur Behandlung der Spondylolisthese vor. Genau wie Cloward³⁰ führten auch Harms und Rolinger⁷ eine knöchernen interkorporelle und posteriore Fusion mit Beckenkammpongiosa durch. Durch die doppelte Anlagerung von Fusionsmaterial wird diese Art der knöchernen Fusion als 360° Fusion beschrieben. Sie verleiht dem Segment zusammen mit der dorsalen Verschraubung eine sehr gute Stabilität.

Als Fusionsmaterial wurden zunächst Allo- oder Autografts ohne Matrix verwendet. Das heißt sie wurden frei zwischen den knöchernen Strukturen eingebracht. Hierbei traten Komplikationen wie verlängerte Heilungsdauer, keine Aufrechterhaltung der Zwischenwirbelraumhöhe, Implantateinbrüche und -verschiebungen sowie Pseudarthrosen auf²⁷. Deshalb wurden Implantate entwickelt, die mit dem Fusionsmaterial befüllt werden können, intervertebral eingesetzt werden und aufgrund einer Fenestrierung eine knöchernen Fusion ermöglichen³².

Bagby⁷⁷ war der erste, der ein Implantat aus Stahl entwickelte, den sogenannten „Bagby Basket“ (siehe **Abbildung 10**). Er wurde lediglich an Pferden mit dem „Wobbler Syndrom“ (zervikale Malformation) zur anterioren interkorporellen Fusion verwendet und mit autologer Spongiosa befüllt³².

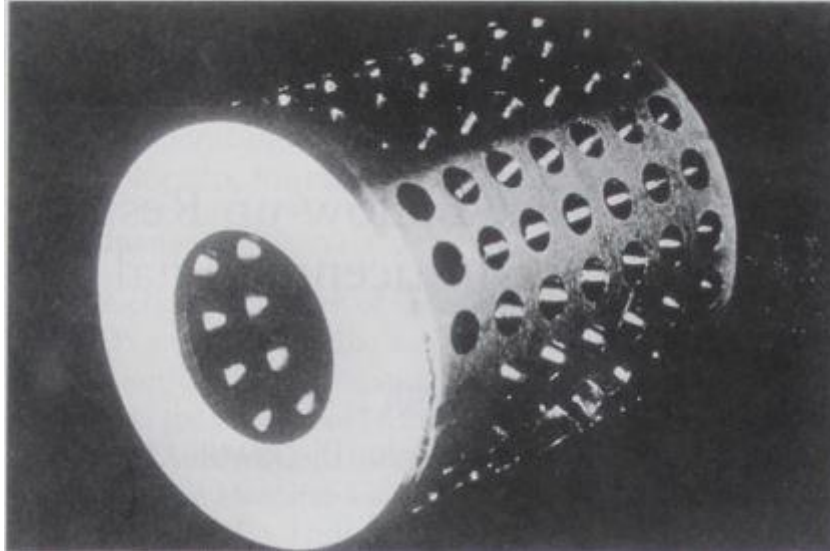


Abbildung 10: Bagby Basket: Stahlzylinder zur anterioren interkorporellen Fusion von Bagby⁷⁷ zur Behandlung des „Wobbler Syndroms“ bei Pferden^{32,77,78}

Durch Weiterentwicklung dieses Implantats entstand der Bagby- und Kuslich-Cage (BAK-Cage), ein Titanzylinder mit Gewinde zum Einschrauben in das intervertebrale Fach^{78,79} (siehe **Abbildung 11**). Er wurde 1992 zum ersten Mal bei Menschen verwendet und zeigte in den darauffolgenden Jahren hohe Fusionsraten und gute Ergebnisse bei der Behandlung von degenerativen Wirbelsäulenerkrankungen^{32,78,79}.

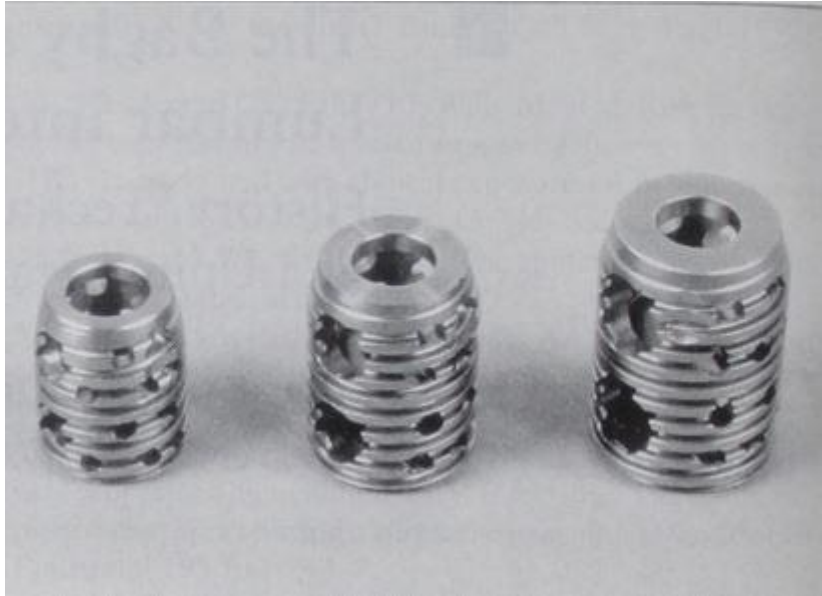


Abbildung 11: Bagby- und Kuslich-Implantat (BAK-Cage) aus Titan zum Einschrauben in das Bandscheibenfach bei lumbalen interkorporellen Fusionen bei degenerativen Wirbelsäulenerkrankungen bei Menschen^{32,78,79}

1986 entwickelte Harms den sogenannten Harms-Cage^{32,80} (siehe **Abbildung 12**). Dieser besteht aus einem zylindrischen Drahtgeflecht aus Titan und kann ebenfalls mit Fusionsmaterial befüllt werden. Er wurde zunächst als Wirbelkörperersatz verwendet, 1991 erstmals bei interkorporellen Fusionen³². Die ausgeprägte Fenestrierung ermöglicht eine maximale Kontaktfläche zwischen Knochen und Fusionsmaterial. Außerdem weist das Material einen knochenähnlichen Elastizitätsmodul auf^{32,80}. Diese Vorteile trugen sehr zur Entwicklung der Fusionschirurgie bei.

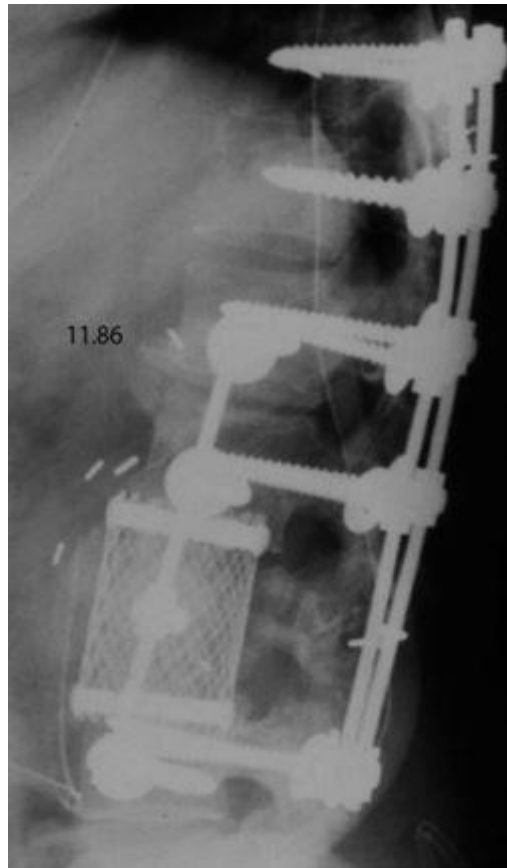


Abbildung 12: 1986: erster Einsatz eines „Harms Cage“ bei Wirbelkörperfraktur als Wirbelkörperersatz^{32,80}

1999 wurde der Brantigan-Cage²⁴ zur Behandlung degenerativer Wirbelsäulenerkrankungen zugelassen (siehe **Abbildung 13**). Er besteht aus Polyetherketonetherketonketon (PEKEKK) mit Carbonfasern²⁴ und besitzt ebenfalls einen sehr knochenähnlichen Elastizitätsmodul. Dadurch ist eine optimale Last- und Spannungsverteilung gegeben, wodurch es zu geringerem Einbrechen des Cages kommt²⁴.

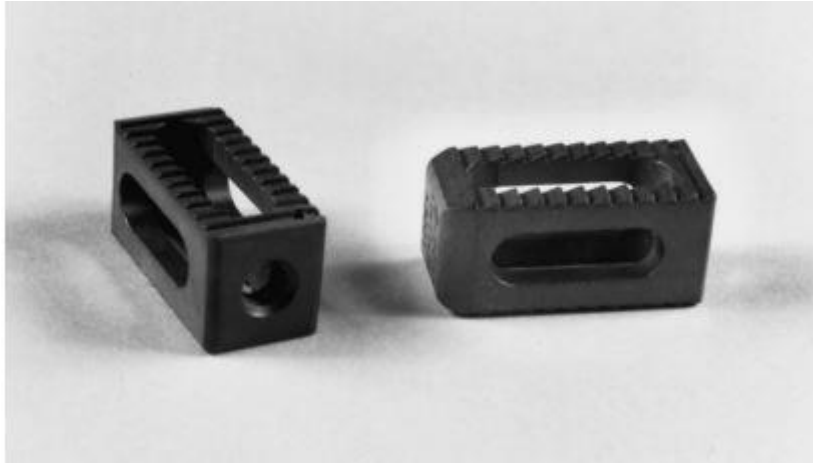


Abbildung 13: Brantigan I/F Cage (DePuy-AcroMed Corp., Raynham, MA) aus Polyetherketonetherketonketon (PEKEKK) mit Carbonfasern²⁴

Neben dem Carbon-Cage findet der seit 1997 verwendete Polyetheretherketon-Cage (PEEK) eine häufigere Anwendung, da dieser Kunststoff dem Elastizitätsmodul des Knochens am nächsten ist, wodurch geringere Implantatversagen und höhere Fusionsraten zu erwarten sind^{26,32,81,82} (siehe **Abbildung 14**, **Abbildung 15**).

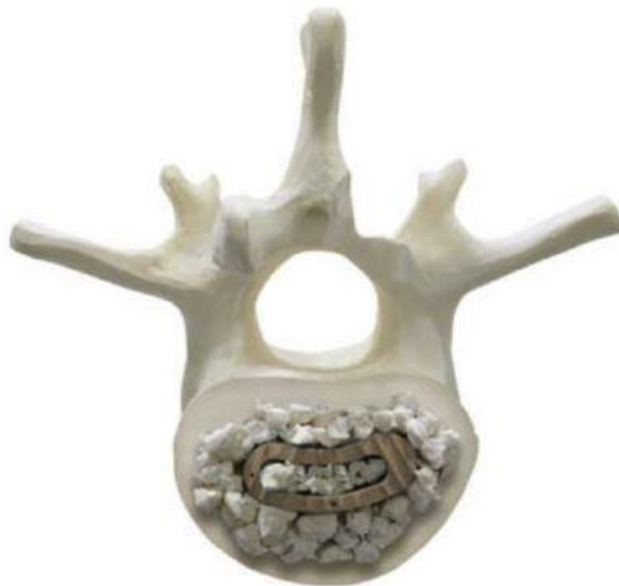


Abbildung 14: Wirbelkörpermodell mit Cage für transforaminale interkorporelle Fusion befüllt mit Fusionsmaterial⁶⁶

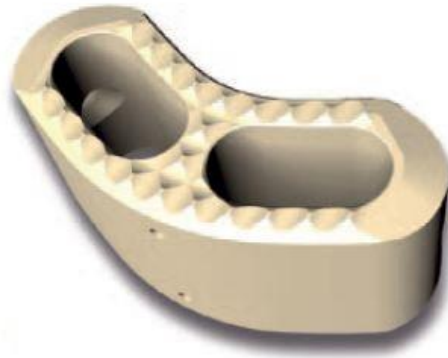


Abbildung 15: Polyetheretherketon-Implantat Typ Mobis I (PEEK-Cage) mit freundlicher Genehmigung von Signus Medizintechnik, Alzenau

Aufgrund der großen Zerstörung von Muskeln, Facettengelenken und anderen Geweben bei offenen Fusionsverfahren kommt es zu stärkeren Blutverlusten, postoperativen Schmerzen, verlängertem Krankenhausaufenthalt und einer verlängerten Rehabilitationszeit^{62,66,83–92}. Da diese Faktoren die interkorporelle Fusion negativ beeinflussen können, wurden minimal-invasive Fusionsverfahren entwickelt, um das lokale Trauma und die Folgeschäden zu minimieren und das Fusionsverhalten somit indirekt zu begünstigen^{62,90,93}. 2001 beschrieb Pimenta⁹⁴ eine minimal-invasive Variante der ALIF. Hierbei wurde der retroperitoneale Zugang nach lateral verlegt, um ein Umgehen der großen Gefäße zu gewährleisten⁹⁵. Die Vor- und Nachteile dieser Methode sind in **Tabelle 3**, Seite 7 dargestellt.

2002 beschrieben Khoo et al.⁹¹ eine minimal-invasive PLIF Technik und 2003 die minimal-invasive TLIF Technik. Diese Eingriffe sind somit noch sehr jung und es bedarf Langzeitstudien, um eine evidente Aussage zu den Vor- und Nachteilen machen zu können^{87,88,90,93,96,97}.

1.6 Problematik der Fusionschirurgie

Das Ziel der Fusion ist die Wiederherstellung und Erhaltung der segmentalen Stabilität. Um dies zu erreichen, muss es zu einer dauerhaften Ruhigstellung der betroffenen Segmente kommen. Eine intervertebrale Fusion soll genau diese Bedingungen schaffen. Dazu muss zunächst zwischen die zu fusionierenden Wirbelkörper Fusionsmaterial, in der Regel Spongiosa, eingebracht werden. Es muss darauf geachtet werden, dass eine sorgfältige Ausräumung der degenerativ veränderten Bandscheibe erfolgt, eine gründliche Präparation von Grund- und Deckplatten realisiert und ausreichend Fusionsmaterial verwendet wird, als auch ausreichend Kontakt zwischen Grund- und Deckplatte besteht.

Bereits früh wurde Beckenkammspongiosa als Fusionsmaterial verwendet⁹⁸. Cloward³⁰ nutzte es 1953 im Rahmen der PLIF Technik und war damit der Erste, der Beckenkammspongiosa intervertebral in das ausgeräumte Bandscheibenfach einbrachte. Heute wird sie noch sehr häufig verwendet und gehört zum Standard der

Wirbelsäulenchirurgie, da hiermit gute Fusionsraten erreicht werden^{31,99,100}. Der Nachteil dieser Methode ist, dass sie mit einem weiteren operativen Eingriff verbunden ist. Unter der sogenannten „donor site morbidity“ werden Komplikationen zusammengefasst, die durch den zweiten operativen Eingriff, der durch die Entnahme der Beckenkamm-spongiosa notwendig ist, ein höheres Risiko aufweisen. Hierzu gehören postoperative Infektionen, Wundheilungsstörungen, Parästhesien, Hämatome, Hernienbildungen, Instabilitäten, Gefäß- und Ureterverletzungen sowie als häufigstes Problem die postoperativen Schmerzen^{31,101,102}. Um diesen zweiten Eingriff zu vermeiden, wurden Verfahren entwickelt, die beim Eröffnen des Spinalkanals anfallende Spongiosa verwenden. Durch diese Methode konnten die vorher genannten Komplikationen minimiert werden^{31,32,102}.

Es war zu beobachten, dass das alleinige Einbringen von Fusionsmaterial oft nicht ausreichte, um das knöcherne Wachstum zwischen den Wirbelkörpern zu gewährleisten. Es kam gehäuft zu Resorptionen und Einbrüchen des Materials, weshalb sich die Zwischenwirbelraumhöhe wieder verkleinerte, sodass es wieder zu Kompressionen von Nervenstrukturen kam und die Stabilität der Wirbelsäule nicht aufrechterhalten bleiben konnte^{25,27,32,33}. Aus diesem Grund entwickelten Bagby und Kuslich⁷⁸ den BAK-Cage, ein Titanzylinder mit Gewinde zum Einschrauben in das Bandscheibenfach^{78,79} (siehe **Abbildung 11**, Seite 16). Sie orientierten sich dabei an den Erkenntnissen, die Bagby⁷⁷ bereits in der Veterinärmedizin durch Stahlimplantate, die intervertebral eingebracht wurden, gemacht hatte. Es zeigte sich, dass sie als Abstandhalter zur Wiederherstellung und dem Erhalt des Zwischenwirbelraums dienen, eine bessere Lastverteilung bieten und die intervertebrale Fusion unterstützen^{25,27,32,33,78,79}.

Diese Implantate wurden als Cages bekannt und haben sich in der Wirbelsäulenchirurgie etabliert. Der deutsche Begriff „Kasten“ oder „Käfig“ erklärt das Prinzip dieser Implantate. Sie sind Konstrukte aus Stahl, Titan oder Kunststoff mit einem leeren Innenraum und Fenestrierungen. Hierdurch können sie mit Fusionsmaterial befüllt werden, in das Bandscheibenfach eingebracht werden und eine knöcherne Fusion des Fusionsmaterials mit den angrenzenden Grund- und Deckplatten ermöglichen.

Um letzteres zu erreichen, müssen diese Implantate jedoch einige prinzipielle Eigenschaften aufweisen. Die ersten Cages bestanden aus Stahl⁷⁷ und Titan⁷⁹. Da sie dem Elastizitätsmodul des Knochens nicht sehr nahe kommen, wurden vermehrt Resorptionen, Einbrüche und Implantatversagen beschrieben^{32,81}. Außerdem müssen sie biokompatibel sein, um den Prozess der intervertebralen Osteogenese anzutreiben^{26,32,103}. Je biokompatibler das Implantat, desto größer die osteokonduktive Eigenschaft, d.h. die Fähigkeit des Knochenwachstums über die Oberfläche des Implantats^{32,103}. Deshalb zeigen die Implantate unterschiedliche Einwachsverhalten^{82,104}. Durch diese Erkenntnisse wurden die Implantate in den letzten Jahren weiterentwickelt. Vor allem PEEK-Cages wurden immer populärer. Da ihr Elastizitätsmodul dem des Knochens sehr ähnlich ist²⁶, wurden bessere Fusionsraten erreicht⁸¹. Ein Grund hierfür ist, dass bei höherer Elastizität die Last, die durch die Schwerkraft und den aufrechten Gang auf den Cage trifft, besser abgefangen und verteilt werden kann. Somit wird eine punktuelle Belastung im Bandscheibenfach minimiert. Dies wirkt sich positiv auf die Knochenentwicklung aus, denn eine punktuelle Belastung des Fusionsmaterials minimiert die Erfolgsraten der knöchernen Durchbauung durch zu hohen Kompressionsdruck. Dieses Phänomen ist als Stress-Shielding bekannt. Dieser Effekt sollte möglichst minimiert werden, um eine

bessere Kraftverteilung zu gewährleisten. Hierdurch kann die Einbruchrate gesenkt und das Fusionsergebnis verbessert werden^{24,26,32,81,82,105}.

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, müssen die Implantate ausreichend Kontaktfläche zwischen Fusionsmaterial und Grund- und Deckplatten der angrenzenden Wirbelkörper bieten³².

Da die Implantate zusätzlich strahlendurchlässig sein sollten, um Knochenbrücken postoperativ darzustellen, haben Titancages hier einen klaren Nachteil^{32,104}.

Um eine gute Fusion zu erreichen, beschrieb bereits 1911 Hibbs²², dass das Anfrischen der Grund- und Deckplatten intraoperativ sehr wichtig ist. Durch die Dekortizierung und eine gute Präparation des Bandscheibenfachs, können die Fusionsraten verbessert werden^{32,62,106}. Bei der minimal-invasiven lumbalen, interkorporellen Fusion, die immer populärer wird⁹³, bleibt fraglich, ob durch diesen kleinen Zugang eine ausreichende Präparation möglich ist. Da dieses Verfahren 2001 zum ersten Mal beschrieben worden ist⁹⁴ und somit noch sehr jung ist, existieren noch nicht viele Langzeitstudien, um dies genauer zu evaluieren⁹⁶.

Studien zeigen ebenfalls, dass durch eine Fusion die Belastung der Nachbarsegmente zunimmt^{18,53,107–109}. Deshalb ist es offensichtlich, dass es an dieser Stelle häufig zu degenerativen Umbauprozessen aufgrund der Adaptation kommt¹⁰⁹. Hier ist sich die Literatur noch sehr unschlüssig. Die Inzidenz der sogenannten Anschlussdegeneration variiert durch unterschiedliche Definitionen¹⁰⁹. Außerdem hängt sie sehr von individuellen Faktoren wie dem Alter, den Komorbiditäten oder schon vorher bestandener Degeneration ab¹⁰⁹, sodass es in diesem Punkt noch genauere Nachforschungen geben muss.

Das Spektrum der Implantate ist sehr groß. Neben den bereits erwähnten Autografts können auch Allografts, sprich Spenderknochen, zur Füllung der Bandscheibenfächer verwendet werden. Diese zeigen aber schlechtere Ergebnisse¹¹⁰. Da rückblickend die Fusionsergebnisse häufig nicht zufriedenstellend waren, wurden die Auto- und Allografts mit weiteren Materialien kombiniert oder sogar durch diese ersetzt. Hierfür kamen demineralisierte Knochenmatrix, synthetische Knochenimplantate (z.B. β -Tricalciumphosphate), Knochenmark, Wachstumsfaktoren (AGF's), Knochenproteine (BMP's) oder Kollagene in Frage. Es gibt bisher einige Studien, die den vermeintlichen Nutzen dieser Materialien belegen³³. Dennoch mangelt es bislang an Evidenz¹¹¹.

Intraoperativ wird der Wirbelkörperzwischenraum zunächst gespreizt, um die Implantate einzusetzen. Anschließend wird das Segment durch das Schrauben-Stab-System komprimiert, wodurch eine sofortige Primärstabilität gegeben ist^{7,11}. Hierbei werden die Rotationsbewegungen der Wirbelsäule ausgeschaltet, wodurch eine Ruhigstellung und Lordosierung der Segmente und Kompression der Implantate entsteht und ein besseres Einwachsverhalten der Cages gewährleistet wird^{7,13–15}. Kommt es jedoch zu Implantatversagen, wie Schraubenfehlagen und -brüchen oder Cagemigrationen, kann diese Stabilität nicht aufrecht erhalten bleiben und das Fusionsergebnis wird negativ beeinflusst.

Die häufigste Spätkomplikation der Fusion ist die Pseudarthrose^{11,99,112,113}. Es existieren einige technische Faktoren, die die Fusionsrate negativ beeinflussen können (s.o.)¹¹⁴. Jedoch ist nicht bewiesen, ob man bei Pseudarthrose auch von einem Scheitern der Fusion sprechen kann. Bereits 1948 entdeckte Cloward²⁸, dass Patienten postoperativ nach Fusionsoperationen asymptomatisch wurden. Hierbei war

jedoch nicht in allen Fällen röntgenologisch eine knöcherne Fusion nachweisbar. Bei vielen Patienten zeigten sich lediglich fibröse Neubildungen zwischen den Wirbelkörpern, die aber ausreichten, um eine Besserung der Klinik postoperativ zu erzielen. Es kommt somit oft zu Diskrepanzen zwischen Fusionsergebnis und klinischem Outcome, wobei eine Fusion meistens zur Verbesserung des klinischen Outcomes führt^{5,24–26}. Allerdings muss ein gutes klinisches Outcome nicht grundsätzlich mit einer Fusion zusammenhängen^{26,27}.

Das Fusionsergebnis variiert neben den erwähnten Materialeigenschaften ebenfalls mit individuellen Einflussfaktoren. Bei osteoporotisch verändertem Knochen zeigen sich aufgrund der schlechten Knochenqualität Unterschiede im Fusionsverhalten^{36,37,106}.

Erwähnenswert ist auch, dass Faktoren wie das Alter, Gewicht, Diabetes, Rauchen oder die Applikation von NSAID und/oder Steroiden die Fusionsrate negativ beeinflussen^{4,13,115–119}.

Postoperativ erfolgte in den vorliegenden Studien die Evaluation der Bildung von knöchernen Fusionsbrücken oft anhand von Röntgenbildern^{23,27,120–122}. Es gibt jedoch keine einheitlichen Definitionen, wie eine interkorporelle Fusion evaluiert werden soll^{21,97,123,124}. Es existieren zum einen unterschiedliche Scores, zum anderen variiert die Bildgebung, die zur Auswertung genutzt wird. Es zeigten sich, je nach verwendeter Bildgebung, sogar Unterschiede im Fusionsergebnis. Kuklo et al.¹²⁵ zeigten bei den gleichen Patienten auf Röntgenbildern Fusionsraten von 87,2 % und auf 3D CT Bildern von 97,3 %. Brodsky¹²⁰ und Blumenthal²³ verglichen die Evaluation der Fusion durch Röntgenbilder mit den Befunden einer chirurgischen Exploration und erhielten keine Übereinstimmung in 36 % bzw. 31 % der Fälle.

1.7 Die transforaminale lumbale interkorporelle Fusion (TLIF)

Zur Durchführung einer interkorporellen Fusion sind mehrere operative Zugangswege zum Bandscheibenfach möglich. Alle Patienten der vorliegenden Studie wurden durch die transforaminale lumbale interkorporelle Fusion (TLIF) versorgt. Diese wurde 1982 von Harms und Rolinger⁷ als einseitiges Verfahren zur Behandlung der Spondylolisthese vorgestellt. Sie entwickelten somit die von Cloward³⁰ 1953 erstmals beschriebene PLIF-Technik weiter, indem sie den Zugang zum Bandscheibenfach von transspinal nach transforaminal verlegten. 1998 erweiterten Harms und Jeszenszky¹¹ das Indikationsspektrum auf degenerative Wirbelsäulenerkrankungen. Seitdem hat sich die TLIF als etabliertes Verfahren zur Behandlung der degenerativen Wirbelsäulenerkrankungen, die zu segmentalen Instabilitäten und chronischen, therapieresistenten Rückenschmerzen führen können, durchgesetzt^{9,11,26,112,122}.

Die TLIF minimiert Komplikationen, die bei ALIF und PLIF Prozeduren gehäuft vorkommen (siehe **Tabelle 3**). Gleichzeitig zeigt sie jedoch vergleichbare Fusionsraten zu den anderen Verfahren von 90 % (siehe **Tabelle 2**).

Tabelle 2: Fusionsraten offene TLIF-Technik

Studie	Jahr der Veröffentlichung	Fusionsraten [%]
Anand et al. ¹²⁷	2006	99
Cutler et al. ⁸³	2006	95-100
Hackenberg et al. ¹¹³	2001	89
Hallet et al. ¹²⁸	2007	95
Hee et al. ¹¹⁹	2001	90-100
Houten et al. ¹²⁹	2006	100
Kuklo et al. ¹²⁶	2004	97
Lanman et al. ¹³⁰	2004	98
Lauber et al. ¹²³	2006	95
Lowe et al. ⁴	2002	90
Lowe et al. ¹³¹	2002	91
Mummaneni et al. ⁷⁵	2004	95
Potter et al. ¹³²	2005	93
Rivet et al. ¹³³	2004	74
Salehi et al. ¹³⁴	2004	92
Taneichi et al. ¹⁰⁷	2006	93
Vaidya et al. ¹¹⁴	2007	100
Villavicencio et al. ¹¹²	2005	100
Wu et al. ⁹⁸	2010	91
Yan et al. ¹³⁵	2008	100

Eine Gegenüberstellung der unterschiedlichen Zugangswege zum Bandscheibenfach ist in **Tabelle 3** dargestellt.

Tabelle 3: Vor- und Nachteile der Zugangswege zur interkorporellen Fusion
9,95,99,112,126–134

Technik	ALIF	PLIF	TLIF	XLIF
Vorteile	Großer Cage kann verwendet werden: große Auflagefläche und dadurch gute Fusionsergebnisse, gute Korrektur des sagittalen Profils möglich	Breitere Cageauflagefläche durch Verwendung von 2 Cages, wodurch größere Fusionsfläche	Geringeres Risiko Dura- und Nervenverletzungen	Minimal-invasives Verfahren: kürzere Hospitalisation, geringerer Blutverlust, geringere Infektionsraten
	Stand-alone-Versorgung möglich	Ausgiebige Dekompression durch Laminektomie	Bessere Alternative bei voroperierten Patienten	Umgehen von großen Gefäßen
				Hohe Primärstabilität, gutes Korrekturpotential, auch für osteoporotische Stabilisierungen geeignet
				Keine Manipulation von paraspinalen Muskeln
Nachteile	Verletzung Plexus hypogastricus und sympathikolyse: Retrograde Ejakulation	Nerven- und Duraverletzungen	Mangelnde Sicht auf kontralaterale Nervenwurzel, wodurch es bei Kompression zur Einengung dieser kommen kann	Auf Allografts angewiesen
	Postoperative arterielle und/oder venöse Gefäßverschlüsse	Hoher Blutverlust	Technisch aufwendig	Risiko Psoasmuskel und Plexus lumbosacralis zu verletzen
	Bauchwandhernien	Auf L3-S1 beschränkt	Hohe Blutverluste	
	Zwei operative Zugänge	Narbenbildung, Revision anspruchsvoll		
	Retroperitoneale Vewachsungen			

Die anteriore lumbale interkorporelle Fusion (ALIF) birgt durch den trans- oder retroperitonealen Zugang ein größeres Risiko der postoperativen retrograden Ejakulation durch Verletzung des Plexus hypogastricus^{126,127}. Außerdem besteht eine größere Gefahr den Ureter und größere Gefäße zu verletzen^{126,127,135}. Zu den seltenen Komplikationen gehören postoperative arterielle Gefäßverschlüsse¹³⁶, Bauchwandhernien oder retroperitoneale Verwachsungen aufgrund des retroperitonealen Zugangs¹³¹.

Bei der posterioren lumbalen interkorporellen Fusion (PLIF) besteht das operative Risiko Nerven, resp. das Myelon, durch die großen intraoperativen Retraktionen zu verletzen, weshalb diese Operation auf L3-S1 beschränkt ist¹²⁸. Es kommt außerdem zu vermehrter Narbenbildung, die weitere operative Interventionen im betroffenen Segment meist erschwert^{112,128}.

Durch den unilateralen transforaminalen Zugang (siehe **Abbildung 16**) ist ein schonenderes Operieren entlang der nervalen Strukturen auch im Bereich des Conus medullaris möglich, da die Nervenwurzel und der Duralsack nur minimal retrahiert werden müssen. Hierdurch kann diese Operation auch bei voroperierten Personen bevorzugt durchgeführt werden^{9,11,32,129}.

Außerdem sind die Blutverluste sowie die Operationszeit im Vergleich zur PLIF verringert¹²⁸.

Durch die Möglichkeit der unilateralen Öffnung des Foramen intervertebrale werden die anatomischen Strukturen, z.B. das Lig. longitudinale posterius¹³⁷, das bei PLIF-Operationen öfters gefährdet ist⁹⁰, mehr geschont als bei einem anterioren oder reinen posterioren Zugang^{4,32,128}. Dadurch können Implantatdislokationen vermieden und die Kompression auf den Cage erhöht werden¹³⁸.

Da die Facettektomie nur unilateral stattfindet und somit die kontralaterale Lamina erhalten bleibt, wird eine stabilere Fusionsfläche geschaffen^{32,128}.

Im Fall einer notwendigen Laminektomie bietet die TLIF eine ebenso gute Dekompression wie die PLIF¹²⁸.

Die Vor- und Nachteile des lateralen Zugangswegs (XLIF) zum Bandscheibenfach ist zur Vollständigkeit ebenfalls in **Tabelle 3** dargestellt. Da dieses Verfahren zu den minimal-invasiven gehört und noch sehr neu ist, können keine Aussagen gemacht werden, in welcher Hinsicht die TLIF dieser Methode über- oder unterlegen ist. Hierbei spricht vorerst die größere Datenlage für die TLIF.

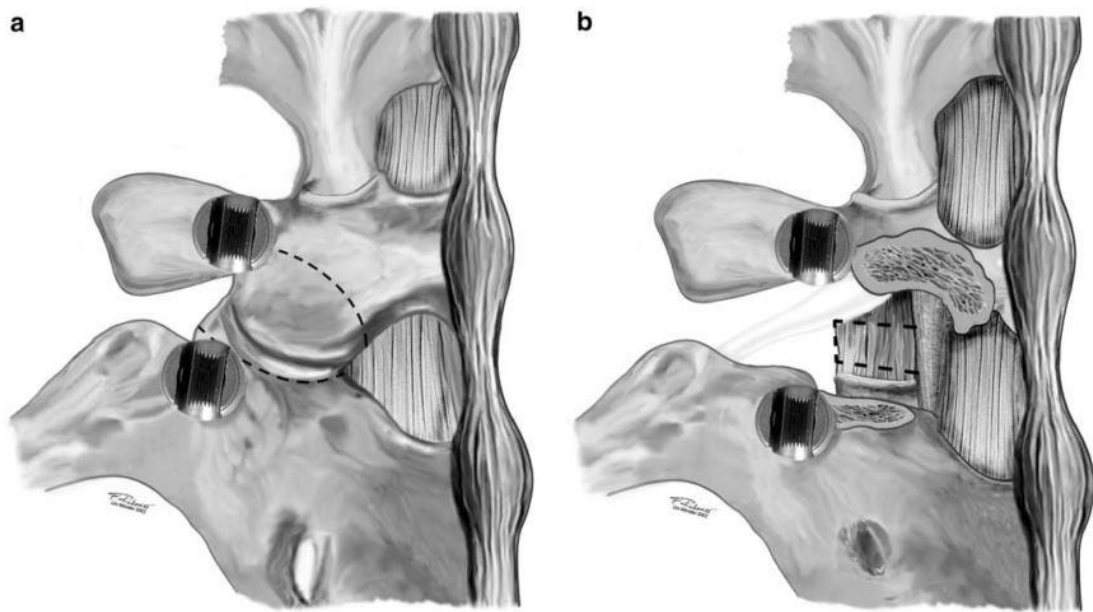


Abbildung 16: unilaterale Facettektomie zur Eröffnung des Neuroforamens¹³⁹

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 Studendesign

Die Patienten der vorliegenden Arbeit wurden im Zeitraum 2009 bis 2012 aufgrund einer degenerativen Wirbelsäulenerkrankung durch eine transforaminale lumbale interkorporelle Fusion monosegmental (L3/4 oder L4/5) oder bisegmental (L3-L5) in der Orthopädischen und Unfallchirurgischen Klinik des St. Marienkrankenhauses in Ludwigshafen am Rhein versorgt. Bei der klinischen Befragung war auffällig, dass das Studienkollektiv subjektiv noch eine Beschwerdehaftigkeit angegeben hat, die bei V.a. Vorliegen einer Non-Fusion oder mechanischer Komplikation (z.B. Schraubenlockerung, Cage subsidence etc.) die medizinische Notwendigkeit zur radiographischen Nachuntersuchung mit standardisierten Röntgenaufnahmen dargestellt hat. Diese Follow Up Aufnahme musste mindestens ein Jahr nach der Operation stattgefunden haben.

Die Studie erfolgte in Kooperation mit Signus Medizintechnik, die als Hersteller des Polyetheretherketon (PEEK) Cage Typ Mobis, mit dem alle Patienten intraoperativ versorgt worden sind, als auch als Sponsor der Fragebögen an der Studie beteiligt war.

Der untersuchte Cage ist seit 2006 mit CE Gütesiegel auf dem europäischen Markt verfügbar. Es liegen bislang keine publizierten Daten zum Fusionsverhalten des Mobis Cages vor.

Das Studiendesign entsprach den Vorgaben der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät Mannheim der Universität Heidelberg, die ein positives Votum zur Durchführung der Studie unter dem Zeichen 2013-549N-MA am 26.04.2013 gab. Alle Patienten, die an der Studie teilnahmen, wurden ausreichend über das Design informiert und unterschrieben eine Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Studie.

Es handelt sich um eine nicht-interventionelle retrospektive Beobachtungsstudie im Sinne der klinischen Versorgungs- bzw. Therapieforschung.

2.2 Patienten

2.2.1 Demographie

Das notwendige Datenmaterial zu den Studienteilnehmern wurde dem Krankenhausinformationssystem (ORBIS®, Agfa) des St. Marienkrankenhauses in Ludwigshafen am Rhein entnommen. 58 Patienten wurden hier im genannten Zeitraum in den Segmenten L3/4 und/oder L4/5 mit einer TLIF versorgt. Hiervon konnten 40 anhand der in **Tabelle 7**, Seite 32) aufgelisteten Einschlusskriterien in die Studie aufgenommen werden (20 Männer, 20 Frauen).

Zur Klärung des segmentabhängigen Fusionsverhaltens in L3/4 und L4/5 wurden die Patienten anhand des operierten Segments (L3/4 oder L4/5) in Gruppen unterteilt. Acht der 40 Patienten waren bisegmental in den Segmenten L3/4 und L4/5 operiert. Da bei der Frage des segmentabhängigen Fusionsverhaltens das Segment als Untersuchungseinheit festgelegt worden ist, wurde bei diesen Patienten L3/4 und L4/5

getrennt voneinander betrachtet. Somit wurden insgesamt 48 Segmente radiologisch ausgewertet, um die Fusionsergebnisse in den Segmenten L3/4 und L4/5 zu vergleichen.

Die Verteilung sowie die Demographie der Patienten je nach operiertem Segment ist in **Abbildung 17** und **Tabelle 4** dargestellt.

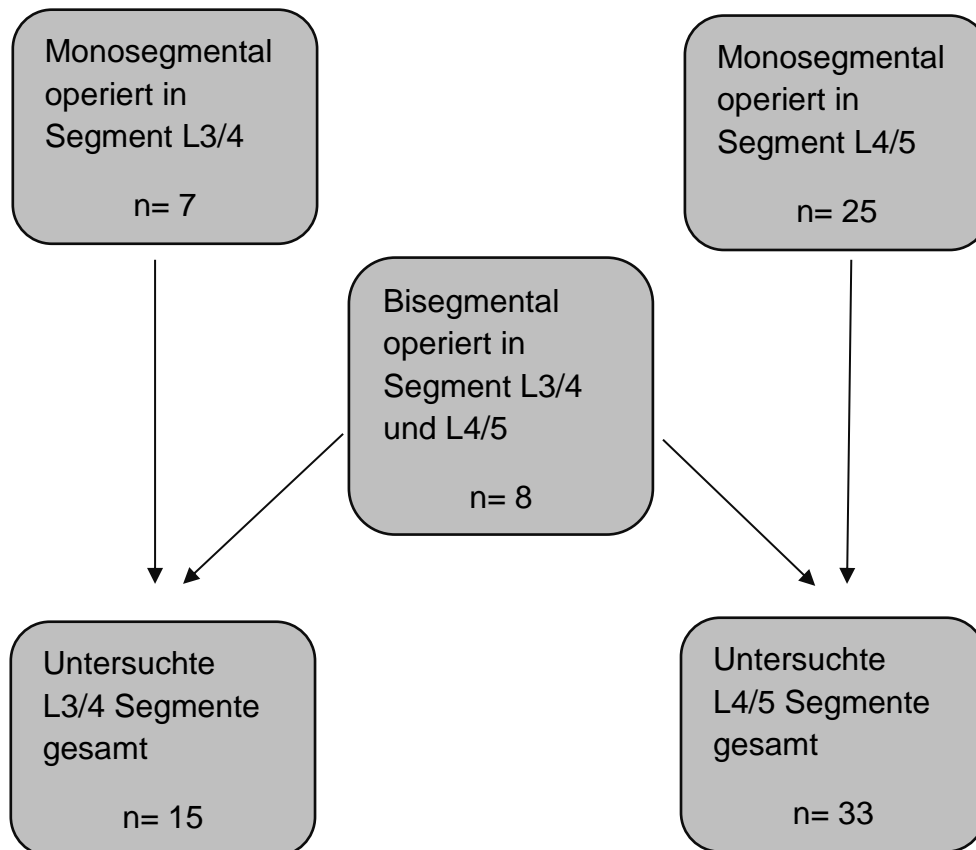


Abbildung 17: Übersicht über die Anzahl der operierten Segmente und Verteilung der bisegmental operierten Segmente auf die beiden zu untersuchenden Segmente L3/4 und L4/5

Tabelle 4: Demographie der Patienten, die in den Segmenten L3/4 (S1) und L4/5 (S2) operiert worden sind (S=Segment, Sd= Standardabweichung)

	Mittelwert	SD	Minimum	Median	Maximum
Gruppe S1 (n=15) m= 8 w= 7					
Alter zum Zeitpunkt der Op (Jahre)	67,7	8,4	51	69	82
Alter zum Zeitpunkt der radiologischen Auswertung (Jahre)	69,3	8,8	52	70	83
Follow up nach Op bis radiologische Auswertung (Monate)	24,8	9,5	12	23	45
Gruppe S2 (n=33) m= 18 w= 15					
Alter zum Zeitpunkt der Op (Jahre)	67,5	6,6	53	68	77
Alter zum Zeitpunkt der radiologischen Auswertung (Jahre)	69,4	6,6	55	70	80
Follow up nach Op bis radiologische Auswertung (Monate)	28,7	10,2	14	29	47

Neben der radiologischen Auswertung der Fusionsergebnisse beschäftigte sich die Studie zusätzlich mit dem klinischen Outcome. Hierbei wurden VAS- und ODI-Werte präoperativ und im Follow Up mittels Fragebögen evaluiert. Dadurch war es möglich einen Gruppenvergleich zu starten und die Korrelation von Fusionsergebnis und klinischem Outcome zu analysieren.

Bei dieser Fragestellung war die Anzahl der Patienten die Untersuchungseinheit. Von einer Patientin existieren keine Fragebögen, da diese keine ausfüllen wollte. Deshalb wurden hier 39 Patienten in die Auswertung aufgenommen (19 Frauen, 20 Männer).

Die Teilnehmer wurden ihrem Fusionsergebnis entsprechend in Gruppen aufgeteilt. Die Definitionen der einzelnen Gruppen sowie die Aufteilung der Studienteilnehmer auf diese, sind in **Tabelle 5** und **Abbildung 18** dargestellt.

Die Daten zur Demographie sind in **Tabelle 6** aufgeführt.

Gruppe F1 beinhaltetete alle Patienten, die in allen versorgten Segmenten (mono- oder bisegmental) eine Fusion aufwiesen.

In Gruppe F2 wurden alle Patienten zusammengefasst, die entweder monosegmental oder als Gesamtfusionsergebnis bei bisegmentaler Versorgung keine Fusion und auch keine stabile Pseudarthrose aufwiesen.

Gruppe F3 beinhaltetete alle Patienten, die entweder monosegmental oder als Gesamtfusionsergebnis bei bisegmentaler Versorgung keine Fusion, aber eine stabile Pseudarthrose aufwiesen.

Bei allen bisegmental operierten Patienten (n=8) zählte das jeweils schlechteste Fusionsergebnis der beiden Segmente als Gesamtfusionsergebnis des Patienten.

Die Studie verglich die Gruppen F1-F3 hinsichtlich der Veränderung der VAS- und ODI-Werte präoperativ zu Follow Up.

Tabelle 5: Übersicht über die Fusionsgruppen zum Vergleich des klinischen Outcomes

Gruppe	Definition
F1	In allen operierten Segmenten eine Fusion
F2	Monosegmental oder als Gesamtfusionsergebnis bei bisegmentaler Versorgung keine Fusion und auch keine stabile Pseudarthrose
F3	Monosegmental oder als Gesamtfusionsergebnis bei bisegmentaler Versorgung keine Fusion, aber stabile Pseudarthrose

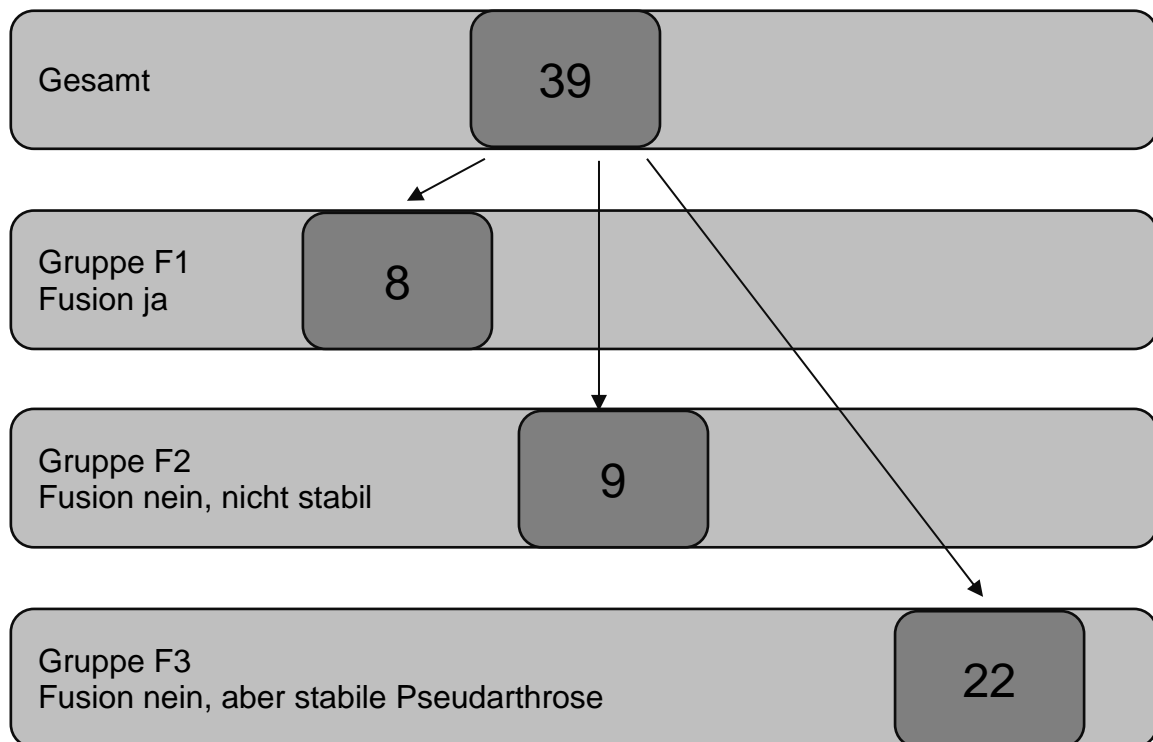


Abbildung 18: Übersicht über die Fusionsgruppen zur Auswertung der Korrelation Fusionsergebnis und klinisches Outcome: Gesamtpopulation (n=39), Gruppe F1 mit Fusion in allen versorgten Segmenten, Gruppe F2 mit keiner Fusion und keiner stabilen

Tabelle 6: Demographie der Fusionsgruppen (F1-F3), die zur Auswertung der Korrelation Fusionsergebnis und klinisches Outcome dienen

	Mittelwert	SD	Minimum	Median	Maximum
Gruppe F1 (n=8) m= 4 w= 4					
Alter zum Zeitpunkt der Op (Jahre)	64,3	7,3	51	65	75
Alter zum Zeitpunkt der F/U Röntgenaufnahme (Jahre)	65,8	7,7	52	66,5	78
Anzahl Monate von Op bis Fragebogenausfüllung	25,1	10,6	13	20,5	46
Anzahl Monate von Op bis F/U Röntgenaufnahme	25,4	10,7	13	21	46
Gruppe F2 (n=9) m= 6 w= 3					
Alter zum Zeitpunkt der Op (Jahre)	69,3	6,4	54	73	75
Alter zum Zeitpunkt der F/U Röntgenaufnahme (Jahre)	71,2	6,4	56	75	77
Anzahl Monate von Op bis Fragebogenausfüllung	28,2	9,2	14	30	42
Anzahl Monate von Op bis F/U Röntgenaufnahme	28,3	9,2	14	31	42
Gruppe F3 (n=22) m= 10 w= 12					
Alter zum Zeitpunkt der Op (Jahre)	67,3	8	52	68,5	82
Alter zum Zeitpunkt der F/U Röntgenaufnahme (Jahre)	69,2	8	53	70	83
Anzahl Monate von Op bis Fragebogenausfüllung	26,5	10,6	12	25	47
Anzahl Monate von Op bis F/U Röntgenaufnahme	27,4	10,9	12	25	47

Da bei den meisten Studienteilnehmern (n=22) eine Pseudarthrose als Fusionsergebnis zu erkennen war, wurden die beiden Gruppen F1 und F3 nochmals separat gegenübergestellt und hinsichtlich der Veränderung der VAS- und ODI-Werte präoperativ zu Follow Up verglichen. Dies diente der Analyse, ob das klinische Ergebnis von Patienten mit einer Pseudarthrose mit den Patienten, die eine Fusion aufwiesen, zu vergleichen ist.

2.2.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Die Einschlusskriterien sind in **Tabelle 7** dargestellt.

Tabelle 7: Einschlusskriterien

Einschlusskriterien
- Mindestalter von 18 Jahren
- TLIF im Segment L3/4 und/oder L4/5
- PEEK Cage Typ Mobis der Firma Signus Medizintechnik
- dorsale Stabilisierung mittels Fixateur intern (verwendete Schrauben-Stab Systeme Pangea® (bis 10/2011) und Matrix degen®, beide Synthes Germany, Umkirch und MonoPoly und Conclusion von Signus Medizintechnik, Alzenau, jeweils mit Titan Rod)
- mindestens ein Jahr nach der Operation F/U Röntgen erfolgt
- standardisierte Follow Up Röntgenaufnahme mind. 1 Jahr postoperativ

Zu Beginn der Studie wurden primär die Ausschlusskriterien, die in **Tabelle 8** dargestellt sind, festgelegt. Nach Patientenrekrutierung mussten diese aufgrund nicht ausreichender Patientenzahl nochmals kritisch überprüft werden, um eine erhöhte Anzahl an Studienteilnehmern zu erreichen. Somit wurden die ursprünglich festgelegten Kriterien nicht berücksichtigt.

Tabelle 8: Ausschlusskriterien

Ausschlusskriterien
- Raucher
- Diabetiker
- NSAR Einnahme
- Spondylodiszitis
- Revisionseingriffe nach vorausgegangener TLIF Prozedur
- Vorausgegangene interkorporelle Fusion in anderen Segmenten
- Über die TLIF Prozedur hinausgehende dorsale Instrumentierung

2.2.3 Operationsindikationen

Die Studie schloss durchweg Patienten mit symptomatischen degenerativen Erkrankungen der LWS, die sich durch konservative Maßnahmen nicht gebessert haben und deshalb operativ durch eine TLIF im Segment L3/4 und/oder L4/5 versorgt worden sind, ein (siehe **Tabelle 9**).

Tabelle 9: Bandscheibendegenerationen und deren Folgen als Operationsindikationen für TLIF L3/4 und/oder L4/5 2009 bis 2012 in der orthopädischen und unfallchirurgischen Klinik des St. Marienkrankenhauses in Ludwigshafen am Rhein

Operationsindikationen zur TLIF der vorliegenden Studie
- Degenerative Spinalkanalstenose
- Degenerative Spondylolisthesis
- Rezessusstenose
- Spondylarthrose
- Segmentosteochoondrose
- Restenosierung
- Degenerative Lumbalskoliose
- Postnukleotomiesyndrom
- Diskusdegeneration
- Anschlussdegeneration
- Implantatversagen nach Korrekturspondylodese

2.3 Operationstechnik der Studie

Die Operationstechnik der vorliegenden Studie richtete sich zum größten Teil nach der von Jürgen G. Harms und Dezö Jeszenszky im Jahre 1998 publizierten transforaminalen lumbalen interkorporellen Fusion¹¹.

Im Folgenden soll diese Operationsmethode, basierend auf oben genannter Quelle, erläutert werden. Zur Optimierung des Verfahrens wurden wenige Schritte im Laufe der letzten Jahre abgeändert. Die Operationstechnik dieser Studie war zum Teil ebenfalls an diesen Weiterentwicklungen orientiert.

Nach typischer Bauchlagerung auf einem Lagerungsbock in physiologischer LWS-Lordose erfolgte die Höhenlokalisierung des Operationsgebietes mittels Röntgen. Durch einen longitudinalen Mittellinienschnitt arbeitete sich der Operateur bis zur Faszie vor und löste diese von der Mittellinie ab, sodass auch die Rückenmuskulatur von den knöchernen Strukturen mobilisiert werden konnte¹²⁹. Nach Darstellung der Facettengelenke wurden zunächst Pedikelschrauben unter Röntgenkontrolle eingebracht (verwendete Schrauben-Stab-Systeme Pangea® bis 10/2011 und Matrix degen®, beide Synthes Germany, Umkirch und MonoPoly und Conclusion von Signus Medizintechnik, Alzenau, jeweils mit Titan Rod). Anschließend wurde eine osteoligamentäre Dekompression auf der symptomatischen Seite (Facettektomie, Laminotomie, Hemilaminektomie oder Laminektomie) durchgeführt. Nach Identifikation der zu entlastenden Nervenwurzel sowie der Segmentbandscheibe erfolgte die Medialisierung des Duralsacks durch einen Krayenbühl. Der Zwischenwirbelraum wurde mit einem Klingenmeißel eröffnet, der Anulus im

Zugangsbereich aufgeweitet und der Diskus sorgfältig entfernt. Die Grund- und Deckplatte der angrenzenden Wirbel wurde jeweils kürettiert und von Knorpel befreit. Bei geringer Bandscheibenhöhe wurde gegebenenfalls eine Distraction über die Schrauben ipsilateral (im Gegensatz zur Harmstechnik), der Dornfortsätze (wenn nicht zuvor reseziert) oder der kontralateralen Schrauben erwogen. Eine temporäre Längsträgereinbringung durch Harrington-Stäbe wie bei Harms erfolgte nicht.

Die Bestimmung der Cagegröße richtete sich nach der Größe des Probecages. Dieser wurde vorsichtig unter Röntgen-Kontrolle eingebracht und sollte nach Entfernung der Distraction eine „press fit“ Verankerung aufweisen. Der Original Cage wurde anschließend mit lokal angefallener Spongiosa aus der Dekompression befüllt und gegebenenfalls unter Distraction in den Zwischenwirbelraum eingebracht und ausgerichtet. Eine zusätzliche Bestückung des Zwischenwirbelraums mit Spongiosa erfolgte nicht. Anschließend wurde die Distraction entfernt und die Pedikelschrauben durch ein Stabsystem verbunden das zur Reposition und Stabilisierung dienen sollte^{7,129}.

Wenn die Segmentlordose in der perioperativen Röntgen-Kontrolle ausreichte, erfolgte keine zusätzliche Kompression, da der Cage bereits „press fit“ eingebracht worden ist. Auf eine posterolaterale Fusion sowie die Applikation von BMP wurde verzichtet. Diese Technik ist im Gegensatz zu der von Harms propagierten 360° Fusion eine 180° Fusion. Anschließend erfolgte der Wundverschluss über Fasziennaht, Subkutannaht und Hautnaht.

2.4 Klinische Evaluation

Von jedem Studienteilnehmer lagen jeweils zwei Fragebögen, die in Kooperation mit dem Sponsor der Studie angefertigt worden sind, zur Überprüfung der klinischen Ergebnisse vor. Eine Kopie der Fragebögen findet sich im Anhang dieser Arbeit (**Anhang 1**, **Anhang 2**). Diese beinhalteten die in der **Tabelle 10** aufgelisteten Instrumente und wurden den Patienten mit Informationsmaterial und zu unterschreibenden Einverständniserklärungen zugesandt.

Tabelle 10: Instrumente der Fragebögen zur Erfassung des klinischen Outcomes

Instrumente der Fragebögen
- ODI (Oswestry Disability Index)
- Million VAS (Visual Analog Scale: leg and back)
- PSI (Patient Satisfaction Index)
- COMI (Clinical Outcome Measurement Index)

Die Fragebögen erfassten die anfangs festgelegte pseudonymisierte Patienten-ID, das Geburts- und Operationsdatum sowie das Untersuchungsintervall im Follow Up. Die Patienten erhielten einen präoperativen Fragebogen, in dem sie die klinische Situation vor der Operation gedanklich retrospektiv rekonstruieren sollten und ein weiteres Exemplar mit den gleichen Fragen, das die aktuelle klinische Situation im Follow Up zeigte. Hierdurch war es möglich, die klinische Veränderung durch die

Operation zu evaluieren, bzw. das klinische Ergebnis mit dem radiologischen (Fusion/Keine Fusion) zu vergleichen.

Zur statistischen Auswertung der präoperativen klinischen Situation sowie im Follow Up wurde in der vorliegenden Studie der ODI und die VAS verwendet. Die Studie beschränkte sich lediglich auf diese Instrumente, da sie die gängigsten Selbsteinschätzungen darstellen. Die Daten des COMI und der PSI wurden zur Qualitätssicherung von der Firma Signus Medizintechnik verwendet und haben für die Auswertung dieser Studie keine Relevanz.

Der ODI wurde 1980 von Fairbanks et al.¹⁴⁰ entwickelt, um eine vergleichbare Evaluation bei Rückenschmerzen zu gewährleisten. Die Patienten schildern rein subjektiv ihr derzeitiges Befinden.

Er wird in zehn Fragen unterteilt, die sich auf die Einschränkung durch Schmerzen bei Alltagsaktivitäten beziehen. Jede Frage enthält sechs Antwortmöglichkeiten, die sich in der Intensität der Einschränkung zur vorherigen Antwortmöglichkeit steigern.

Auf die erste Antwort gibt es 0 Punkte, auf die sechste Antwort 5 Punkte. Diese Punkte werden am Ende addiert. Es sind insgesamt 50 Punkte möglich. Da die Frage 8 sich auf das Sexualleben bezieht und diese Angabe in dieser Studie freiwillig war, war die höchste Punktzahl des ODI 45 Punkte (100 %). Somit konnte eine prozentuale Veränderung der präoperativen Angaben gegenüber denen im Follow Up gemacht werden.

Der Million VAS besteht aus 15 Fragen zur Schmerzstärke und zum Schmerzcharakter¹⁴¹. Er erfragt ebenso die Beeinträchtigung beim Gehen, Stehen und Sitzen sowie Einschränkungen bei normalen Bewegungen, alltäglichen Aufgaben und die Möglichkeit einem normalen Arbeitsverhältnis nachzugehen.

Hierbei konnten die Patienten die Fragen mit Antwortmöglichkeiten zwischen 0 und 10 angeben. 10 beschrieb hierbei die schlimmsten Schmerzen, die sie sich vorstellen konnten. Ebenso wurde erfragt, ob die Studienteilnehmer zum Zeitpunkt der Befragung Schmerzmittel einnahmen.

Die Fragebögen wurden von 39 Patienten ausgefüllt und an die Studienzentrale zurückgesandt. Dort erfolgte das manuelle Übertragen der Antworten in die bereits vorgefertigte Tabelle. Diese beinhaltete die Patienten-ID, das Alter, Geschlecht, Operationszeitpunkt, Operationsindikation, operiertes Segment und eventuell aufgetretene intraoperative Komplikationen.

Während der Auswertung zeigte sich ein systematischer Fehler beim Ausfüllen der Fragebögen. Einige Teilnehmer füllten beide Bögen mit den gleichen Angaben aus und bezogen sich dabei auf den jetzigen Zeitpunkt postoperativ.

In der beiliegenden Patienteninformation wurde das Prozedere erläutert, es kam jedoch trotzdem zu diesem Missverständnis. Fiel dies bei der Auswertung auf, erfolgte die telefonische Nachbefragung zur Komplettierung der präoperativen Daten. Auf diesem Weg konnten auch weitere noch ungeklärte Fragen beantwortet werden.

2.5 Radiologische Evaluation

Bei der klinischen Evaluation zeigte sich bei 40 Studienteilnehmern eine subjektive Beschwerdehaftigkeit, die bei V.a. Vorliegen einer Non-Fusion oder mechanischer Komplikation (z.B. Schraubenlockerung, Cage subsidence etc.) die medizinische

Notwendigkeit zur radiographischen Nachuntersuchung mit standardisierten Röntgenaufnahmen dargestellt hat. Zur Auswertung mussten die Follow Up Röntgenaufnahmen unten genannten Standard erfüllen und mindestens ein Jahr postoperativ durchgeführt worden sein.

Diese Follow Up Aufnahmen wurden mit den prä- und postoperativen Aufnahmen der Studienteilnehmer verglichen die aus dem Archiv des St. Marienkrankenhauses Ludwigshafen am Rhein entnommen worden sind, um den segmentbezogenen Unterschied im Fusionsverhalten von L3/4 und L4/5 zu bestimmen sowie eine Korrelation zum klinischen Outcome herzustellen.

Tabelle 11: Standard der Follow Up Röntgenaufnahmen

Standard Follow Up Röntgenaufnahme	
-	Röntgen LWS in 2 Ebenen (anterior-posterior und lateral)
-	im Stehen
-	Abbildung beider Hüftköpfe
-	Zentralstrahl auf LWK 4 (Indexsegmente L3/4 und L4/5)
-	Funktionsaufnahmen der LWS (In- und Reklination)

2.6 Auswertungssoftware

Alle Röntgenbilder wurden dem Programm Agfa Webviewer Version 2.14.8 über das PACS System des St. Marienkrankenhauses in Ludwigshafen am Rhein entnommen und als JPEG-Datei abgespeichert. Diese Formatierung war notwendig, um die Dateien mit dem Programm Surgimap© für Windwos (© 2016 Namaris, Inc. All rights reserved. Surgimap© is a Namaris, Inc. product., Version 2.2.9.9.5) entsprechend der Vorgaben im radiologischen Auswertungsbogen auszuwerten.

2.7 Auswertungsbogen und erfasste Parameter

Zur radiologischen Auswertung diente ein Auswertungsbogen (siehe **Anhang 3**), der eigens für die Studie erstellt worden ist. Er gliederte sich in sieben Unterpunkte (siehe **Tabelle 12**).

Tabelle 12: Unterpunkte des radiologischen Auswertungsbogens

Unterpunkte des radiologischen Auswertungsbogens	
-	Allgemeine Informationen zum Studienteilnehmer
-	Eventuell vorkommende Knochenerkrankungen
-	Fusionskriterien inklusive Position des Cages
-	Zwischenwirbelraumhöhe
-	Spinopelvine Parameter
-	Coronares Profil
-	Anschlusssegmente

Zwei voneinander unabhängige Untersucher führten die Auswertung der prä-, post- und F/U-Aufnahmen anhand dieser Auswertungsbögen durch.

Der Kopf des Bogens enthielt die allgemeinen Informationen, wie Name des Untersuchers und die Patienten-ID, die zur Pseudonymisierung festgelegt worden ist. Außerdem wurde das Datum der Röntgenuntersuchung sowie der Auswertung eingetragen. Die Untersuchungsgruppe musste ebenfalls angekreuzt werden. Handelte es sich um Patienten, die bisegmentel operiert worden sind, sollte für jedes Segment jeweils ein Bogen verwendet und dies dementsprechend markiert werden. Außerdem war es möglich die Firmen der Schraubenimplantate sowie die Höhe des PEEK Cages der Firma Signus Medizintechnik dem Operationsbericht zu entnehmen und ebenfalls auf dem Bogen einzutragen.

Eventuell zu beobachtende Knochenerkrankungen in den F/U Aufnahmen sollten ebenfalls dokumentiert werden. Hierbei spielten in der vorliegenden Studie vor allem degenerative und osteoporotische Veränderungen eine Rolle. Außerdem wurde die die Position des Cages und das Fusionsergebnis bestimmt und eingetragen. Da zum damaligen Zeitpunkt keine einheitliche radiologische Definition einer interkorporellen Fusion existierte^{21,123}, wurden die Fusionskriterien in Anlehnung an die Kriterien nach Abbushi²¹ und McAfee¹²³ (siehe **Tabelle 13**) festgelegt.

Tabelle 13: Fusionskriterien in Anlehnung an Abbushi¹⁸ (Knochenbrücke, keine Aufhellung um den Cage, keine Segmentinstabilität) und McAfee¹¹³ (keine Cagemigration, fehlende Osteolyse, keine Schraubenlockerung)

Fusionskriterien der vorliegenden Studie	
-	Knochenbrücke zwischen Grund- und Deckplatte innerhalb des Cages
-	Knochenbrücke zwischen Grund- und Deckplatte außerhalb des Cages
-	Keine sichtbare Aufhellung um den Cage
-	Keine sichtbare Segmentinstabilität in den Funktionsaufnahmen
-	Keine Cagemigration: kein Absenken, keine Dislokation, keine Rotation
-	Fehlende Osteolyse der Cagebefüllung
-	Keine Schraubenlockerung

Durch die intraoperative Befüllung des Cages mit Spongiosa war das wichtigste Fusionskriterium eine sichtbare Knochenbrücke zwischen den angrenzenden Deck- und Bodenplatten^{5,21-23}.

Dies war der erste Punkt, auf den bei der Auswertung zu achten war und konnte durch einen Vergleich der postoperativen mit den F/U Aufnahmen erfolgen.

Ein wichtiger Nebenfaktor, der gegen eine Fusion sprach, war eine Cagelockerung. Dies konnte in den F/U Aufnahmen durch einen Lysesaum um den Cage erkannt werden. Die Definition hierfür war eine neu aufgetretene Aufhellung um den Cage im Vergleich zu den postoperativen Aufnahmen. Mit der gleichen Methode ließ sich auch eine Schraubenlockerung feststellen. Dies lies auf eine mangelnde Stabilisierung im Segment und somit niedrigere Fusionswahrscheinlichkeit schließen.

War keine Knochenbrücke zu sehen, konnte auf dem Bogen markiert werden, ob es im Vergleich zu den Voraufnahmen zu einer Osteolyse der Cagebefüllung gekommen ist.

Da eine interkorporelle Fusion die beiden angrenzenden Segmente stabilisiert, sollte in den Funktionsaufnahmen beim Vergleich von Inklination gegen Reklination kein Aufklappen des Segments um mehr als 3° zu erkennen sein. Hierzu wurde zunächst in Reklination der Winkel gemessen, der durch die Grund- und Deckplatte, die an den Cage angrenzen, gebildet wird. Dann wurde das gleiche in der Inklinationsaufnahme gemessen. Hierbei durfte keine Zunahme des Winkels um mehr als 3° zu erkennen sein. Der Bereich zwischen 0-3° wurde als möglicher Messfehler definiert. Jeder Winkel über 3° wurde als Aufklappen des Segments bezeichnet, was gegen eine Fusion sprach.

Ebenfalls war es notwendig, den genauen Ort des Cages postoperativ und im F/U sowie die Richtung einer eventuell aufgetretenen Cagemigration anzugeben. Abbushi²¹ untersuchte nämlich den Einfluss der Cage Position auf die Fusionsraten und erkannte hier Zusammenhänge.

Um die genaue Position des Cages in den postoperativen und den F/U Aufnahmen zu bestimmen, wurden die Zwischenwirbelräume in vier Teile gegliedert (**Abbildung 19**). War der Cage im ap-Röntgenbild in den beiden äußeren 1/4 zu erkennen, wurde dies als links oder rechts lateral bezeichnet. Lag er in den beiden inneren 1/4, wurde dies als links oder rechts mediolateral definiert. Wurde der Cage zum größten Teil genau in die Mitte projiziert, wurde dies als medial bezeichnet

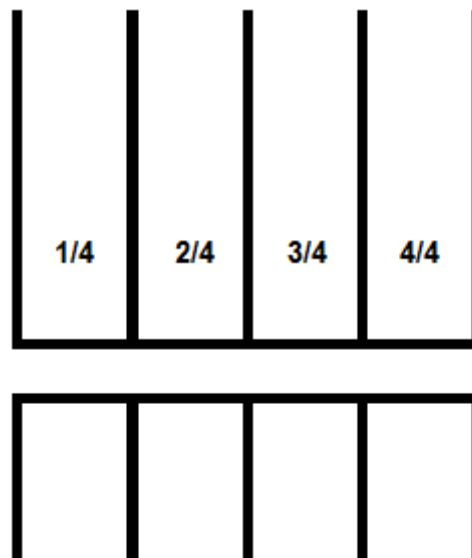


Abbildung 19: Definition Cage Position bei radiologischer Auswertung anhand von Röntgenbildern

Mit dieser Einteilung konnte bei Vergleich der postoperativen mit den F/U Aufnahmen eine Dislokation bestimmt werden.

Eine Cagerotation wurde anhand der Lage der Titanmarker im Cage bestimmt.

Eine Einsenkung des Cages wurde definiert als Kortikalisunterbrechung des angrenzenden Wirbelkörpers durch den Cage.

Um die Fusionsfrage letztendlich zu bestimmen, waren also alle aufgeführten Parameter beteiligt. War keine Knochenbrücke, ein Aufklappen im operierten Segment oder eine Dislokation bzw. Migration des Cages im Vergleich zu den postoperativen Aufnahmen zu erkennen, wurde nicht von einer Fusion ausgegangen.

Bei einigen Patienten stellte sich jedoch heraus, dass zwar keine Knochenbrücke zu erkennen war, jedoch auch keine Dislokation bzw. Migration stattgefunden hat und ebenfalls kein Aufklappen in den Funktionsaufnahmen zu erkennen war. Dieser Zustand wurde ebenfalls als „keine Fusion“ beschrieben, erhielt jedoch die Zusatzbezeichnung „stabile Pseudarthrose“.

Es wurde vermutet, dass sich um das Implantat Gewebe gebildet haben muss das den Cage in seiner Position hielt und eine segmentale Stabilität ermöglichte.

Die radiologische Auswertung wurde durch zwei voneinander unabhängigen Untersuchern durchgeführt, die den Standard der Auswertung vorher eingehend besprochen hatten.

Nach Zusammentragen der Ergebnisse stellte man fest, dass die Untersucher in der Fusionsfrage nicht grundsätzlich übereinstimmten. Deshalb kam es zu einer Konsensfindung. Hierbei begutachteten die beiden Untersucher die Röntgenbilder erneut zusammen bei denen eine Uneinigkeit bestand. Am Ende kamen sie zu einer übereinstimmenden Lösung. Diese Ergebnisse wurden in die Auswertung aufgenommen.

Dieser Unterpunkt des radiologischen Auswertungsbogens war der einzige, dessen Ergebnisse in die statistische Analyse aufgenommen worden sind.

Im Folgenden sollen die anderen Parameter ebenfalls kurz erläutert werden, da sie in der aktuellen Literatur und der späteren Diskussion ebenfalls eine Rolle spielen. Die Ergebnisse dieser Parameter wurden aber nicht zur statistischen Analyse verwendet.

Ebenfalls wurde die Zwischenwirbelraumhöhe für alle drei Zeitpunkte bestimmt (siehe **Abbildung 20**). Hierzu wurde zunächst das craniale und caudale Alignment bestimmt und der Verlauf nach kaudal, bzw. kranial, an Hand einer gedachten Linie rekonstruiert. Entlang dieser gedachten Linien wurde ventral (a) und dorsal (b) jeweils die Zwischenwirbelraumhöhe gemessen. Anschließend wurden diese beiden Werte addiert und der Mittelwert (Mw ZWR-Höhe) berechnet.

$Mw \text{ (ZWR-Höhe)} = (a+b)/2$.

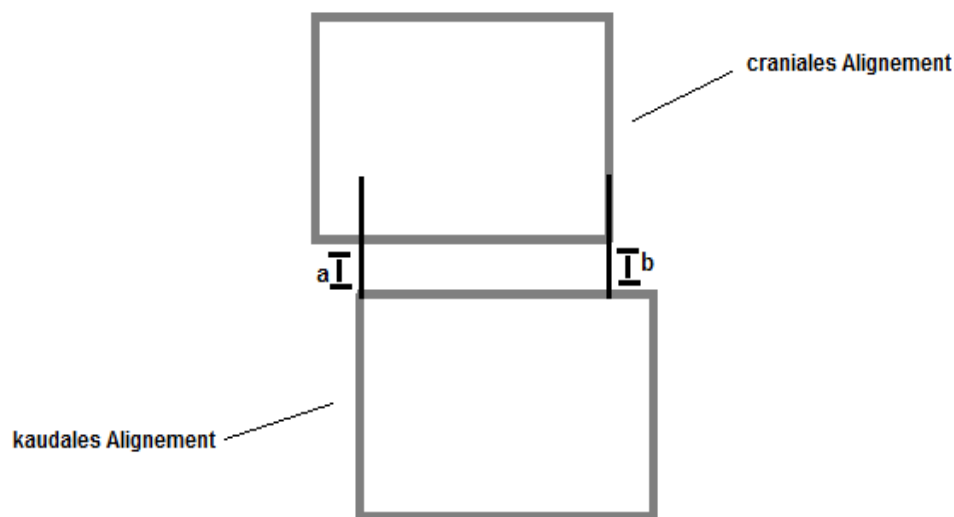


Abbildung 20: Berechnung Zwischenwirbelraumhöhe

Dieser Parameter wurde unter dem Aspekt gemessen, dass hierdurch ein Einbrechen des Cages beobachtet werden kann. Bleibt die Zwischenwirbelraumhöhe gleich, kann dies ebenfalls Rückschlüsse auf eine erfolgreiche interkorporelle Fusion zulassen. Aufgrund von Projektionsfehlern kam es jedoch häufig zu Überlagerungseffekten. Somit kam es bei der Messung zu Diskrepanzen zwischen gemessener ZWR-Höhe und der Höhe des eingesetzten Cages, die als Vergleichsparameter diente. Deshalb wurde dieser Parameter als nebenbefundliche Zielgröße dokumentiert, aber in die statistische Analyse nicht aufgenommen.

Ebenfalls wurden die Spinopelvinen Parameter gemessen (siehe **Abbildung 21**, **Abbildung 22**). Hierzu gehörten die Lendenlordose, Segmentlordose, Sacral Slope, Pelvic tilt und Pelvic incidence.

Die Lendenlordose wurde als Winkel zwischen der Deckplatte L1 und dem Promontorium gemessen.

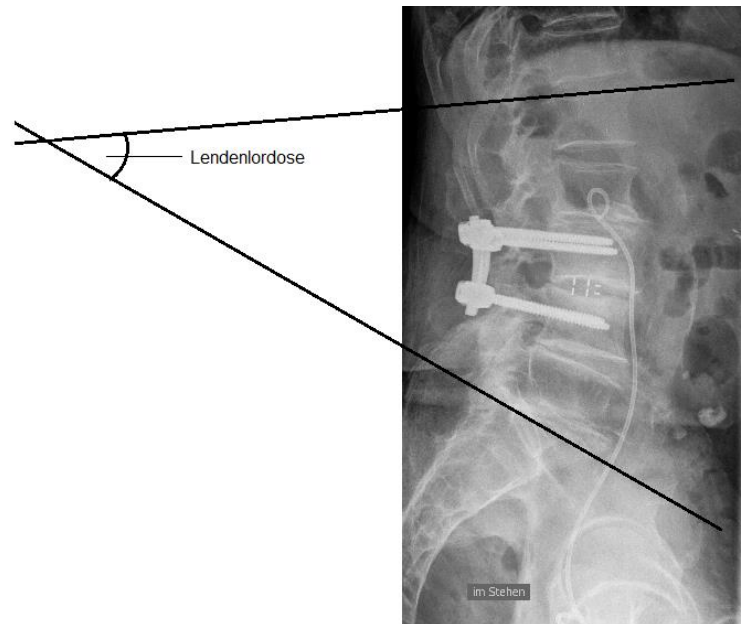


Abbildung 21: Bestimmung der Lendenlordose

Die jeweiligen Segmentlordosen wurden zwischen Deckplatte des oberen und Grundplatte des unteren, angrenzenden Segments bestimmt.

Als Sacral Slope (SS) ist der Winkel zwischen Promontorium und der Horizontalen definiert.

Die Pelvic tilt (PT) ist ein Winkel zwischen einer Senkrechten, die durch das Hüftkopfbereich geht, und der Strecke zwischen Hüftkopfbereich und Promontoriummitte.

Die Pelvic incidence (PI) ist eine Konstante. Sie wird als Winkel zwischen der Strecke zwischen Hüftkopfbereich und Promontoriummitte und einer Senkrechten die im rechten Winkel zum Promontorium steht, bezeichnet.

Mit der Formel $PI = PT + SS$ ließen sich diese Parameter ebenfalls berechnen.

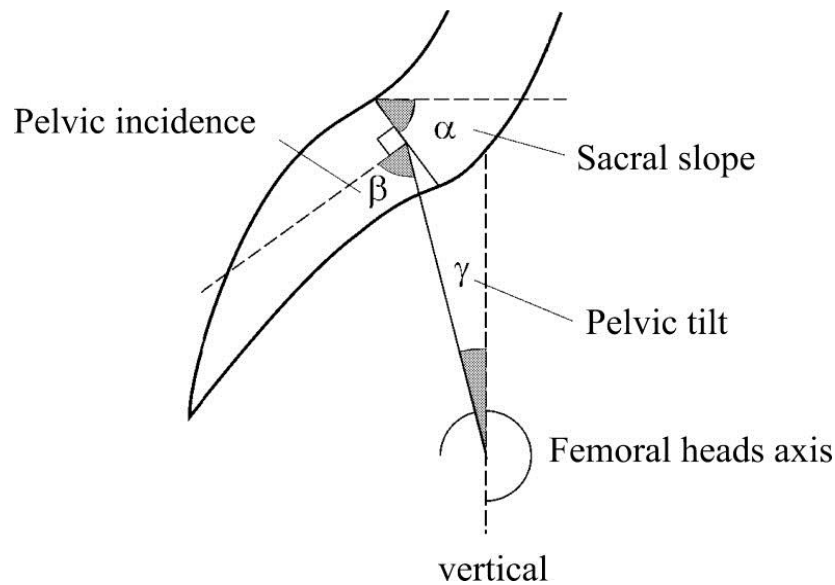


Abbildung 22: Messung der spinopelvinen Parameter¹⁴²

Die Beeinflussung dieser Parameter durch eine Spondylodese bzw. Fusion sowie das Verhalten bei Implantatversagen oder anderen Komplikationen sollte hier betrachtet werden. Bei der Auswertung fiel jedoch auf, dass sich die prä-, post und F/U Aufnahmen in einigen Fällen unterschieden. Aufgrund dessen fehlten in manchen Fällen anatomische Strukturen, die zur Messung dieser Parameter wichtig waren. Oft war nicht die komplette lumbale Wirbelsäule oder das Hüftkopfbereich abgebildet. Deshalb gab es nur wenige Studienteilnehmer bei denen zu allen drei Zeitpunkten diese Parameter messbar waren.

Da die Auswertung dieser Parameter nur Sinn macht, wenn sie jeweils prä-, postoperativ und im F/U zu messen sind, wurden diese Angaben ebenfalls nicht mit in die Auswertung aufgenommen.

Das coronare Profil lässt sich ausschließlich beurteilen, wenn die komplette lumbale Wirbelsäule betrachtet werden kann. Dies war in den meisten Fällen nicht möglich. Somit wurden diese Parameter nicht zur Auswertung der Studie herangezogen.

Bei der radiologischen Auswertung sollte ebenfalls ein Augenmerk auf die Nachbarsegmente der versorgten Segmente gelegt werden. Hierbei sollte geschaut werden, ob eine Anschlussdegeneration vorbestehend, postoperativ neu aufgetreten oder progredient war. Diese Betrachtung wurde jedoch letztendlich nicht in die statistische Analyse mit aufgenommen.

2.8 Statistische Analyse

Die statistische Analyse wurde durch das Institut „p-Wert“ in Jena von Hiltrud Niggemann (diplomierter Statistikerin) durchgeführt.

Zur statistischen Datenaufbereitung und -auswertung wurde das Programm Stata\IC 13.1 for Windows (www.stata.com, StataCorp 4905 Lakeway Drive, College Station, Texas 77845 USA) verwendet.

Kategoriale Daten wurden mittels absoluter und relativer Häufigkeit bestimmt.

Mit dem exakten Fisher-Test wurde die Unabhängigkeit von Fusion und Segment (L3/4 bzw. L4/5) getestet. Mit einer Odds Ratio wurde die Chance für eine Fusion bei L4/5 mit der Chance bei L3/4 verglichen.

Die Korrelation Fusionsergebnis und klinisches Ergebnis wurde empirisch mit Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum und Maximum beschrieben.

Mittels Wilcoxon-Rangsummentest für verbundene Stichproben wurde die Nullhypothese, dass die Verteilung des VAS/ODI prä- und postoperativ gleich ist, getestet.

Der Kruskal-Wallis-Test hat die Nullhypothese, dass sich die Fusionsgruppen hinsichtlich der Verteilung der Veränderung (Differenz post- und präoperativ) unterscheiden, getestet.

Mittels Mann-Whitney-U-Test wurde die Nullhypothese getestet, dass sich die Gruppen Pseudarthrose und Fusion nicht hinsichtlich der Verteilung der Veränderung (Differenz prä- und postoperativ) unterscheiden.

Wo es grundsätzlich angebracht war, wurden statistische Grafiken zur Visualisierung der Ergebnisse erstellt. Das Signifikanzniveau wurde auf 5 % festgelegt.

3 ERGEBNISSE

3.1 Besonderheiten

Eine Studienteilnehmerin zeigte im F/U eine zusätzliche Instrumentierung im Segment L4/5 und L5/S1, gehörte aber zur Gruppe S1. Es zeigte sich hier postoperativ nach TLIF im Segment L3/4 zunächst eine zufriedenstellende Verbesserung der Symptome. Im Verlauf war jedoch eine erneute linksbetonte Claudicatio spinalis und ein tiefsitzender Rückenschmerz zu beobachten. Bei sichtbarem Progress der Osteochondrose in L4/5 und L5/S1 und Affektion des linken Recessus in L4/5 im MRT, wurde die Indikation zur Dekompression L4/5 sowie Uminstrumentierung von L3 auf S1 gestellt. Die klinische und radiologische Auswertung dieser Patientin ist unter dem Aspekt der Ausweitung des TLIF erfolgt. Da die erste Operation im genannten Untersuchungszeitraum lag, wurde die Patientin in die Studie aufgenommen.

Ein anderer Patient zeigte im F/U einen erweiterten TLIF und Cageeinbruch im Segment L3/4. Er gehörte zur Gruppe S2, da das Segment L4/5 zuerst operiert worden ist und in dem genannten Nachuntersuchungszeitraum stattfand.

Ein weiterer Studienteilnehmer, der zur Gruppe S1 gehörte, wies in den präoperativen Aufnahmen bereits eine Instrumentierung in L3/4 auf.

Drei Studienteilnehmer waren bereits voroperiert und mussten nun an dem gleichen Segment erneut operiert werden. Die Reoperation war demnach ein TLIF mit Fusion und PEEK-Cage Einlage.

Eine Studienteilnehmerin erhielt eine Revision im Segment L3/4 bei Zustand nach dorsaler Korrekturspondylodese mit unilateraler Dekompression L3/4 rechts. Damals wurde auf eine Fusion aufgrund mangelnder Zwischenwirbelraumhöhe verzichtet. Im postoperativen Verlauf zeigte sich aber ein Materialversagen der Längsstangen, Schraubenlockerungen und -dislokationen.

Der andere Patient war bereits drei Jahre zuvor am Segment L4/5 auf der linken Seite dekomprimiert worden.

Der dritte Teilnehmer wurde am Segment L4/5 mit einem TLIF versorgt, nachdem er zuvor eine Nukleotomie rechts erhalten hatte.

Bei der präoperativen Auswertung wurden bei zwei Patienten präoperative Myelografien zur Auswertung hinzugezogen, da dies die einzigen präoperativen Aufnahmen waren. Bei einem Studienteilnehmer existierten keine präoperativen Aufnahmen. Dies hatte aber keinen Einfluss auf die Auswertung.

Von zwei Patienten existierten keine postoperativen Aufnahmen. Hier konnten keine Aussagen zu Osteolyse, der Cagebefüllung und Cagemigration gemacht werden. Diese Parameter konnten somit nicht zur Bewertung der Fusion verwendet werden. Anhand der Funktionsaufnahmen war jedoch eine Aussage bezüglich der Fusion möglich.

Von zwei Patienten existierten keine Funktionsaufnahmen.

Bei einem Patienten war schon in der postoperativen Aufnahme ein Absinken des Cages zu erkennen.

3.2 Perioperative Komplikationen

Intraoperativ zeigten sich bei 33 der 40 Studienteilnehmer keine Komplikationen. Bei 17,5 % wurden in den Operationsberichten folgende Komplikationen dokumentiert (siehe **Tabelle 14**).

Bei einem Patienten wurde das vordere Längsband durchtrennt. Bei zwei Patienten wurde eine Schraubenfehlage beschrieben. Einmal wurde intraoperativ beim Kürettieren die Deckplatte des LWK 5 beschädigt, wodurch es zu einer Fehlplatzierung des Cages kam, da er nicht bis zur Mittellinie vorgeschoben werden konnte.

Aufgrund asymmetrischer Degenerationen konnte bei einem anderen Patienten der Cage ebenfalls nicht weiter vorgeschoben werden, da er im Zwischenwirbelraum verklemmte.

In einem anderen Fall kam es durch nicht ausreichende Präparation des Bandscheibenfachs zu einem Einbruch des Cages.

Bei einem anderen Studienteilnehmer kam es zu einer Dura Leckage während der Operation und Verletzung eines Nervenbündels. Der Cage brach intraoperativ ein, wodurch er weiter nach dorsal gezogen und dort platziert worden ist.

Tabelle 14: Intraoperative Komplikationen

Intraoperative Komplikationen	Anzahl
Durchtrennung vorderes Längsband	1
Schrauben nicht zentral durch die Pedikel ins Wirbelkörperzentrum platziert	2
Schädigung der Deckplatte des angrenzenden Wirbelkörpers	1
Fehlplatzierung Cage	2
Dura Leckage	1
Verletzung Nervenbündel	1
Cageeinbruch	2
Anzahl Komplikationen	10
Anzahl Patienten, auf die sich die Komplikationen verteilen	7 (17,5 %)

Postoperativ kam es im Rahmen der radiologischen Auswertung zur Beurteilung von Schraubenlockerungen und Cagemigrationen in den versorgten Segmenten (n=48) (siehe **Tabelle 15**).

Wie bereits erwähnt gab es zwei Untersucher, die die postoperativen und Follow Up Röntgenaufnahmen auswerteten und verglichen (siehe oben).

Sie beschrieben eine Schraubenlockerung in 3 resp. 10 Segmenten (6,2 % resp. 20,8 %). Im Mittel zeigte sich also in 6,5 Segmenten (13,4 %) eine Schraubenlockerung.

Die Cagemigration (Einsenkung, Dislokation, Rotation) konnte lediglich in 46 Segmenten untersucht werden, da nur von 38 Patienten postoperative Aufnahmen existierten.

Eine Cageeinsenkung nach kaudal oder kranial zeigte sich in 25 resp. 30 Segmenten (54,3% resp. 65,2 %). Im Mittel zeigte sich also in 27,5 Segmenten (59,6 %) eine Cageeinsenkung.

Eine Cagedislokation nach anterior oder posterior zeigte sich in 7 resp. 15 Segmenten (15,2 % resp. 32,6 %). Im Mittel zeigte sich also in 11 Segmenten (23,9 %) eine Cagedislokation.

Eine Cagerotation nach rechts oder links zeigte sich in 10 resp. 17 Segmenten (21,7% resp. 37 %). Im Mittel zeigte sich also in 13,5 Segmenten (29,4 %) eine Cagerotation.

Tabelle 15: Postoperative Komplikationen: Beobachtete Schraubenlockerungen und Cagemigration (Einsenkung, Dislokation, Rotation) beim Vergleich der postoperativen und Follow Up Röntgenbilder

Komplikation	Anzahl untersuchte Segmente	Untersucher 1: Segmente mit Komplikation	Untersucher 2: Segmente mit Komplikation	Mittelwert Segmente mit Komplikation
Schraubenlockerung	48	10 (20,8 %)	3 (6,2 %)	6,5 (13,5 %)
Cage Einsenkungen	46	30 (65,2 %)	25 (54,3 %)	27,5 (59,6 %)
Cagedislokation	46	15 (32,6 %)	7 (15,2 %)	11 (23,9 %)
Cagerotation	46	10 (21,7 %)	17 (37,0 %)	13,5 (29,4 %)

3.3 Begleiterkrankungen der Wirbelsäule

Bei insgesamt 21 Patienten wurden Begleiterkrankungen der Wirbelsäule notiert (52,5 %).

Acht Patienten (20 %) wiesen eine sichtbare Osteopenie auf. Bei fünf Patienten (12,5 %) war eine diffuse idiopathische Skeletthyperostose (DISH, Morbus Forestier) zu erkennen. Davon hatte ein Teilnehmer ebenfalls eine Osteoporose und ein anderer eine Läsion der Deckplatte des LWK 4. Insgesamt zeigte sich eine Osteoporose bei zwei Studienteilnehmern (5 %). Ein Patient (2,5 %) hatte als Grunderkrankung eine Spondylitis ankylosans (Morbus Bechterew) mit Ausweitung der Spondylodese von ursprünglich L4/5 auf L3/4. Vier Patienten (10 %) wiesen eine Spondylosis deformans auf. Zwei weitere Patienten (5 %) wiesen eine sechs-gliedrige Wirbelsäule auf. Dies ist zwar keine Begleiterkrankung, sollte aber erwähnt werden.

3.4 Segmentbezogenes Fusionsverhalten

Anhand der genannten Kriterien wurden 48 Segmente röntgenologisch auf Fusionen überprüft: 15 L3/4 Segmente und 33 L4/5 Segmente.

Die Ergebnisse sind in **Tabelle 16** dargestellt.

Nach dem Erarbeiten der Fusionsergebnisse und Konsensfindung wurden letztendlich am Ende im Segment L3/4 fünf Fusionen (33,3 %) und in zehn Segmenten keine Fusion beschrieben.

In L4/5 wurden ebenfalls fünf Fusionen (15,2 %), aber in 28 Segmenten keine Fusionen beschrieben.

Somit ergab sich eine Gesamtzahl an Fusionen verteilt auf die 48 Segmente von insgesamt zehn (20,8 %).

Mit dem exakten Fisher-Test wurde getestet, ob Fusion und Segment (L3/4 bzw. L4/5) unabhängig sind.

Es bestand keine signifikante Abhängigkeit zwischen Fusion und Segment (p-Wert=0,249)

Mit einer Odds Ratio wurde die Chance für eine Fusion bei L4/5 mit der Chance bei L3/4 verglichen. Es deutete sich bei einer Odds Ratio von 0,36 an, dass die Chance für eine Fusion beim Segment L4/5 kleiner ist als bei L3/4.

Tabelle 16: Häufigkeit einer Fusion und segmentbezogenes Fusionsverhalten

Segment	Anzahl der Segmente	keine Fusion	Fusion	Odds Ratio	p-Wert*
L3/4	15	10 (66,7 %)	5 (33,3 %)	Ref. 0,36 (0,08- 1,57)	
L4/5	33	28 (84,8 %)	5 (15,2 %)		
insgesamt	48	38 (79,2 %)	10 (20,8 %)	-	0,249

*des exakten Fisher-Tests

3.5 Korrelation Fusion und klinisches Ergebnis

Für die Fusionsgruppen F1-F3 ist die Deskription der VAS- und ODI-Werte präoperativ und im Follow Up sowie die Veränderung (Differenz Follow Up zu präoperativ) im Folgenden dargestellt (**Tabelle 17**, **Tabelle 18**).

Tabelle 17: Deskription VAS Werte der Fusionsgruppen (F= Fusionsgruppe, Mw= Mittelwert, Sd=Standardabweichung)

Gruppe		n	Mw	Sd	Median	Min-Max
F1: Fusion	Präoperativ	8	8,1	1,0	8,0	7-10
	Follow Up	8	2,9	3,9	1,5	0-10
	Differenz	8	-5,3	4,3	-7,0	-9-3
F2: keine Fusion, nicht stabil	Präoperativ	9	6,7	2,1	7,0	3-9
	Follow Up	9	2,9	2,1	2,0	1-7
	Differenz	9	-3,8	2,5	-4,0	-8-0
F3: keine Fusion, stabil	präoperativ	22	7,0	2,4	8,0	2-10
	Follow Up	22	2,5	2,5	2,0	0-8
	Differenz	22	-4,6	3,6	-5,0	-10-2

Tabelle 18: Deskription ODI Werte [%] der Fusionsgruppen (F= Fusionsgruppe, Mw= Mittelwert, Sd=Standardabweichung)

Gruppe		n	Mw	Sd	Median	Min-Max
F1: Fusion	Präoperativ	8	50,3	17,2	53,3	24,4-75,6
	Follow Up	8	19,2	19,0	11,1	0,0-59,9
	Differenz	8	-31,1	27,8	-44,4	-53,3-22,2
F2: keine Fusion, nicht stabil	Präoperativ	9	42,2	11,6	44,4	24,4-57,8
	Follow Up	9	14,8	9,6	15,6	2,2-33,3
	Differenz	9	-27,4	14,4	-28,9	-44,4-8,9
F3: keine Fusion, stabil	präoperativ	22	52,9	19,9	51,1	24,4-95,6
	Follow Up	22	20,4	16,3	17,8	0-62,2
	Differenz	22	-32,5	27,2	-34,4	-84,4-26,7

Die Werte auf der VAS verbesserten sich von 6,6-8,1 präoperativ auf 2,5-2,9 im Follow Up. Dies war eine durchschnittliche Verbesserung von 4,5 auf der visuellen Analogskala.

Die ODI Werte zeigten eine Besserung von ursprünglich 52,9-42,2 % auf 19,2-14,8 % und somit eine durchschnittliche Besserung um 31,1 %.

Es erfolgte der statistische Test zum präoperativ und Follow Up Vergleich im Gesamtkollektiv.

Mit dem Wilcoxon Rangsummentest für verbundene Stichproben wurde ein signifikanter Unterschied der ODI und VAS-Werte präoperativ zum Follow Up gezeigt (p-Wert<0.001).

Daraufhin erfolgte der statistische Test der Nullhypothese, dass die Veränderung der VAS- und ODI-Werte präoperativ zu Follow Up in den drei Gruppen gleich war.

Der Vergleich der drei Gruppen untereinander mit dem Kruskal-Wallis Test zeigte keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Verteilung der Veränderung der VAS- und ODI-Werte (Differenz Follow Up zu präoperativ) (p-Wert (VAS)= 0,466, bzw. p-Wert (ODI)= 0,654).

Das Fusionsergebnis hatte somit keinen signifikanten Einfluss auf das klinische Outcome, gemessen am VAS und ODI.

3.6 Korrelation Pseudarthrose und klinisches Ergebnis

Bei der größten Anzahl der Patienten (F3= 22) wurde eine Pseudarthrose festgestellt. Es erfolgte der Vergleich der VAS und ODI Werte präoperativ zu Follow Up der Gruppen F1 (n= 8) und F3 (n= 22). Dieser ist im Folgenden dargestellt (**Tabelle 19**, **Tabelle 20**).

Tabelle 19: Klinisches Ergebnis bei Patienten mit Pseudarthrose (Gruppe F3)

Gruppe F3		n	Mw	Sd	Median	Min-Max
ODI	präoperativ	22	52,9	19,9	51,1	24,4-95,6
	Follow Up	22	20,4	16,3	17,8	0-62,2
	Differenz	22	-32,5	27,2	-34,4	-84,4-26,7
VAS	Präoperativ	22	7,0	2,4	8,0	2-10
	Follow Up	22	2,5	2,5	2,0	0-8
	Differenz	22	-4,6	3,6	-5,0	-10-2

Tabelle 20: Klinisches Ergebnis bei Patienten mit Pseudarthrose und Patienten mit Fusion

Klinisches Ergebnis		n	Mw	Sd	Median	Min-Max	
ODI	F3: Pseudarthrose	prä	22	52,9	19,9	51,1	24,4-95,6
		post	22	20,4	16,3	17,8	0-62,2
		Differenz	22	-32,5	27,2	-34,4	-84,4-26,7
ODI	F1: Fusion	prä	8	50,3	17,2	53,3	24,4-75,6
		post	8	19,2	19,0	11,1	0-59,9
		Differenz	8	-31,1	27,8	-44,4	-53,3-22,2
VAS	F3: Pseudarthrose	prä	22	7,0	2,4	8,0	2-10
		post	22	2,5	2,5	2,0	0-8
		Differenz	22	-4,6	3,6	-5,0	-10-2
VAS	F1: Fusion	prä	8	8,1	1,0	8,0	7-10
		post	8	2,9	3,9	1,5	0-10
		Differenz	8	-5,3	4,3	-7,0	-9-3

Mit dem Mann-Whitney-U-Test wurde getestet, dass sich die beiden Gruppen nicht hinsichtlich der Verteilung der Veränderung der VAS- und ODI-Werte (Differenz Follow Up zu präoperativ) unterscheiden.

Es zeigte sich keine statistische Signifikanz der Veränderung der VAS- Werte in den Gruppen F3 und F1 (p-Wert= 0,571). Ebenfalls zeigte sich keine statistisch signifikante Veränderung der ODI-Werte in den Gruppen F3 und F1 (p-Wert= 0,573).

4 DISKUSSION

4.1 Bewertung der Ergebnisse

4.1.1 Segmentbezogenes Fusionsverhalten

Die transforaminale lumbale interkorporelle Fusion hat sich als etabliertes Verfahren in der Behandlung der degenerativen Wirbelsäulenerkrankungen durchgesetzt^{26,112,122}.

Die gängigen Studien untersuchten jedoch grundsätzlich das generelle Fusionsverhalten (siehe **Tabelle 2**, Seite 23). In der vorliegenden Studie wurde das segmentbezogene Fusionsverhalten untersucht, da die biomechanischen Gegebenheiten in jedem Segment unterschiedlich sind, um eventuell unterschiedliche Erfolgsraten der Operation aufzudecken.

40 Patienten, die in den Segmenten L3/4 und L4/5 mit einer TLIF versorgt worden sind und ein Jahr postoperativ eine standardisierte Röntgenaufnahme erhielten, wurden röntgenologisch auf eine interkorporelle Fusion untersucht. Da acht Patienten bisegmental operiert worden sind, ergab sich eine Gesamtzahl von 48 untersuchten Segmenten. Diese verteilten sich auf 15 L3/4 Segmente und 33 L4/5 Segmente.

In insgesamt 10 Segmenten zeigte sich eine Fusion (20,8 %). Hiervon waren fünf Fusionen in L3/4 und fünf in L4/5 zu sehen. Somit ergab sich für die Segmente ein Fusionsergebnis von 33,3 % (L3/4) bzw. 15,2 % (L4/5).

Die Studie zeigte keine signifikante Abhängigkeit zwischen Fusion und Segment (p -Wert= 0,249). Es deutet sich jedoch an, dass die Chance für eine Fusion im Segment L4/5 kleiner ist als in L3/4 (OR= 0,36).

Es ist möglich, dass bei größerer Anzahl an Studienteilnehmern, vor allem im Segment L3/4, eine höhere Odds Ratio, bzw. Signifikanz hätte erreicht werden können. Vorallem die Gruppe der Patienten, die in L3/4 operiert worden sind, war sehr klein und erschwerte einen signifikanten Vergleich.

Die Segmente L3/4 und L4/5 verteilten sich jedoch in einem Verhältnis von 1:2,2. Dies deckte sich laut Benchmarking Report des DWG Registers von 2015¹⁴³ mit der Versorgungsrealität in Deutschland.

Gründe für diese Verteilung sind die Schwerkraft und die unterschiedlichen Segmentlordosen, die zu einer höheren Anfälligkeit für degenerative Erkrankungen im weiter kaudal liegenden Segment führen. Außerdem untersuchten Yoshioka et al.⁴⁸ die Bewegungsumfänge der lumbalen Segmente von 61 Patienten anhand von Funktionsaufnahmen. Sie zeigten, dass in LWK 4 die größte Flexion/Extension möglich ist. Der LWK 5 wies die größte Rotationsfreiheit auf.

Das Ergebnis dieser Studie zeigt Diskrepanzen zu den o.g. biomechanischen Überlegungen. Durch die unterschiedlichen Lordosewinkel und der nach kaudal zunehmenden Schwerkraft, wie es eingangs im Kapitel 1.3, Seite 5 „Biomechanik des Bewegungssegments“ beschrieben worden ist, war anzunehmen, dass die Fusionsergebnisse in den einzelnen Segmenten abweichen können. Dies war jedoch nicht der Fall.

Ein Vergleich mit anderen Studien konnte nicht gemacht werden, da eine solche Studie nach Kenntnis der Verfasserin dieser Studie bisher nicht existierte. Es konnte lediglich die Gesamtfusionsrate verglichen werden.

Es wurden insgesamt lediglich 10 Fusionen (20,8 %) beschrieben. Ein signifikanter Vergleich des segmentabhängigen Fusionsverhaltens mag bei einer solch geringen Anzahl kaum möglich sein.

Vergleicht man das Fusionsergebnis aller Segmente mit der Literatur, zeigt sich eine große Diskrepanz.

Eine Metaanalyse von Wu et al.⁹⁷ untersuchte 16 Studien zu Fusionsraten von offenen TLIF-Operationen. Sie kamen zu einem Gesamtergebnis von 90,9 %.

Wären solch hohe Fusionsraten ebenfalls in dieser Studie zu beobachten gewesen, hätte womöglich ein besserer Vergleich des segmentabhängigen Fusionsverhaltens stattfinden können, da insgesamt mehr fusionierte Segmente miteinander hätten verglichen werden können.

Es muss einige Faktoren gegeben haben, die das Fusionsergebnis der vorliegenden Studie negativ beeinflusst haben und dadurch einen Vergleich des segmentabhängigen Fusionsverhaltens aufgrund mangelnder Fallzahlen erschwert haben.

Auf diese wird im Verlauf der Diskussion weiter eingegangen.

4.1.2 Klinisches Outcome und Korrelation mit Fusionsergebnis

Wichtiges Ziel der Fusion ist die Schmerzreduzierung¹¹. Dies erfolgt zum einen durch Dekompression der Nervenwurzeln und zum anderen durch Ruhigstellung des jeweiligen Segments durch eine interkorporelle Fusion. Es wird vermutet, dass die Rückenschmerzen bei degenerativen Wirbelsäulenerkrankungen bewegungs- und belastungsabhängig sind^{10,16-19}. Deshalb kann eine Ruhigstellung des Segments zu einer Verbesserung der Schmerzen führen.

Da die Fusionsergebnisse dieser Studie lediglich 20,8 % betragen, steht dies in Diskrepanz zu oben genannter These. Somit wurde neben der radiologischen Auswertung ebenfalls eine klinische durchgeführt. Die visuelle Analogskala diente hierbei zur Beschreibung der Schmerzreduktion. Der Oswestry Disability Index wurde zur Beschreibung der Funktionsbesserung genutzt.

Den Fusionsergebnissen entsprechend wurden drei Fusionsgruppen gebildet: F1: Fusion ja, F2: Fusion nein, F3: Fusion nein, aber stabil durch Pseudarthrose.

Es erfolgte der Vergleich der Veränderung der VAS- und ODI-Werte der drei Gruppen präoperativ zu Follow Up.

Im Mittel zeigte sich in allen drei Gruppen eine Verbesserung der VAS-Werte von 6,6-8,1 präoperativ auf 2,5-2,9 im Follow Up. Dies war eine durchschnittliche Verbesserung von 4,5 auf der visuellen Analogskala.

Die ODI Werte zeigten eine Besserung von ursprünglich 52,9-42,2 % auf 19,2-14,8 % und somit eine durchschnittliche Besserung um 31,1 %.

Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Fusionsgruppen (p-Wert (VAS)= 0,46, bzw. p-Wert (ODI)= 0,654).

Da die Pseudarthroserate sehr hoch war (56,4 %), wurde ein direkter Vergleich der Veränderung der VAS- und ODI-Werte zwischen Pseudarthrosegruppe (F3) und Fusionsgruppe (F1) durchgeführt.

Hier zeigte sich ebenfalls kein signifikanter Unterschied der klinischen Ergebnisse präoperativ zum Follow Up (p-Wert (VAS)= 0,571, bzw. p-Wert (ODI)= 0,573).

Buttermann et al.¹⁴⁴ zeigten drei Jahre nach lumbalen Fusionen bei degenerativen Erkrankungen eine Verbesserung des ODI von 63 % auf 33 %.

Fritzell et al.⁸ gaben zwei Jahre postoperativ eine Verbesserung des ODI von 47,3 % auf 35,7 % an. Sie untersuchten Patienten, die aufgrund chronischer Rückenschmerzen mit unterschiedlichen Fusionstechniken behandelt worden sind. Die Studie von Hackenberg et al.¹¹² untersuchte das klinische Outcome nach transforaminaler lumbaler interkorporeller Fusion. Sie zeigten eine Verbesserung des VAS von 8,3 auf 4,8 und des ODI von 58,4 % auf 37 % nach 2 Jahren. Lowe et al.¹⁴⁵ kamen auf ein ähnliches Ergebnis. Hier zeigte sich im Mittel eine Verbesserung des VAS nach drei Jahren von ursprünglich 8,3 auf 5,1. Yan et al.¹⁴⁶ verglichen die klinischen Ergebnisse der TLIF und PLIF miteinander. Sie zeigten für die TLIF eine durchschnittliche Verbesserung des VAS von 7,18 auf 2,84. Lauber et al.¹²² untersuchten die Ergebnisse idiopathischer und degenerativer Spondylolisthesen. Hierbei zeigte er bei letzterem eine Verbesserung des ODI von 27,6 % präoperativ auf 20 % nach zwei Jahren. Genauso existieren Studien zum klinischen Outcome bei minimalinvasiven Spondylodese-Verfahren. Hier konnten Rouben et al.⁸⁷ bei minimal-invasiv durchgeführter TLIF eine Verbesserung des VAS und ODI von 39-42 % bzw. 36-41 % zeigen. Kim et al.⁸⁹ zeigten bei Patienten, die bei degenerativen Spondylolisthesen eine minimal-invasive TLIF erhielten eine Besserung der VAS von 7-5,8 auf 3,5-3,7 und des ODI von 61,7 % auf 21,5 %. Schwender et al.⁹⁰ zeigten ähnliche Ergebnisse (VAS von 7,2 auf 2,1 und ODI von 46 % auf 14 %).

Es ist zu erkennen, dass das klinische Ergebnis der vorliegenden Studie mit den bereits publizierten Daten korreliert.

Auch weitere Studien zeigen, dass es durch eine interkorporelle Fusion zu einer deutlichen Verbesserung der Klinik kommt^{4,5,24-26,112,122,146,147}.

Jedoch geben diese Studien meistens gute klinische Ergebnisse in Verbindung mit Fusionsraten um die 90 % an (siehe **Tabelle 2**, Seite 23). Hierbei beziehen sich die klinischen Ergebnisse meistens auf das Gesamtkollektiv und es wird selten zwischen Fusion und keiner Fusion unterschieden^{5,104}.

In der vorliegenden Studie ist die Fusionsrate wesentlich geringer (20,8 %). Trotzdem zeigten die Studienteilnehmer bis auf fünf Ausnahmen eine Besserung des klinischen Ergebnis (87,2 %). Dennoch zeigten sich bei allen Patienten zwar eine Besserung aber weiterhin eine subjektive Beschwerdehaftigkeit weshalb die Follow Up Röntgenaufnahme durchgeführt worden ist. Patienten ohne subjektive Beschwerdehaftigkeit erhielten diese nicht und wurden in die Studie nicht aufgenommen. Gleichzeitig wollten jedoch auch einige Patienten auf Grund mangelnder Zufriedenheit nicht an der Studie teilnehmen. Von insgesamt 58 Patienten konnten 40 in die Studie aufgenommen werden.

22 Patienten (56,4 %) zeigten nach durchschnittlich 27,4 Monaten eine Pseudarthrose im Röntgenbild.

Diese Rate ist im Vergleich zu anderen Studien sehr hoch. Hier wird die Pseudarthroserate bei TLIF mit 2-10 % als eher gering eingestuft^{4,99,112,129,147}.

Harms und Jeszenszky¹¹ beschrieben sie in 3,1 % der Fälle.

Jedoch macht es bei einer so hohen Anzahl an Pseudarthrosen und den Ergebnissen der klinischen Auswertung den Anschein, dass eine Pseudarthrose ausreicht, um die klinische Symptomatik der Patienten zu verbessern. Hierzu existieren Studien, die die Hypothese aufgestellt haben, dass es fibröse Neubildungen geben muss die zur Stabilisierung des Segments ausreichen, dass sich die Patienten postoperativ klinisch

verbessern^{28,148,149}. Diese Theorie wird durch Studien unterstützt, die das klinische Ergebnis von Patienten mit negativem Fusionsergebnis untersuchten.

Fischgrund et al.¹⁴⁸ verglichen das klinische Outcome und das Fusionsergebnis bei Patienten mit und ohne Verwendung von Pedikelschrauben. Die Verwendung von Pedikelschrauben verhalf zu höheren Fusionsraten. 55 % der Patienten ohne dorsale Instrumentierung wiesen eine Pseudarthrose auf. Diese war definiert als unterbrochene Knochenbrücke interkorporell sowie ein Aufklappen des Segments um $>2^\circ$ in den Funktionsaufnahmen. Alle Patienten mit Pseudarthrose zeigten ein zufriedenstellendes klinisches Ergebnis.

De Palma und Rothman¹⁵⁰ verglichen zwei Gruppen nach interkorporeller Fusion. Die eine Gruppe zeigte im Follow Up eine Pseudarthrose, die andere wies eine durchgehende Knochenbrücke auf. In Bezug zu Rückenschmerzen gab es zwar eine Tendenz, dass letztere bessere klinische Ergebnisse aufwiesen. Diese war jedoch nicht signifikant. Ebenfalls war in beiden Gruppen in der Zeitspanne bis die Patienten ihrer ursprünglichen Arbeit und Aktivitäten nachgehen konnten kein Unterschied zu erkennen.

Herkowitz et al.¹⁵¹ untersuchten ebenfalls das klinische und radiologische Ergebnis von Patienten, die alle dekomprimiert worden sind. Nur ein Teil jedoch hatten eine dorsale Stabilisierung erhalten. 36 % der Patienten wiesen am Ende eine Pseudarthrose auf. Es wurde jedoch bei allen ein gutes bis exzellentes klinisches Ergebnis beschrieben.

Eine Metaanalyse von Mardjetko et al.¹⁵² untersuchte unterschiedliche operative Behandlungsmethoden der degenerativen Spondylolisthese. Hierbei wurden verschiedene Fusionsraten beobachtet. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied beim Vergleich der klinischen Ergebnisse der Operationsmethoden und ihren unterschiedlichen Fusionsraten.

Eine prospektive Studie von Diedrich et al.¹⁵³ untersuchte klinisch und radiologisch 64 Patienten nach einer PLIF. Auch hier fanden sie keine signifikante Korrelation zwischen Fusionsergebnis und klinischem Outcome.

Faundez et al.¹⁵⁴ verglichen die klinischen und radiologischen Ergebnisse von ALIF und TLIF. Dabei zeigten sie durch Auswertung von CT-Bildern eine Pseudarthroserate von 23,1 % nach einer TLIF. Diese war ebenfalls höher als in den anderen Studien. Sie erklärten dies durch strengere Bewertungskriterien. Dennoch zeigte sich hier eine Verbesserung des ODI um 39,5 %.

Studien zeigen also, dass bei Fusionsraten von 90 % sehr gute klinische Ergebnisse zu erwarten sind^{4,5,24-26,112,122,146,147}. Postoperativ bewerten 70-80 % der Patienten die Behandlung durch eine TLIF als gut bis exzellent^{9,145,147,154}.

Kornblum et al.¹⁴⁹ untersuchten hierzu in einer Langzeitstudie die Auswirkungen einer Pseudarthrose auf die Klinik. Dabei zeigte sich bei Erreichen einer Fusion zwar ein besseres klinisches Langzeitergebnis, jedoch nicht automatisch ein sehr schlechtes Ergebnis bei einer Pseudarthrose.

Somit ist ein negatives Fusionsergebnis, bzw. eine Pseudarthrose, nicht automatisch mit einem negativen klinischen Outcome gekoppelt^{28,148-152,154}.

Das gewählte Instrument zur klinischen Evaluation spielt ebenfalls eine Rolle.

Howe und Frymoyer¹⁵⁵ untersuchten den klinischen Erfolg lumbaler Wirbelsäulenoperationen mit 14 unterschiedlichen Scores. Hierbei wurden zum einen subjektive Daten verwendet wie VAS und Zufriedenheit, zum anderen funktionelle Kriterien wie ODI, Analgetikaapplikation, Wiederaufnahmen der Arbeit usw.. Die Ergebnisse variierten von 60 bis 97 %.

Fünf Studienteilnehmer (12,8 %) der vorliegenden Untersuchung zeigten keine Besserung der Klinik im Follow Up im Hinblick auf VAS und ODI.

Die radiologische Auswertung dieser fünf Patienten zeigte in zwei Fällen eine Fusion und in drei Fällen eine Pseudarthrose. Die genauen Gründe, die für die schlechtere Klinik verantwortlich sein könnten, sind nicht bekannt.

Ebenfalls wäre es interessant gewesen die Evaluation der klinischen Ergebnisse mit VAS und ODI durch die Patientenzufriedenheit zu erweitern. Obwohl dieses Instrument in den Fragebögen vorhanden war wurde es auf Grund lückenhafter Ausfüllung der Studienteilnehmer nachträglich nicht mit in das Studiendesign aufgenommen und lediglich zur Auswertung für die Firma Signus Medizintechnik, Alzenau verwendet.

4.2 Einflussfaktoren

4.2.1 Patientengut

Die Auswahl der Studienteilnehmer der vorliegenden Studie hat einen großen Einfluss auf das Fusionsergebnis und das klinische Outcome^{156–159}. Neben der bereits erwähnten geringen **Anzahl** an Studienteilnehmern existieren weitere patientenbezogene Faktoren, die bei Betrachtung der klinischen Ergebnisse berücksichtigt werden müssen und eine Erklärung für die geringen Fusionsraten sein können.

Zu Beginn der Studie wurden primär folgende Ausschlusskriterien festgelegt: Nikotinabusus, Diabetes mellitus, NSAR, Spondylodiscitis, Revisionseingriffe nach vorausgegangener TLIF, vorausgegangene interkorporelle Fusion, weitere Spondylodese postoperativ im Verlauf.

Da die Patientenzahl nach Patientenrekrutierung nicht ausreichte, mussten diese Kriterien erneut kritisch überprüft werden, um eine erhöhte Anzahl an Studienteilnehmern zu erreichen. Somit wurden die ursprünglich festgelegten Ausschlusskriterien nicht berücksichtigt. Aufgrund dessen wurde ein sehr inhomogenes Patientenkollektiv beobachtet.

Im Folgenden wird dargestellt, warum genau diese Vernachlässigung der Ausschlusskriterien der Hauptfaktor sein kann, der zu den geringen Fusionsraten dieser Studie geführt haben.

Das Durchschnittsalter der Teilnehmer dieser Studie lag bei $67,7 \pm 8,4$ (L3/4) bzw. $67,5 \pm 6,6$ Jahren. Wu et al.⁹⁷, dessen Ergebnisse bereits erwähnt wurden, kamen auf ein Durchschnittsalter von 48,7 Jahren.

Da im höheren **Alter** mit einer stetigen Abnahme der Mineralisierung des Knochens zu rechnen ist, kann sich dies negativ auf das Einwachsverhalten der mit Spongiosa bestückten Cages auswirken, da der Knochen mit zunehmendem Alter an Regenerationsfähigkeit verliert^{36,37,106,160}.

Lowe et al.¹⁴⁵ rieten sogar davon ab bei osteopenen Knochen eine TLIF durchzuführen, da es durch die intraoperativen Distractionen zu Schraubenbrüchen kommen kann.

In der vorliegenden Studie wurde bei der radiologischen Auswertung notiert, wenn aufgrund geringer Knochendichte im Röntgenbild eine Osteopenie vermutet wurde. Eine exakte Knochendichtemessung wurde weder präoperativ noch im Follow Up

durchgeführt. Bei acht Patienten (20 %) zeigte sich eine Osteopenie. Zwei Patienten hatten bereits im Vorfeld eine diagnostizierte Osteoporose. Somit waren 10 Patienten (25 %) durch eine nicht zufriedenstellende **Knochenstruktur** vorbelastet.

Bei fünf Patienten (12,5 %) zeigte sich eine diffuse idiopathische Skeletthyperostose. Dies muss bei der klinischen Evaluation dieser Patienten beachtet werden, da Rückenschmerzen und Bewegungseinschränkungen auch durch die Hyperostosen bedingt sein kann.

Im Alter steigt die Zahl der **Komorbiditäten**. Diese beeinflussen das klinische Ergebnis nach Wirbelsäulenfusionen. Vor allem muskuloskelettale und kardiovaskuläre Begleiterkrankungen wirken sich negativ aus^{87,161,162}. Diese wurden in der vorliegenden Studie nicht erfasst.

Da die klinischen Ergebnisse im Vergleich zu den Fusionsergebnissen aber sehr gut waren, spielte das Alter in dieser Studie aufgrund der schlechten Knochenstruktur wohl eher eine größere Rolle beim Erreichen der Fusion, als bei Verbesserung des klinischen Outcomes. Studien von Fokter et al.¹⁶³ und Galiano et al.¹⁶⁴ belegen dies. Dies könnte die geringe Fusionsrate erklären.

Neben dem Alter haben Faktoren wie **Diabetes mellitus**, **Übergewicht**, NSAR- und/oder **Steroideinnahme**, **Rheumatoide Arthritis**, und **Nikotinabusus** eine negative Auswirkung auf das Fusionsergebnis und begünstigen Implantatversagen^{4,13,115–119}. Diese Faktoren wurden bei der Auswertung nicht erfasst. Somit wurden Patienten die vermutlich diese Nebendiagnosen hatten in die Studie eingeschlossen. Dies könnte ebenfalls ein Grund für die geringe Fusionsrate sein.

Ebenfalls ist zu beachten, dass zwei Patienten in den Follow Up Röntgenaufnahmen eine Ausweitung des TLIF's auf die Anschlusssegmente zeigten.

Einer dieser Patienten hatte zunächst eine TLIF im Segment L3/4, weshalb er in die Studie aufgenommen worden ist. Zunächst zeigte sich bei ihm eine zufriedenstellende Verbesserung der Symptome. Im Verlauf kam es zu einer erneuten linksbetonten Claudicatio spinalis und einem tiefsitzenden Rückenschmerz. Bei sichtbarem Progress der Osteochondrose in L4/5 und L5/S1 und Affektion des linken Recessus in L4/5 im MRT, wurde die Indikation zur Dekompression L4/5 und Uminstrumentierung von L3 auf S1 gestellt. Aufgrund der ersten Operation und der Aufhebung der Ausschlusskriterien, wurde der Patient in die Studie aufgenommen und das Fusionsverhalten im Segment L3/4 und das klinische Outcome nach allen Operationen evaluiert.

Der andere Studienteilnehmer stellte sich im Follow Up mit einer erweiterten TLIF im Segment L3/4 vor. Die vorausgegangene Operation im Segment L4/5 war Gegenstand der Studie.

Hier wurde eine stabile Pseudarthrose im Segment L4/5 beobachtet, jedoch keine Besserung des klinischen Outcomes. Dies ist vermutlich durch ein Zusammenspiel von einem beobachteten Cageeinbruch im Segment L3/4 sowie der Grunderkrankung des Patienten (Morbus Bechterew) zu erklären.

Somit wurden zwei Patienten in die Studie eingeschlossen, die zum Zeitpunkt des Ausfüllens der Fragebögen und Aufnahme der Follow Up Röntgenaufnahmen eine Erweiterung der TLIF auf die Anschlusssegmente hatten.

Die Ergebnisse dieser Patienten sind unter Berücksichtigung dieser **Folgeoperationen** zu sehen.

Beide wiesen keine Fusion im jeweiligen Segment auf, dafür aber eine zufriedenstellende Klinik. Dies lässt vermuten, dass die Erweiterung der Spondylodesen notwendig war, um klinisch eine Verbesserung zu erreichen.

Die Patienten wurden nicht von der Studie ausgeschlossen, da die zusätzlichen Operationen in einem Zeitraum nach den relevanten TLIF's stattgefunden hatten, in dem eine erste knöchernen Durchbauung des Cages stattgefunden haben sollte. Zusätzlich wurde in der vorliegenden Studie die Erweiterung der Spondylodesen nicht als Nachteil für die knöchernen Fusion aufgefasst, da hierdurch eine erweiterte Stabilisation der lumbalen Segmente gegeben ist, die die Fusion unterstützen kann. Da generell wenig Fusionen beschrieben worden sind, bleibt es fraglich, ob bei diesen Patienten ohne die Anschlussoperationen eine Fusion hinsichtlich der spinalen Komorbiditäten stattgefunden hätte.

Zahlreiche Studien zeigen, dass **voroperierte** Patienten schlechtere klinische Ergebnisse vorweisen^{156,165,166}. In der vorliegenden Studie gab es drei Patienten, die an den untersuchten Segmenten bereits operiert worden sind.

Ein Studienteilnehmer hatte bereits präoperativ im Segment L3/4 eine Instrumentierung. Hier wurde damals aufgrund einer geringen ZWR-Höhe auf eine Fusion verzichtet. Postoperativ kam es aber zu einem Versagen der Längsstangen mit Lockerung und Dislokation, sodass eine Revision mit TLIF in diesem Segment stattfand, die Gegenstand der Studie war.

Dieser Patient wies im Segment L3/4 eine Fusion auf, zeigte aber kein zufriedenstellendes klinisches Ergebnis.

Weitere zwei Patienten waren ebenfalls an den jeweiligen Segmenten voroperiert. Einer erhielt bereits präoperativ eine unilaterale Dekompression, der andere eine Nukleotomie. Bei beiden wurde radiologisch eine stabile Pseudarthrose sowie ein gutes klinisches Ergebnis evaluiert.

Ein Vergleich zu nicht voroperierten Patienten fand nicht statt. Deshalb kann diese Überlegung nicht aufgegriffen werden. Das Endergebnis zeigt aber, dass bis auf eine Ausnahme bei den voroperierten sowie im Follow Up erneut operierten Studienteilnehmern eine Besserung des klinischen Zustands erreicht werden konnte, unabhängig vom Fusionsergebnis.

Von zwei Patienten existieren keine Funktionsaufnahmen. Bei der Auswertung zeigten sich zwar keine knöchernen Fusionsbrücken, jedoch war es aufgrund der fehlenden Funktionsaufnahmen nicht möglich die Segmentstabilität zu beurteilen und eine eventuell bestehende stabile Pseudarthrose zu identifizieren. Diese beiden Patienten wurden somit zur Gruppe F2 gezählt.

Zu beachten ist ebenfalls, dass acht Patienten bisegmental operiert worden sind.

Hierbei wurden die Segmente als Untersuchungseinheit gewählt und getrennt betrachtet.

Bei keinem der bisegmental operierten Patienten war zu beobachten, dass ein Segment fusioniert und das jeweils andere nicht fusioniert ist.

Durch die dorsale Verschraubung werden die beiden Segmente zwar miteinander verbunden und das Fusionsergebnis des jeweils anderen wird beeinflusst, die Kraftverteilung auf die Zwischenwirbelräume bleibt trotzdem unterschiedlich durch die abweichenden Segmentlordosen. Somit entsteht zwar insgesamt eine größere Stabilisierung der beiden Segmente und die Gesamtbedingung für eine Fusion wird verändert, die segmentspezifischen Unterschiede bleiben jedoch trotzdem erhalten.

Für den Vergleich des klinischen Outcomes und dem Fusionsergebnis wurde der Patient als Untersuchungseinheit festgelegt. Bei den bisegmental operierten Studienteilnehmern wurde jeweils das schlechtere Fusionsergebnis der beiden Segmente als Gesamtfusionsergebnis betrachtet.

Bei der Auswertung wurde die postoperative korsettfreie Nachbehandlung der Patienten nicht berücksichtigt. Auch Harms und Jeszensky¹¹ beschrieben, dass die Nachbehandlung frei, d.h. ohne Korsett, erfolgen kann. Hee¹¹⁸ empfiehlt, dass die Patienten postoperativ ein bis zwei Monate eine spinale Unterstützung mittels Korsett erhalten sollen. Die Angaben hierzu weichen somit voneinander ab. Eine postoperative Abstützung könnte ggf. die Lockerung der Schrauben reduzieren sowie das Einwachsen des Cages begünstigen.

Eine ebenfalls wichtige Rolle bei der Betrachtung der klinischen Ergebnisse spielt die **Follow Up** Zeit. Hierbei sind die ODI Werte postoperativ zwar zunächst sinkend, im Verlauf jedoch wieder oft zunehmend^{8,122,163}.

Wir untersuchten Patienten mit einer Follow Up Zeit von $25,1 \pm 10,6$ Monaten. Das Maximum lag sogar bei 46 Monaten. Durch die Spanne der Nachuntersuchungszeit sind die klinischen Ergebnisse somit sehr inhomogen.

Ebenso beeinflusst die **Zufriedenheit** mit der generellen medizinischen Versorgung und die eigene **Erwartungshaltung** gegenüber der Operation das postoperative Ergebnis^{147,167}. Die **Einschränkung** vor der Operation ist ebenfalls ein wesentlicher Faktor⁸⁷.

Bei der Beurteilung von Rückenschmerzen spielen zudem **psychische Faktoren** eine große Rolle¹⁶⁸. Sie können die Schmerzwahrnehmung negativ beeinflussen^{157,159}. Ein körperliches Leiden korreliert signifikant mit dem psychologischen Leidensdruck¹⁶⁵. Umgekehrt korreliert die Beschreibung von Schmerzen mit depressiven Verstimmungen¹⁶⁹.

Die Psyche spielt ebenfalls eine große Rolle bei der Krankheitsbewältigung, sodass hiervon die Ergebnisse von Wirbelsäulenoperationen abhängen können^{157,170}.

Laut Harms¹¹ ist die Schmerzqualität je nach **Krankheitsbild** unterschiedlich. Ein Vergleich der klinischen Ergebnisse ist demnach nur möglich, wenn dies unter Berücksichtigung der gleichen Krankheitsbilder geschieht.

Er fand heraus, dass sich bei isthmischen und degenerativen Spondylolisthesen die besten klinischen Ergebnisse erzielen lassen.

Die vorliegende Studie betrachtete die Ergebnisse nicht unter dem Aspekt der entsprechenden Indikationen. 35 der 40 Patienten wurden aufgrund degenerativer Erkrankungen operiert. Hierbei wurde nicht differenziert untersucht, um welche degenerative Erkrankung es sich gehandelt hat.

4.2.2 Operationstechnik

Die TLIF wird als eine technisch sehr aufwendige Operation beschrieben^{11,118}.

Es gibt einige wichtige Dinge, die intraoperativ zu beachten sind, um der Fusionsrate nicht zu schaden.

Die beiden Operateure, die die Studienteilnehmer damals operativ versorgten, befanden sich zu diesem Zeitpunkt selbst noch im Lernprozess der Fusionschirurgie.

Wie für alle operativen Eingriffe existiert auch für die TLIF eine **Lernkurve**^{4,145}.

Intraoperativ kann es hier aufgrund mangelnder Übung anfangs zu Schwierigkeiten kommen, die sich negativ auf die Fusion und das klinische Ergebnis auswirken können. Durch zunächst zurückhaltendes operieren wurde möglicherweise nicht die komplette Bandscheibe aus dem Bandscheibenfach entfernt.

Dabei ist dies sehr wichtig. Closkey et al.¹⁷¹ beobachteten, dass für eine interkorporelle Fusion >30 % **Oberfläche der Grund- und Deckplatten** benötigt wird.

Selbst bei geübten Operateuren ist es maximal möglich 69 % des gesamten Bandscheibenvolumens (56 % Oberfläche der Grund- und Deckplatten) zu entfernen¹⁷². Hier gibt es wenig Spielraum. Bleibt zu viel Gewebe im Bandscheibenfach zurück, steht weniger Oberfläche zur interkorporellen Fusion zur Verfügung.

Nach **Ausräumen des Bandscheibenfachs** werden die Grund- und Deckplatten dekortiziert. Dadurch sollen kleine Gefäße der Wirbelkörper eröffnet und Signalwege in Gang gesetzt werden, um Zellen anzuregen, die für die Knochenneubildung verantwortlich sind¹⁷³.

Bereits 1911 wurde von Hibbs²² postuliert, dass dieses Anfrischen sehr wichtig ist. Diese Theorie wurde in den Studien, die Fusionsraten von 90 % bei einer TLIF erreichten, ebenfalls vertreten^{4,9,75,106,111,122,147,174,175}. Ein zurückhaltendes Operieren führt demnach dazu, dass die Grund- und Deckplatten eventuell zu wenig angefrischt wurden. Dies könnte ebenfalls ein Grund für die geringen Fusionsraten sein. In der Praxis kommt es jedoch zu Widersprüchen.

Lim et al.¹¹⁹ postulierten, dass so viel Knochenmaterial der angrenzenden Grund- und Deckplatten erhalten bleiben soll wie nur möglich. Die **Dekortizierung** soll sich auf ein Loch beschränken statt viele kleine, da ansonsten das Risiko für Frakturen sowie Cageeinbrüche gesteigert ist. Dies sei vor allem bei älteren Patienten mit schlechter Knochenqualität der Fall.

Sandhu et al.¹⁷⁶ untersuchten an 20 Hunden den Effekt des Dekortizierens und die Verwendung unterschiedlicher Dosen des rhBMP-2. Sie zeigten keinen signifikanten Unterschied der Fusionsraten in angefrischten Grund- und Deckplatten zu nicht-angefrischten. Bei höheren Dosen des rhBMP-2 war jedoch ein geringer Unterschied zum Nachteil der zweiten Gruppe zu erkennen.

Es existieren nach Kenntnis der Verfasserin der vorliegenden Studie keine weiteren Studien, die das Fusionsergebnis von dekortizierten mit undekortizierten Grund- und Deckplatten vergleichen. Es ist jedoch seit Jahrzehnten Standard bei den meisten Fusionsoperationen.

Zu beachten ist auch, dass alle Patienten dieser Studie eine **180°, statt der 360° Fusion**, die Harms¹¹ publizierte, erhielten. Er lagerte dorsolateral zwischen den Querfortsätzen Fusionsmaterial an. Diese posterolaterale Fusion, zusammen mit dem dorsalen Schrauben-Stab-System, sollte das Segment so weit stabilisieren, dass das intervertebral eingebrachte Fusionsmaterial in und um den Cage mit den Grund- und Deckplatten fusionieren kann.

Studien belegen, dass eine 360° Fusion zu höheren Fusionsraten führt^{43,118,177–179}.

Die Operateure, die die Studienteilnehmer versorgten, beschränkten sich jedoch auf die Befüllung des Cages mit Fusionsmaterial. Sie verzichteten auf die zusätzliche dorsolaterale Anlagerung, da im Rahmen der Dekompression die Laminae, als auch Teile der Facettengelenke, reseziert worden sind.

Die TLIF wurde als offene Operation durchgeführt. 2003 beschrieben Foley et al.⁹³ eine minimal-invasive Technik.

Der Vorteil eines **minimalinvasiven Zugangs** ist eine geringere Zerstörung von Muskeln, Facettengelenken und anderen Geweben sowie geringerer Blutverlust, weniger postoperativen Schmerzen, kürzerem Krankenhausaufenthalt und kürzerer Rehabilitationszeit^{62,66,83–92}.

Diese Faktoren spielen eine Rolle beim klinischen Outcome und müssen bei der Auswertung der klinischen Ergebnisse berücksichtigt werden.

Wu et al.⁹⁷ verglichen die Komplikations- und Fusionsraten der offenen mit der minimal-invasiven TLIF und führten dazu eine Metaanalyse durch. Dabei verglichen sie die Ergebnisse von 16 Studien, in denen offen operiert worden ist, mit acht Studien, in denen das minimal-invasive Verfahren gewählt wurde. Sie zeigten keine Unterschiede der Fusionsergebnisse, jedoch einen kleinen Vorteil der minimal-invasiven Verfahren, da sie geringere Komplikationsraten aufwiesen (7,6 % zu 12,6 % bei offener Operation).

Der Nachteil der minimal-invasiven Verfahren besteht jedoch darin, dass der Umgang mit dem kleineren Zugangsweg und den längeren Instrumenten sowie die geringe Sicht auf das anatomische Umfeld, eine zusätzliche Schwierigkeit darstellen können⁹⁰. Die minimal-invasive TLIF ist jedoch noch sehr jung. Sie wurde 2003 von Foley et al.⁹³ beschrieben. Es bedarf Langzeitstudien, um die Fusionsergebnisse tatsächlich mit den offenen Verfahren vergleichen zu können^{87,88,90,93,96,97}.

Acht Patienten wurden bisegmental in den Segmenten L3/4 und L4/5 mit einer TLIF versorgt. Das heißt, dass das Fusionsergebnis von 16 der 48 Segmente durch die bisegmentale Versorgung geprägt war.

Hee et al.¹¹⁸ beschrieben einen Unterschied im Fusionsergebnis **bei mono- oder bisegmentaler** Operation. Bei monosegmental versorgten Patienten zeigten sie eine Fusionsrate von 100 % in diesem Segment und bei bisegmentaler Versorgung von 90 %.

Eine andere Arbeit von Hee et al.⁹⁹ zeigte außerdem, dass nach bisegmentaler Versorgung öfters eine Nicht-Fusion zu beobachten war als nach monosegmentaler Versorgung. In dieser Studie wurden acht Patienten bisegmental operiert. Dies könnte ebenfalls dazu beitragen, dass das Fusionsergebnis der vorliegenden Studie so gering war, da das Fusionsergebnis von 16 Segmenten hierdurch beeinflusst worden sein kann.

Es bleibt ebenfalls die Überlegung offen, ob das gewählte Fusionsverfahren die Ergebnisse beeinflusst haben könnte.

Lee et. al.¹²⁶ führten 2011 eine Metaanalyse durch, ob der **operative Zugang** zum Spinalkanal einen Einfluss auf die Fusionsraten hat. Dabei fiel auf, dass es kaum einen Unterschied zwischen den jeweiligen Zugangswegen in Bezug auf die Fusionsraten zu geben scheint.

Weitere Studien belegen diese Aussage und geben Fusionsraten für die ALIF und PLIF von 90-100 % an^{15,28,127-130}. Die Fusionsraten für die TLIF sind hiermit vergleichbar und in **Tabelle 2** auf Seite 23 dargestellt.

Auch eine Studie von Talia et. al.¹³¹ belegte, dass der gewählte Zugang zum Bandscheibenfach offensichtlich keinen Einfluss auf das klinische Outcome zu haben scheint.

4.2.3 Material

Eine erfolgreiche Fusion hängt, neben den bereits erwähnten Faktoren, grundsätzlich von dem Material ab, das verwendet wird³³.

Früher wurde das Bandscheibenfach ausschließlich mit auto- oder allogenen **Knochenmaterial** bestückt. Hier wurden jedoch vermehrt Implantateinbrüche, längere Zeit bis zur Bildung einer Knochenbrücke und vermehrt Pseudarthrosen

beobachtet^{25,27,32,33,79,82}. Deshalb hat sich die Verwendung von Cages bei Fusionsoperationen etabliert.

In der vorliegenden Studie wurde ein Polyetheretherketon-Cage (PEEK) als **Bandscheibenersatz** verwendet.

Neben PEEK existieren unter anderem auch Cages aus Stahl oder Titan^{77,79}. Letztere wurden in der Erstbeschreibung der TLIF 1982 von Harms und Jeszenszky¹¹ verwendet.

In der vorliegenden Studie wurde bewusst die Verwendung von PEEK Cages gewählt, da sie eine höhere Röntgendurchlässigkeit bieten, um eine radiologische Fusion darzustellen^{32,82,104}. Außerdem ist der Kunststoff dem Elastizitätsmodul des Knochens sehr nahe, wodurch geringere Implantatversagen und höhere Fusionsraten zu erwarten sind^{26,32,81,82}.

Die Literatur gibt an, dass PEEK anfälliger für Biofilme, v.a. durch Staphylokokkus aureus, ist und somit häufiger zu Infektionen führt¹⁸⁰⁻¹⁸². Dies konnte in der vorliegenden Studie nicht beobachtet werden.

Zur **Bestückung des ausgeräumten Bandscheibenfachs** und des Cages wurde die beim Eröffnen des Spinalkanals anfallende Spongiosa verwendet.

Diese Methode hat sich erst in den letzten Jahren durchgesetzt, da sie durch die Quantität limitiert ist und die Benutzung von Beckenkammpongiosa oft noch als Goldstandard angesehen wird^{33,98,102,111}. Bereits 1953 war Cloward³⁰ der Erste, der Beckenkammpongiosa im Rahmen der PLIF Technik intervertebral in das ausgeräumte Bandscheibenfach einbrachte. Mit ihr werden gute Fusionsraten erreicht, da sie alle notwendigen Wachstumsfaktoren beinhaltet und dadurch osteokonduktiv, osteoinduktiv und osteointegrativ ist^{31,34,99,100,103,151}.

Eine Metaanalyse von France et al.¹⁰² verglichen das klinische und funktionelle Outcome sowie die Fusionsrate bei Verwendung von lokal anfallender Spongiosa mit Beckenkammpongiosa. Hierbei machte die Wahl des gewählten Materials keinen Unterschied. Die Verwendung der Beckenkammpongiosa ist jedoch mit einem weiteren operativen Eingriff verbunden und ist der größte Nachteil gegenüber den lokalen Autografts. Neben einem erhöhten Risiko für postoperative Infektionen, Wundheilungsstörungen, Parästhesien, Hämatome, Hernienbildungen, Instabilitäten, Gefäß- und Ureterverletzungen, stellen die postoperativen Schmerzen das häufigste Problem dar^{31,66,89,101,102}.

Es existieren jedoch weitere Materialien, die als **Knochenersatz** dienen oder in Verbindung mit Allo- oder Autografts das Fusionsergebnis steigern sollen.

Hierzu gehören demineralisierte Knochenmatrix, Tricalciumphosphate als synthetische Knochentransplantate, Knochenmark, Wachstumsfaktoren (z.B. AGF's), Kollagene und Knochenproteine (bone morphogenetic proteins= BMP).

Eine Studie von Park et al.³³ untersuchte 2013 anhand der bisher veröffentlichten Literatur den Nutzen dieser **Fusionsmaterialien**. Sie zeigten, dass die Ergebnisse je nach Studie und Hersteller variierten, sodass es bisher keine einheitliche Verwendung dieser Fusionsmaterialien gibt. Zum einen wird ihnen nachgesagt, dass sie die Fusionsraten steigern, zum anderen wird in einigen Studien auch genau das Gegenteil gezeigt. Den meisten Studien mangelt es an Evidenz, sodass weitere Studien notwendig sind¹¹¹. Hinzu kommt zum Teil ein hoher Zeit- und Kostenfaktor und mangelnde osteokonduktive, -induktive und -integrative Eigenschaften die nur körpereigene Knochen haben können^{33,103,118}.

Die **Knochenproteine** sind hierbei eine Ausnahme. Sie gehören zur Familie der TGF- β (transforming growth factor) und unterstützen als Zytokine das Knorpel- und

Knochenwachstum^{33,183}. Sie können jedoch nie alleine verwendet werden, sondern müssen zusammen mit einem Träger, der aus verschiedenen Materialien bestehen kann, in das Bandscheibenfach eingebracht werden³³.

Es existieren einige Studien, die die osteoinduktiven Eigenschaften sowie die Förderung der interkorporellen Fusion bei Verwendung von rhBMP-2 zeigen^{33,111,113,175,183,184}.

Lanman et al.¹⁸⁵ untersuchten 43 Patienten, die eine TLIF mit resorbierbaren Cages und diesem Knochenprotein erhielten. Sie zeigten Fusionsraten von 98 %.

Mummaneni et al.⁷⁵ verglichen die Fusionsraten von einer Gruppe, bei der der Cage mit BMP gefüllt wurde, mit einer Gruppe bei der Beckenkammpongiosa verwendet wurde. Dabei zeigten sie eine schnellere Fusion bei Verwendung von rhBMP-2 sowie eine höhere Fusionsrate (91 %) im Vergleich zu autologer Beckenkammpongiosa (73 %).

Es sind jedoch auch Studien bekannt, die einen Nachteil der Knochenproteine zeigen. Vaidya et al.¹¹³ untersuchten 36 Patienten, die mit einem Allograft und dem Knochenprotein versorgt worden sind. Das Fusionsergebnis lag bei 100 %. Es zeigten sich aber bei mehr als der Hälfte Einbrüche der Implantate. In der Kontrollgruppe, die ohne rhBMP-2 behandelt wurde, zeigte sich eine Fusionsrate von 98 % und geringere Einbruchraten. Außerdem erhöhten sie das Risiko für eine Radikulitis und es wurden Osteolysen und ektope Knochenneubildungen beobachtet, die zum Teil klinisch auffällig sein konnten^{33,186-189}.

Möglicherweise hätte die Verwendung dieser Materialien die Fusionsraten positiv beeinflussen können. In der vorliegenden Studie wurde aus Kostengründen und mangelnder Evidenz jedoch weder Knochenproteine, noch andere Zusatzmaterialien verwendet.

Villavicencio et al.¹¹¹ nutzten rhBMP-2 mit absorbierbaren Kollagenschwämmen und einem Allograft. Dabei zeigten sie Fusionsraten von 100 %. Vaidya et al.¹¹³ und Anand et al.¹⁷⁵ hatten ein Fusionsergebnis von 100 % bzw. 99 % bei Verwendung von einem Allograft mit diesem Protein. Auch Potter et al.¹⁴⁷ nutzten entweder ein Allograft oder resorbierbare Implantate, die mit den Proteinen versehen waren. Cutler et al.⁸² nutzten bei 18 Patienten einen PEEK Cage und bei 21 Patienten Femoraliskortikalis und hatten Fusionsraten von 100 % bzw. 95,2 %. Houten et al.¹⁹⁰ erreichten bei 33 Patienten, durch die Verwendung von Autograft (lokale Spongiosa) zusammen mit einem Allograft (Femoraliskortikalis), eine Hundertprozentige Fusionsrate. Kuklo et al.¹²⁵ zeigten nach 6-12 Monaten in CT-Aufnahmen Fusionsraten von 97,4 %. Sie verwendeten resorbierbare Implantate und rhBMP-2. Hackenberg et al.¹¹² und Salehi et al.¹²⁹ verwendeten einen bzw. zwei Titancages und Beckenkammpongiosa und erreichten beide Fusionsraten von 89 %. Neben Salehi et al.¹²⁹ nutzten auch Lowe et al.¹⁴⁵, Rosenberg et al.⁹ und Harms und Jeszensky¹¹ zwei Titancages. Eine Studie von Chen et al.¹⁹¹ postulierte, dass bei Verwendung von zwei Cages bessere Stabilitätsergebnisse erzielt werden können. Dies begünstigt, dass die wieder hergestellte Anatomie erhalten bleibt, die angrenzenden Strukturen geringerer Belastung ausgesetzt sind und das Voranschreiten der degenerativen Prozesse minimiert.

Die Darstellung aller möglichen Fusionsmaterialien soll zeigen, dass es eine große Bandbreite an Möglichkeiten gibt, welche Materialien alleine oder zusammen für eine Fusion in Frage kommen.

Fast alle bereits erwähnten Studien, die die unterschiedlichen Fusionsmaterialien verwendeten, waren ebenfalls Gegenstand in der Metaanalyse von Wu et al.⁹⁷.

Durch diese große Vielfalt an möglichen Fusionsmaterialien ist der direkte Vergleich der Fusionsraten somit erschwert, da in fast jeder Studie andere Materialien verwendet worden sind um eine Fusion durchzuführen.

4.2.4 Perioperative Komplikationen

Obwohl die TLIF als technisch sehr aufwendig gilt, ist sie dennoch als eine komplikationsarme Operation einzustufen^{14,174,190}.

Wu et al.¹⁹² untersuchten in ihrer Metaanalyse die Häufigkeit der Komplikationen und kamen insgesamt auf eine Rate von 12,6 % bei offener TLIF (7,5 %-20,3 %).

Perioperative Komplikationen können einen Einfluss auf das Fusionsergebnis und das klinische Outcome haben. Intraoperativ wurden in der vorliegenden Studie bei sieben Studienteilnehmern (17,5 %) Komplikationen dokumentiert. Die Hauptkomplikationen kamen durch den Cage zustande. Hier wurden **Fehlplatzierungen** (n=2) sowie intraoperative **Einbrüche** (n=2) beschrieben.

Da 80% der Hauptbelastung über die ventrale Säule aufgenommen wird, wird eine anteriore **Lage des Cages** beim Einbringen in das Bandscheibenfach bevorzugt¹⁹³.

Studien zeigten ebenfalls eine bessere sagittale Ausrichtung und geringere Einbruchraten, wenn er hinter dem vorderen Längsband platziert wird^{175,193}.

Kim et al.¹⁹⁴ zeigten, dass eine Fusion entweder im Cage oder dorsal davon stattfindet. Kommt er im Zentrum oder gar dorsolateral zum Liegen, kommt es sehr häufig zu Einbrüchen, da dies die schwächsten Regionen sind^{21,195,196}.

In 48 Segmenten wurde von einem Untersucher der vorliegenden Studie in 19 Segmenten (39,6 %) eine (central-) anteriore Lage im Follow Up Bild beschrieben. Der andere Untersucher beobachtete in 24 von 44 (54,5 %) Segmenten eine centralanteriore Lage. Dies zeigt, dass im Mittel bei mehr als der Hälfte die optimale Position des Cages nicht eingehalten werden konnte.

Hinzu kommt, dass im Mittel bei 59,6 % **Cageeinsenkungen**, bei 23,9 % **Dislokationen** und bei 29,4 % **Cagerotationen** im Follow Up beschrieben worden sind. Diese Migrationsraten sind im Vergleich zur Literatur höher. Abbushi et al.²¹ untersuchten 40 Patienten, die eine PLIF mit Titancages erhielten. Dabei beschrieb er Migrationsraten von 30 %, vor allem bei medialer und posteriorer Lage.

Es wird vermutet, dass dies Gründe für die geringen Fusionsraten sein können, da zum einen die Hauptbelastung, die auf die ventrale Säule trifft, nicht durch den Cage aufgefangen werden kann. Zum anderen zeigen die hohen Raten an Cagemigrationen, dass es zunächst nicht zu einer Fusion kommen konnte, da der Cage nicht richtig verankert war^{21,197}.

Villavicencio et al.¹¹¹ gaben als häufigste Komplikation bei offener TLIF die **Schraubenfehlplatzierung** an. Sie zeigten in 16,7 % der monosegmental operierten Patienten (n=18) und 60 % der bisegmental operierten Patienten (n=10) Schraubenfehlplatzierungen. Andere Studien beschreiben Schraubenfehlagen von 1,1 % bis 28,8 %^{34,157,198}.

Dennoch bleibt zu erwähnen, dass die Einschätzung der Schraubenlockerungen und Cagemigrationen (Einsenkung, Dislokation, Rotation) zwischen den beiden Untersuchern sehr stark variierte (siehe **Tabelle 15**, Seite 46). Hierbei ist zu erläutern, dass vor der Auswertung beide Untersucher zusammen die Definitionen von Schraubenlockerung, Cagemigrationen festgelegt haben. Die großen Unterschiede lassen sich zum einen dadurch erläutern, dass beide Untersucher nicht die gleichen Computer verwendet haben. Zum anderen ist die radiologische Erfahrung beider Untersucher unterschiedlich. Um eventuell ähnliche Ergebnisse erzielen zu können

hätten hierbei gleiche Bedingungen geschaffen werden müssen. Es zeigt jedoch, dass die Ergebnisse hier von Beobachter zu Beobachter sehr voneinander abweichen kann, weshalb der Vergleich der vorliegenden Ergebnisse mit der Literatur ebenfalls unter diesem Vorbehalt betrachtet werden muss. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sind in dieser Hinsicht nochmal transparenter, da sie von zwei Untersuchern ausgewertet worden sind und hierbei die Mittelwerte als Komplikationsraten verwendet worden sind. In der vorliegenden Literatur wird hierüber meistens keine Aussage gemacht, sodass davon auszugehen ist, dass das Ergebnis lediglich von einem Auswerter stammt.

Die Schrauben-Stab-Systeme unterstützen durch Ausschalten von Rotationsbewegungen der Wirbelsäule und zusätzlicher Kompression des versorgten Segments die interkorporelle Fusion und verringern die Pseudarthrose^{7,13-15,34,35,199,200}. Kommt es nun zu Schraubenfehlplatzierungen oder im Verlauf zu Schraubenlockerungen, kann der Vorteil dieser Systeme nicht komplett ausgenutzt werden. Daraus resultieren schlechtere interkorporelle Fusionsraten.

Harms und Jeszenszky¹¹ beobachteten, dass in vier Fällen Instrumentenlockerungen und -brüche im Zusammenhang mit einer Pseudarthrose auftraten. In der vorliegenden Studie zeigten zwei Patienten intraoperativ Fehlplatzierungen der Schrauben und im Mittel 13,4 % im Follow Up Schraubenlockerungen. Der Wert der Schraubenlockerungen ist im Vergleich zur Literatur sehr hoch. Hier werden Raten von 1-2 % beschrieben²⁰¹⁻²⁰³.

Cagefehlagen und -migrationen sowie Schraubenfehlagen und -lockerungen erschweren zudem die Wiederherstellung des **sagittalen Profils** der Wirbelsäule. Laut Ould-Slimane et al.²⁰⁴ erhöht die Wiederherstellung des sagittalen Profils die Fusionsraten. Auch andere Studien zeigten einen Zusammenhang zwischen Relordosierung und Fusionsrate^{147,204}.

Da die Rate dieser Komplikationen in dieser Studie sehr hoch war, wurde die Wiederherstellung der sagittalen Balance laut dieser Theorien erschwert, woraus die geringen Fusionsraten hervorgegangen sein können.

4.2.5 Definition Fusion

Die meisten Studien definieren eine interkorporelle Fusion als radiologisch sichtbare Knochenbrücke zwischen Grund- und Deckplatte^{5,21-23,97,123,205}.

Es existieren jedoch, in Hinsicht der verwendeten **Scores** und der **Bildgebung**, keine einheitlichen Definitionen, wie eine interkorporelle Fusion evaluiert werden soll^{21,97,123,124}.

Dabei wird die Bildung von Knochenbrücken meistens anhand von Röntgenbildern evaluiert^{23,27,120-122}.

Es gibt Studien, die die Computertomographie zur Auswertung von interkorporellen Fusionen als bessere Bildgebung ansehen als das Röntgenbild^{23,206,207}.

Eine Studie von Kuklo et al.¹²⁵ zeigte bei den gleichen Patienten auf Röntgenbildern Fusionsraten von 87,2 % und auf 3D CT Bildern 97,3 % beobachtet.

Als Goldstandard wird neben den CT- und Röntgenbildern jedoch die chirurgische Exploration zur direkten Evaluation der interkorporellen Fusion angesehen^{23,208}.

Blumenthal et al.²³ fanden lediglich eine Übereinstimmung zwischen dem röntgenologischen Fusionsergebnis und der chirurgischen Exploration bei 69 %. Brodsky¹²⁰ und Blumenthal²³ verglichen die Fusionsraten, die anhand von Röntgenbildern evaluiert worden sind, mit denen, die durch eine chirurgische

Exploration erfasst wurden. Sie erhielten keine Übereinstimmung in 36 % bzw. 31 % der Fälle.

Die vorliegende Arbeit orientierte sich an der Definition von Abbushi²¹ (siehe **Tabelle 13**, Seite 38). Diese wurde auch in anderen Studien verwendet^{129,184,187}.

Hierbei sollte ebenfalls eine Knochenbrücke zwischen Grund- und Deckplatte vorhanden sein. Zusätzlich definierte er, dass keine Strahlentransparenz um den Cage zu sehen sein darf, da dies als Zeichen eines nicht stabil eingewachsenen Cages zu deuten ist. Diese Definition wurde in dieser Arbeit dadurch ergänzt, dass zusätzlich die Lokalisation des Cages postoperativ und im Follow Up verglichen wurde. Hierdurch sollte eine eventuelle Migration dargestellt werden, die für eine nicht stabile Verankerung sprechen würde.

Da eine interkorporelle Fusion die beiden angrenzenden Segmente stabilisiert, sollte laut Abbushi²¹ in den Funktionsaufnahmen beim Vergleich von Inklination gegen Reklination kein Aufklappen des Segments um mehr als 5° zu erkennen sein. An Anlehnung an Kuslich et al.⁷⁹ wurde in dieser Arbeit eine Zunahme des Winkels von Reklination zu Inklination um mehr als 3° als segmentale Instabilität (keine Fusion) gewertet.

Abbushi²¹ führte die Evaluation anhand von Röntgen- und CT-Bildern durch. In der vorliegenden Studie wurde allerdings nur erstere verwendet.

Einige Studien definierten ein Aufklappen des Segments direkt als negative interkorporelle Fusion^{78,123,209}.

Umgekehrt gab es wieder Studien, die schon eine eventuell mögliche Fusion bereits als Fusion definierten^{106,124,174,210}.

Somit wird angenommen, dass die niedrigen Fusionsraten zum einen durch die schlechtere Bildgebung, zum anderen die strikteren Kriterien einer/keiner Fusion zu erklären sind.

Hierdurch kommen vermutlich auch die höheren Pseudarthrosen (56,4 %) in dieser Studie zustande. Normalerweise wird eine Pseudarthrose als nicht durchgehende Knochenbrücke nach einem Jahr postoperativ definiert. Unter dieser Definition zeigten sich Raten von ca. 2-10 %^{4,99,112,129,147}. Harms und Jeszenszky¹¹ beschrieben eine Pseudarthrose in 3,1 % der Fälle.

Eine Studie von Faundez et al.¹⁵⁴ zeigte im Vergleich zu anderen Studien höhere Pseudarthrosenraten von 23,1 %. Sie beschrieben seine Kriterien zur Fusionsbestimmung ebenfalls als sehr strikt.

In der vorliegenden Studie wurde der Begriff der Pseudarthrose um folgende Definitionen ausgeweitet. War keine Knochenbrücke zu sehen, aber auch keine Migration des Cages und kein Aufklappen des Segments um mehr als 3°, wurde dies zwar als keine Fusion beschrieben, erhielt jedoch die Zusatzbezeichnung „stabile Pseudarthrose“. Es wurde nämlich vermutet, dass sich um das Implantat Gewebe gebildet haben muss, das den Cage in seiner Position hielt und eine segmentale Stabilität ermöglichte. Da es sehr schwierig ist eine Fusion von einer Pseudarthrose zu unterscheiden, wurden diese zusätzlichen Definitionen benötigt, um eine genauere Aussage möglich zu machen^{115,124,147,207}. Zusätzlich wurde in vielen bekannten Studien ein Titan Cage verwendet. Da diese nicht röntgendurchlässig sind, war hier ein Vergleich der Studien nicht möglich, da lediglich Knochenbrücken um den Cage als interkorporelle Fusion gewertet werden können²¹¹.

Zu den strikteren Fusionskriterien und der schlechteren Bildgebung kam hinzu, dass eine Konsensfindung zwischen den beiden Auswertern der Röntgenbilder stattgefunden hat. Hierbei beurteilten sie erneut alle Röntgenbilder, bei denen zunächst eine Uneinigkeit in der Bestimmung der Fusion herrschte. Am Ende kamen sie zu einer übereinstimmenden Lösung. Diese Ergebnisse wurden in die Auswertung aufgenommen.

Ein Vergleich der Fusionsergebnisse, die in **Tabelle 2** auf Seite 23 dargestellt sind, ist aufgrund der oben genannten Aspekte nicht direkt möglich. Die Studien nutzten zum Teil unterschiedliche Scores und Bildgebungen, um die interkorporelle Fusion auszuwerten. Dieses Problem ist bereits bekannt und wurde schon mehrfach in der vorliegenden Literatur diskutiert^{97,115,124,207}.

Diese Studie zeigte nicht annähernd so gute Fusionsergebnisse, wie sie in der bereits veröffentlichten Literatur zu beobachten war, wodurch auch weniger fusionierte Segmente zur Verfügung standen, die zur Auswertung des segmentabhängigen Fusionsverhaltens herangezogen werden konnten. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied im Fusionsverhalten dieser beiden Segmente. Trotzdem deutete sich an, dass die Chance für eine Fusion beim Segment L4/5 kleiner ist als im Segment L3/4. Dennoch zeigte diese Studie relativ gute klinische Ergebnisse im Follow Up. Die Werte auf der VAS zeigten eine durchschnittliche Verbesserung von 4,5 auf der visuellen Analogskala.

Die ODI Werte zeigten eine Besserung um die 31,1 %. Dies deckt sich wie oben erwähnt mit den Erfahrungen der Literatur.

Diese guten klinischen Ergebnisse, bezogen auf VAS und ODI, können somit nicht durch die vermeintliche Fusion der Wirbelkörper erklärt werden. Die geringen Fusionsraten stehen in großer Diskrepanz zur bereits veröffentlichten Literatur (siehe **Tabelle 2**, Seite 23). Hierfür werden jedoch mehrere Einflussfaktoren verantwortlich gemacht, die einen Vergleich mit der bereits bekannten Literatur erschweren. Dies betrifft zum einen die striktere Definition der Fusion sowie die zusätzliche genauere Definition der Pseudarthrose, wodurch höhere Pseudarthrosenraten und geringere Fusionsraten zu beobachten waren. Zusätzlich spielten intraoperative Einflüsse, das verwendete Material, perioperative Komplikationen und ein inhomogenes Patientengut eine große Rolle.

Aufgrund dieser Faktoren existieren nur wenige Studien, die die gleichen Voraussetzungen und Bedingungen erfüllten wie in der vorliegenden Studie. Deshalb wird zwar darauf hingewiesen, dass die Fusionsraten der vorliegenden Studie im Vergleich zu anderen Studien sehr gering ausgefallen sind, ein Vergleich aber unter Vorbehalt gesehen werden muss, da in jeder Studie andere Voraussetzungen gegeben waren. Die Fusionschirurgie wird durch viele Einflussfaktoren geprägt. Um das Fusionsergebnis der vorliegenden Studie wirklich einordnen zu können werden mehr Studien zum Vergleich benötigt, die unter den gleichen Bedingungen durchgeführt werden.

Um dennoch einen Zusammenhang zwischen den guten klinischen Ergebnissen, bezogen auf VAS und ODI, und den hohen Pseudarthrosenrate sowie geringen Fusionsraten herzustellen, wurde in der vorliegenden Arbeit erneut die Theorie aufgegriffen, die bereits 1948 durch Cloward²⁸ postuliert wurde. Er deutete damals an, dass bereits fibröse Neubildungen ausreichen, dass die Patienten postoperativ asymptomatisch wurden, da es oft zu Diskrepanzen zwischen Fusionsergebnis und klinischem Outcome kommt.

Da die Pseudarthroserate in der vorliegenden Studie 56,4 % betrug, wurde diese Theorie in Bezug auf die guten klinischen Ergebnisse, gemessen an VAS und ODI, ebenfalls unterstützt.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Seit Beschreibung der TLIF Technik 1982 durch Harms und Rolinger⁷ sowie Erweiterung auf degenerative Wirbelsäulenerkrankung 1998¹¹ hat sich diese als Standard zur interkorporellen Fusion bei Spondylodesen etabliert. Die anatomischen und biomechanischen Gegebenheiten sind in jedem Wirbelsäulensegment unterschiedlich. Die tieferen Segmente sind mit einer größeren Wahrscheinlichkeit degenerativen Prozessen ausgesetzt. Auf Grund dessen ist es ebenfalls denkbar, dass die einzelnen Segmente ein unterschiedliches Fusionsverhalten zeigen. Hierüber existieren nach aktuellem Kenntnisstand der Verfasserin der vorliegenden Arbeit bisher jedoch keine Studien.

Die vorliegende Studie untersuchte 48 Segmente (L3/4=15, L4/5=33), die durch eine TLIF adressiert worden sind, auf das segmentbezogene Fusionsverhalten mittels röntgenologischer Auswertung durch zwei unabhängige Untersucher anhand eines radiologischen Auswertungsbogens. Außerdem erfolgte die Evaluation des Zusammenhangs zwischen Fusionsergebnis und klinischem Outcome.

Es zeigte sich eine Gesamtfusionsrate von 20,8 %. Ein signifikanter Unterschied im segmentabhängigen Fusionsverhalten konnte nicht gezeigt werden. Es deutete sich jedoch an, dass die Chance für eine Fusion im Segment L4/5 kleiner ist, als bei L3/4. Diese Fusionsraten sind im Vergleich zur bereits veröffentlichten Literatur sehr gering. Deshalb wurden die Einflussfaktoren herausgearbeitet, die das Fusionsergebnis negativ beeinflussen können. Diese konnten in die Rubriken Patientengut, Operationstechnik, Materialien und Komplikationen unterteilt werden. Ebenfalls ist es schwierig auf Grund der Vielzahl an Materialien, die für das Erreichen einer Fusion in Frage kommen, einen Vergleich mit der bereits bekannten und sehr inhomogenen Literatur durchzuführen. Hinzu kommt, dass die Definition der Fusion immer noch die größte Hürde in der Beurteilung von interkorporellen Fusion darstellt. Es existieren keine einheitlichen Scores und keine einheitliche Bildgebung, die als Standard hierfür in Frage kämen. In der vorliegenden Studie wurde in Anlehnung an bereits veröffentlichte Fusionsdefinitionen eine neue, jedoch strengere Definition konstruiert wodurch die niedrigen Fusionsraten ebenfalls erklärt werden können. Zusätzlich wurden in der vorliegenden Arbeit sehr genaue Kriterien für eine Pseudarthrose definiert. Dies spiegelt sich in den vergleichsweise hohen Pseudarthrosenraten (56,4 %) wider.

Trotz der geringen Fusionsrate von 20,8% und der hohen Pseudarthrosenrate zeigte sich jedoch in der klinischen Auswertung eine durchschnittliche Verbesserung der VAS-Werte von 4,5 sowie der ODI Werte von 31,1 %. Das Fusionsergebnis zeigte hierbei keinen signifikanten Einfluss auf das klinische Ergebnis. Somit existiert laut dieser Studie kein Zusammenhang zwischen Fusionsergebnis und klinischem Outcome.

Da diese Beobachtungen bereits in der Vergangenheit von Cloward²⁸ gemacht worden sind wurde seine Theorie erneut aufgegriffen und bestätigt. Er deutete 1948 an, dass bereits fibröse Neubildungen ausreichen, dass die Patienten postoperativ asymptomatisch wurden. Somit ist ein negatives Fusionsergebnis, bzw. eine Pseudarthrose nicht automatisch mit einem negativen klinischen Outcome gekoppelt^{28,152,151,150,148,149,154}. Dies konnte auch in der vorliegenden Arbeit gezeigt werden.

6 LITERATURVERZEICHNIS

1. Junghanns H: Die funktionelle Pathologie der Zwischenwirbelscheiben als Grundlage für klinische Betrachtungen. *Langenbecks Arch. für Klin. Chir.* 267: 393–417, 1951
2. Schünke M: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem: 183 Tabellen. 4., überar. Stuttgart; New York: Thieme;
3. Oehmke H-J: Statik und Funktion der Wirbelsäule. *Unfallchirurgie* 12: 332–336, 1986
4. Lowe TG, Tahernia a D, O'Brien MF, Smith D a B: Unilateral transforaminal posterior lumbar interbody fusion (TLIF): indications, technique, and 2-year results. *J. Spinal Disord. Tech.* 15: 31–8, 2002
5. McAfee PC, DeVine JG, Chaput CD, Prybis BG, Fedder IL, Cunningham BW, Farrell DJ, Hess SJ, Vigna FE: The indications for interbody fusion cages in the treatment of spondylolisthesis: analysis of 120 cases. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 30: S60–5, 2005
6. Weiner BK, Fraser RD: Spine update lumbar interbody cages. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 23: 634–40, 1998
7. Harms J, Rolinger H: Die operative Behandlung der Spondyloisthese durch dorsale Aufrichtung und ventrale Verblockung. *Z. Orthop. Ihre Grenzgeb.* 120: 343–7, 2008
8. Fritzell P, Hägg O, Wessberg P, Nordwall A, Swedish Lumbar Spine Study Group: 2001 Volvo Award Winner in Clinical Studies: Lumbar fusion versus nonsurgical treatment for chronic low back pain: a multicenter randomized controlled trial from the Swedish Lumbar Spine Study Group. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 26: 2521–32; discussion 2532–4, 2001
9. Rosenberg WS, Mummaneni P V: Transforaminal lumbar interbody fusion: technique, complications, and early results. *Neurosurgery* 48: 569–74; discussion 574–5, 2001
10. Anderson P a, Rouleau JP: Intervertebral disc arthroplasty. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 29: 2779–86, 2004

11. Harms JG, Jeszenszky D: Die posteriore, lumbale, interkorporelle Fusion in unilateraler transforaminaler Technik. *Oper. Orthop. Traumatol.* 10: 90–102, 1998
12. Diedrich O, Kraft CN, Bertram R, Wagner U, Schmitt O: Die dorsale lumbale interkorporelle Implantation von Cages zur Stabilisierung von segmentalen Wirbelsäuleninstabilitäten. *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete* 138: 162–8, 2000
13. Steffee AD, Sitkowski DJ: Posterior lumbar interbody fusion and plates. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 227: 99–102, 1988
14. Quante M, Kesten H, Richter A, Halm H: Transforaminale lumbale interkorporelle Fusion zur Versorgung der degenerativen Spondylolisthese. *Orthopäde* 41: 153–62, 2012
15. Gertzbein SD, Betz R, Clements D, Errico T, Hammerberg K, Robbins S, Shepherd E, Weber A, Kerina M, Albin J, Wolk D, Ensor K: Semirigid instrumentation in the management of lumbar spinal conditions combined with circumferential fusion. A multicenter study. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 21: 1918–25; discussion 1925–6, 1996
16. Baur-Melnyk A, Birkenmaier C, Reiser MF: Lumbale Bandscheibenendoprothesen: Indikationen, Biomechanik, Typen und radiologische Kriterien. *Radiologe* 46: 768, 770–8, 2006
17. Errico TJ: Lumbar disc arthroplasty. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 106–17, 2005
18. Mayer HM: Degenerative Erkrankungen der Lendenwirbelsäule. Bandscheibenersatz als Alternative zur Spondylodese? *Orthopäde* 34: 1007–14, 1016–20, 2005
19. Mayer HM: Diskogener Rückenschmerz und degenerative Spinalstenose. Wie sinnvoll sind operative Verfahren? *Schmerz* 15: 484–91, 2001
20. Tajima N, Chosa E, Watanabe S: Posterolateral lumbar fusion. *J. Orthop. Sci.* 9: 327–333, 2004
21. Abbushi A, Cabraja M, Thomale U-W, Woiciechowsky C, Kroppenstedt SN: The influence of cage positioning and cage type on cage migration and fusion rates in patients with monosegmental posterior lumbar interbody fusion and posterior fixation. *Eur. Spine J.* 18: 1621–8, 2009

22. Hibbs RA: An operation for progressive spinal deformities: a preliminary report of three cases from the service of the orthopaedic hospital. 1911. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 460: 17–20, 2007
23. Blumenthal SL, Gill K: Can lumbar spine radiographs accurately determine fusion in postoperative patients? Correlation of routine radiographs with a second surgical look at lumbar fusions. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 18: 1186–9, 1993
24. Brantigan JW, Steffee a D, Lewis ML, Quinn LM, Persenaire JM: Lumbar interbody fusion using the Brantigan I/F cage for posterior lumbar interbody fusion and the variable pedicle screw placement system: two-year results from a Food and Drug Administration investigational device exemption clinical trial. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 25: 1437–46, 2000
25. Cloward RB: Posterior lumbar interbody fusion updated. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 16–9, 1985
26. Rao PJ, Pelletier MH, Walsh WR, Mobbs RJ: Spine interbody implants: material selection and modification, functionalization and bioactivation of surfaces to improve osseointegration. *Orthop. Surg.* 6: 81–9, 2014
27. Brantigan JW: Pseudarthrosis rate after allograft posterior lumbar interbody fusion with pedicle screw and plate fixation. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 19: 1271–9; discussion 1280, 1994
28. Cloward RB: Spondylolisthesis: treatment by laminectomy and posterior interbody fusion. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 74–82, 1948
29. Albee FH: Transplantation of a portion of the tibia into the spine for Pott's disease: a preliminary report 1911. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 460: 14–6, 2007
30. Cloward RB: The treatment of ruptured lumbar intervertebral discs by vertebral body fusion. I. Indications, operative technique, after care. *J. Neurosurg.* 10: 154–68, 1953
31. Sengupta DK, Truumees E, Patel CK, Kazmierczak C, Hughes B, Elders G, Herkowitz HN: Outcome of local bone versus autogenous iliac crest bone graft in the instrumented posterolateral fusion of the lumbar spine. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 31: 985–91, 2006
32. Rickert M, Rauschmann M, Fleege C, Behrbalk E, Harms J: Interkorporelle Fusionsverfahren an der Wirbelsäule. Die Entwicklung aus historischer Sicht. *Der Orthopäde* 44: 104–13, 2015

33. Park JJ, Hershman SH, Kim YH: Updates in the use of bone grafts in the lumbar spine. *Bull. Hosp. Jt. Dis.* 71: 39–48, 2013
34. Zdeblick TA: A prospective, randomized study of lumbar fusion. Preliminary results. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 18: 983–91, 1993
35. Magerl FP: Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with external skeletal fixation. *Clin. Orthop. Relat. Res. &NA*; 125–41, 1984
36. Kim S-M, Rhee W, Ha S, Lim JH, Jang IT: Influence of alendronate and endplate degeneration to single level posterior lumbar spinal interbody fusion. *Korean J. Spine* 11: 221–6, 2014
37. Tempel ZJ, Gandhoke GS, Okonkwo DO, Kanter AS: Impaired bone mineral density as a predictor of graft subsidence following minimally invasive transposas lateral lumbar interbody fusion. *Eur. Spine J.* 2015
38. Brown CW, Orme TJ, Richardson HD: The rate of pseudarthrosis (surgical nonunion) in patients who are smokers and patients who are nonsmokers: a comparison study. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 11: 942–3, 1986
39. Frick H, Leonhardt H, Starck D: Allgemeine Anatomie, Spezielle Anatomie I. Extremitäten–Rumpfwand–Kopf–Hals. 4. Aufl. Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie 1. 1992
40. Blumensaat C, Clasing C: Anatomie und Klinik der lumbosacralen Übergangswirbel (Sakralisation und Lumbalisation). In: *Ergebnisse der Chirurgie und Orthopädie*, pp 1–59, 1932
41. Adams M a, Roughley PJ: What is intervertebral disc degeneration, and what causes it? *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 31: 2151–61, 2006
42. Rohen JW, Lütjen-Drecoll E: Funktionelle Anatomie des Menschen : Lehrbuch der makroskopischen Anatomie nach funktionellen Gesichtspunkten ; mit ... 44 Tabellen [Internet]. XII, 404 S., 2006
43. Kim SS, Denis F, Lonstein JE, Winter RB: Factors affecting fusion rate in adult spondylolisthesis. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 15: 979–84, 1990
44. Rüter W, Lohmann CH: Orthopädie und Unfallchirurgie. XIV, 360 S., 2014

45. White AA, Panjabi MM: The basic kinematics of the human spine. A review of past and current knowledge. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 3: 12–20, 1978
46. Bommas-Ebert U, Teubner P, Voß R: Kurzlehrbuch Anatomie und Embryologie : 46 Tabellen [Internet]. Thieme Electron. B. Libr. Online–Ressource, 2011
47. Tittel K: Beschreibende und funktionelle Anatomie des Menschen. 644 S., 1976
48. Yoshioka T, Tsuji H, Hirano N, Sainoh S: Motion characteristic of the normal lumbar spine in young adults: instantaneous axis of rotation and vertebral center motion analyses. *J Spinal Disord*. 3: 103–113, 1990
49. Bernhardt M, Bridwell KH: Segmental analysis of the sagittal plane alignment of the normal thoracic and lumbar spines and thoracolumbar junction. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 14: 717–21, 1989
50. Denis F: Spinal instability as defined by the three-column spine concept in acute spinal trauma. *Clin. Orthop. Relat. Res*. 65–76, 1984
51. Denis F: The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 8: 817–31, 1983
52. Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD, Harms J, Nazarian S: A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *Eur. Spine J*. 3: 184–201, 1994
53. Yang SW, Langrana NA, Lee CK: Biomechanics of lumbosacral spinal fusion in combined compression-torsion loads. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 11: 937–41, 1986
54. Graichen H, Putz R: Anatomical and functional aspects of the thoracic and lumbar spine. *Orthopade* 28: 424–431, 1999
55. Boos N, Weissbach S, Rohrbach H, Weiler C, Spratt KF, Nerlich AG: Classification of age-related changes in lumbar intervertebral discs: 2002 Volvo Award in basic science. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 27: 2631–44, 2002
56. Weiler C: In-situ-Analyse von Pathomechanismen der humanen Bandscheibendegeneration. *Pathologe* 34 Suppl 2: 251–9, 2013
57. Krämer J: Degenerative Wirbelsäulenerkrankungen. *Springer Lex. Diagnose Ther.* 125–146, 2006

58. Haher TR, O'Brien M, Dryer JW, Nucci R, Zipnick R, Leone DJ: The role of the lumbar facet joints in spinal stability. Identification of alternative paths of loading. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 19: 2667–70 discussion 2671, 1994
59. Gries NC, Berlemann U, Moore RJ, Vernon-Roberts B: Early histologic changes in lower lumbar discs and facet joints and their correlation. *Eur. Spine J*. 9: 23–9, 2000
60. Papanagiotou P, Boutchakova M: Spinalkanalstenose. *Radiologe* 54: 1087–92, 2014
61. Lombardi JS, Wiltse LL, Reynolds J, Widell EH, Spencer C: Treatment of Degenerative Spondylolisthesis. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 10: 821–827, 1985
62. Jang J-S, Lee S-H: Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion with ipsilateral pedicle screw and contralateral facet screw fixation. *J. Neurosurg. Spine* 3: 218–23, 2005
63. Oppenheim H, Krause F: Über Einklemmung bzw. Strangulation der cauda equina. *DMW-Deutsche Medizinische Wochenschrift* 35: 697–700, 1909
64. Mixter WJ, Barr JS: Rupture of the Intervertebral Disc with Involvement of the Spinal Canal*. *J. Neurosurg.* 21: 74–81, 1964
65. BARR JS: Ruptured intervertebral disc and sciatic pain. *J. Bone Joint Surg. Am.* 29: 429–37, 1947
66. Talia AJ, Wong ML, Lau HC, Kaye AH: Comparison of the different surgical approaches for lumbar interbody fusion. *J. Clin. Neurosci.* 22: 243–251, 2015
67. Frymoyer JW, Hanley E, Howe J, Kuhlmann D, Matteri R: Disc excision and spine fusion in the management of lumbar disc disease. A minimum ten-year followup. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 3: 1–6, 1978
68. Watkins MB: Posterolateral fusion of the lumbar and lumbosacral spine. *J. Bone Joint Surg. Am.* 35-A: 1014–8, 1953
69. Hadra BE: Wiring of the vertebrae as a means of immobilization in fracture and Potts' disease. 1891. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 460: 11–3, 2007
70. Lange F: Support for the Spondylitic Spine by Means of Buried Steel Bars , Attached to the Vertebrae. *Clin. Orthop. Relat. Res.* February: 3–6, 1986

71. King D: Internal fixation for lumbosacral fusion. *J. Bone Joint Surg. Am.* 30A: 560–5, 1948
72. Boucher HH: Method of spinal fusion. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 13: 4–9, 1997
73. Harrington PR: Treatment of scoliosis. Correction and internal fixation by spine instrumentation. *J. Bone Joint Surg. Am.* 44-A: 591–610, 1962
74. Roy-Camille R, Roy-Camille M, Demeulenaere C: Osteosynthesis of dorsal, lumbar, and lumbosacral spine with metallic plates screwed into vertebral pedicles and articular apophyses. *Presse Med.* 78: 1447–8, 1970
75. Mummaneni P V, Pan J, Haid RW, Rodts GE: Contribution of recombinant human bone morphogenetic protein-2 to the rapid creation of interbody fusion when used in transforaminal lumbar interbody fusion: a preliminary report. Invited submission from the Joint Section Meeting on Disorders of the Spine. *J. Neurosurg. Spine* 1: 19–23, 2004
76. Burns BH: An operation for Spondylolisthesis. *Lancet* 221: 1233, 1933
77. Bagby GW: Arthrodesis by the distraction-compression method using a stainless steel implant. *Orthopedics* 11: 931–4, 1988
78. Kuslich SD, Ulstrom CL, Griffith SL, Ahern JW, Dowdle JD: The Bagby and Kuslich method of lumbar interbody fusion. History, techniques, and 2-year follow-up results of a United States prospective, multicenter trial. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 23: 1267–78; discussion 1279, 1998
79. Bagby G: The Bagby and Kuslich (BAK) method of lumbar interbody fusion. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 24: 1857, 1999
80. Tarhan T, Froemel D, Rickert M, Rauschmann M, Fleege C: Geschichte des Wirbelkörperersatzes. *Unfallchirurg* 118: 73–79, 2015
81. Niu C-C, Liao J-C, Chen W-J, Chen L-H: Outcomes of interbody fusion cages used in 1 and 2-levels anterior cervical discectomy and fusion: titanium cages versus polyetheretherketone (PEEK) cages. *J. Spinal Disord. Tech.* 23: 310–6, 2010
82. Cutler AR, Siddiqui S, Mohan AL, Hillard VH, Cerabona F, Das K: Comparison of polyetheretherketone cages with femoral cortical bone allograft as a single-piece interbody spacer in transforaminal lumbar interbody fusion. *J. Neurosurg. Spine* 5: 534–9, 2006

83. Deutsch H, Musacchio MJ: Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion with unilateral pedicle screw fixation. *Neurosurg. Focus* 20: E10, 2006
84. Foley KT, Lefkowitz MA: Advances in minimally invasive spine surgery. *Clin. Neurosurg.* 49: 499–517, 2002
85. Wu W-J, Liang Y, Zhang X-K, Cao P, Zheng T: Complications and clinical outcomes of minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion for the treatment of one- or two-level degenerative disc diseases of the lumbar spine in patients older than 65 years. *Chin. Med. J. (Engl)*. 125: 2505–10, 2012
86. Beringer WF, Mobasser J-P: Unilateral pedicle screw instrumentation for minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion. *Neurosurg. Focus* 20: E4, 2006
87. Rouben D, Casnellie M, Ferguson M: Long-term durability of minimal invasive posterior transforaminal lumbar interbody fusion: a clinical and radiographic follow-up. *J. Spinal Disord. Tech.* 24: 288–96, 2011
88. Park P, Foley KT: Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion with reduction of spondylolisthesis: technique and outcomes after a minimum of 2 years' follow-up. *Neurosurg. Focus* 25: E16, 2008
89. Kim J-S, Jung B, Lee S-H: Instrumented Minimally Invasive spinal-Transforaminal Lumbar Interbody Fusion (MIS-TLIF); Minimum 5-years Follow-up With Clinical and Radiologic Outcomes. *J. Spinal Disord. Tech.* 2012
90. Schwender JD, Holly LT, Rouben DP, Foley KT: Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF): technical feasibility and initial results. *J. Spinal Disord. Tech.* 18 Suppl: S1–6, 2005
91. Khoo LT, Palmer S, Laich DT, Fessler RG: Minimally invasive percutaneous posterior lumbar interbody fusion. *Neurosurgery* 51: S166–81, 2002
92. Scheufler K-M, Dohmen H, Vougioukas VI: Percutaneous transforaminal lumbar interbody fusion for the treatment of degenerative lumbar instability. *Neurosurgery* 60: 203–12; discussion 212–3, 2007
93. Foley KT, Holly LT, Schwender JD: Minimally invasive lumbar fusion. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 28: S26–35, 2003

94. Pimenta L: Lateral endoscopic transpsoas retroperitoneal approach for lumbar spine surgery. In: *VIII Brazilian Spine Society Meeting*, 2001
95. Blake Rodgers W, Gerber EJ, Patterson J: Intraoperative and Early Postoperative Complications in Extreme Lateral Interbody Fusion An Analysis of 600 Cases. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 36: 26–33, 2011
96. Rouben D: P18. Minimally Invasive Transforaminal Posterior Interbody Fusion: A Prospective Study of 57 Consecutive Patients for a Minimum 5 Year Follow Up Treated for Symptomatic Segmental Lumbar Disc Disease-“SSLDD.” *Spine J*. 9: 122S–123S, 2009
97. Wu RH, Fraser JF, Härtl R: Minimal Access Versus Open Transforaminal Lumbar Interbody Fusion. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 35: 2273–2281, 2010
98. Ghormley RK: Low-back pain; surgical management. *AMA. Arch. Ind. Health* 19: 585–92, 1959
99. Hee HT, Castro FP, Majd ME, Holt RT, Myers L: Anterior/posterior lumbar fusion versus transforaminal lumbar interbody fusion: analysis of complications and predictive factors. *J. Spinal Disord*. 14: 533–40, 2001
100. Papakostidis C, Kontakis G, Bhandari M, Giannoudis P V: Efficacy of autologous iliac crest bone graft and bone morphogenetic proteins for posterolateral fusion of lumbar spine: a meta-analysis of the results. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 33: E680–92, 2008
101. Banwart JC, Asher M a, Hassanein RS: Iliac crest bone graft harvest donor site morbidity. A statistical evaluation. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 20: 1055–60, 1995
102. France JC, Schuster JM, Moran K, Dettori JR: Iliac Crest Bone Graft in Lumbar Fusion: The Effectiveness and Safety Compared with Local Bone Graft, and Graft Site Morbidity Comparing a Single-Incision Midline Approach with a Two-Incision Traditional Approach. *Glob. spine J*. 5: 195–206, 2015
103. Albrektsson T, Johansson C: Osteoinduction, osteoconduction and osseointegration. *Eur. Spine J*. 10 Suppl 2: S96–101, 2001
104. Brantigan JW, McAfee PC, Cunningham BW, Wang H, Orbegoso CM: Interbody lumbar fusion using a carbon fiber cage implant versus allograft bone. An investigational study in the Spanish goat. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 19: 1436–44, 1994

105. Kurtz SM, Devine JN: PEEK biomaterials in trauma, orthopedic, and spinal implants. *Biomaterials* 28: 4845–69, 2007
106. Taneichi H, Suda K, Kajino T, Matsumura A, Moridaira H, Kaneda K: Unilateral transforaminal lumbar interbody fusion and bilateral anterior-column fixation with two Brantigan I/F cages per level: clinical outcomes during a minimum 2-year follow-up period. *J. Neurosurg. Spine* 4: 198–205, 2006
107. Lee JC, Kim Y, Soh J-W, Shin B-J: Risk Factors of Adjacent Segment Disease Requiring Surgery After Lumbar Spinal Fusion: Comparison of Posterior Lumbar Interbody Fusion and Posterolateral Fusion. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 39: E339–E345, 2014
108. Nagata H, Schendel MJ, Transfeldt EE, Lewis JL: The effects of immobilization of long segments of the spine on the adjacent and distal facet force and lumbosacral motion. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 18: 2471–9, 1993
109. Lee JC, Choi S-W: Adjacent Segment Pathology after Lumbar Spinal Fusion. *Asian Spine J.* 9: 807–17, 2015
110. Tsuang YH, Yang RS, Chen PQ, Liu TK: Experimental allograft in spinal fusion in dogs. *Taiwan Yi Xue Hui Za Zhi.* 88: 989–994, 1989
111. Villavicencio AT, Burneikiene S, Nelson EL, Bulsara KR, Favors M, Thramann J: Safety of transforaminal lumbar interbody fusion and intervertebral recombinant human bone morphogenetic protein-2. *J. Neurosurg. Spine* 3: 436–43, 2005
112. Hackenberg L, Halm H, Bullmann V, Vieth V, Schneider M, Liljenqvist U: Transforaminal lumbar interbody fusion: a safe technique with satisfactory three to five year results. *Eur. Spine J.* 14: 551–8, 2005
113. Vaidya R, Weir R, Sethi A, Meisterling S, Hakeos W, Wybo CD: Interbody fusion with allograft and rhBMP-2 leads to consistent fusion but early subsidence. *J. Bone Joint Surg. Br.* 89: 342–5, 2007
114. Steinmann JC, Herkowitz HN: Pseudarthrosis of the spine. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 17: 80–90, 1992
115. Suk SI, Lee CK, Kim WJ, Lee JH, Cho KJ, Kim HG: Adding posterior lumbar interbody fusion to pedicle screw fixation and posterolateral fusion after decompression in spondylolytic spondylolisthesis. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 22: 210–9; discussion 219–20, 1997

116. Shirado O, Zdeblick TA, McAfee PC, Warden KE: Biomechanical evaluation of methods of posterior stabilization of the spine and posterior lumbar interbody arthrodesis for lumbosacral isthmic spondylolisthesis. A calf-spine model. *J. Bone Joint Surg. Am.* 73: 518–526, 1991
117. Buckwalter JA, Glimcher MJ, Cooper RR, Recker R: Bone biology. II: Formation, form, modeling, remodeling, and regulation of cell function. *Instr. Course Lect.* 45: 387–99, 1996
118. Hee HT, Majd ME, Holt RT, Myers L: Do autologous growth factors enhance transforaminal lumbar interbody fusion? *Eur. Spine J.* 12: 400–7, 2003
119. Lim TH, Kwon H, Jeon CH, Kim JG, Sokolowski M, Natarajan R, An HS, Andersson GB: Effect of endplate conditions and bone mineral density on the compressive strength of the graft-endplate interface in anterior cervical spine fusion. *Spine (Phila. Pa. 1976).* 26: 951–6, 2001
120. Brodsky AE, Kovalsky ES, Khalil MA: Correlation of radiologic assessment of lumbar spine fusions with surgical exploration. *Spine (Phila. Pa. 1976).* 16: S261–5, 1991
121. Steffee AD, Brantigan JW: The variable screw placement spinal fixation system. Report of a prospective study of 250 patients enrolled in Food and Drug Administration clinical trials. *Spine (Phila. Pa. 1976).* 18: 1160–72, 1993
122. Lauber S, Schulte TL, Liljenqvist U, Halm H, Hackenberg L: Clinical and radiologic 2-4-year results of transforaminal lumbar interbody fusion in degenerative and isthmic spondylolisthesis grades 1 and 2. *Spine (Phila. Pa. 1976).* 31: 1693–8, 2006
123. McAfee PC: Interbody fusion cages in reconstructive operations on the spine. *J. Bone Joint Surg. Am.* 81: 859–80, 1999
124. Lenke LG, Bridwell KH, Bullis D, Betz R, Baldus C, Schoenecker P: Results of Insitu Fusion for Isthmic Spondylolysis. *J. Spinal Disord.* 5: 433–442, 1992
125. Kuklo TR, Rosner MK, Polly DW: Computerized tomography evaluation of a resorbable implant after transforaminal lumbar interbody fusion. *Neurosurg. Focus* 16: E10, 2004
126. Baker JK, Reardon PR, Reardon MJ, Heggeness MH: Vascular injury in anterior lumbar surgery. *Spine (Phila. Pa. 1976).* 18: 2227–30, 1993

127. Christensen FB, Bünger CE: Retrograde ejaculation after retroperitoneal lower lumbar interbody fusion. *Int. Orthop.* 21: 176–80, 1997
128. Humphreys SC, Hodges SD, Patwardhan a G, Eck JC, Murphy RB, Covington L a: Comparison of posterior and transforaminal approaches to lumbar interbody fusion. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 26: 567–571, 2001
129. Salehi S a., Tawk R, Ganju A, LaMarca F, Liu JC, Ondra SL: Transforaminal Lumbar Interbody Fusion: Surgical Technique and Results in 24 Patients. *Neurosurgery* 54: 368–374, 2004
130. Jurbala BM, Kelly JD, Dempsey DT, Caroline DF: Gastroparaspinal fistula: a late postoperative complication of anterior spinal fusion. *Orthopedics* 20: 985–7, 1997
131. Chan FL, Chow SP: Retroperitoneal fibrosis after anterior spinal fusion. *Clin. Radiol.* 34: 331–5, 1983
132. Lee CS, Hwang CJ, Lee D-H, Kim Y-T, Lee HS: Fusion rates of instrumented lumbar spinal arthrodesis according to surgical approach: a systematic review of randomized trials. *Clin. Orthop. Surg.* 3: 39–47, 2011
133. Mummaneni P V, Lin FJ, Haid RW, Rodts GE, Subach BR, Miller JS: Current indications and techniques for anterior approaches to the lumbar spine. *Contemp. Spine Surg.* 3: 57–64, 2002
134. Knight RQ, Schwaegler P, Hanscom D, Roh J: Direct lateral lumbar interbody fusion for degenerative conditions: early complication profile. *J. Spinal Disord. Tech.* 22: 34–37, 2009
135. Isiklar ZU, Lindsey RW, Coburn M: Ureteral injury after anterior lumbar interbody fusion. A case report. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 21: 2379–82, 1996
136. Hackenberg L, Liljenqvist U, Halm H, Winkelmann W: 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, 2001
137. Salehi S a., Tawk R, Ganju A, LaMarca F, Liu JC, Ondra SL: Transforaminal Lumbar Interbody Fusion: Surgical Technique and Results in 24 Patients. *Neurosurgery* [Internet] 54: 368–374, 2004

138. Lowe TG, Tahernia a D, O'Brien MF, Smith D a B: Unilateral transforaminal posterior lumbar interbody fusion (TLIF): indications, technique, and 2-year results. *J. Spinal Disord. Tech.* [Internet] 15: 31–8, 2002
139. Hackenberg L, Halm H, Bullmann V, Vieth V, Schneider M, Liljenqvist U: Transforaminal lumbar interbody fusion: a safe technique with satisfactory three to five year results. *Eur. Spine J.* [Internet] 14: 551–8, 2005
140. Fairbank JC, Couper J, Davies JB, O'Brien JP: The Oswestry low back pain disability questionnaire. *Physiotherapy* 66: 271–273, 1980
141. Hayes MHS, Patterson DG: Experimental development of the graphic rating method. *Psychol Bull* 18: 98–99, 1921
142. Boulay C, Tardieu C, Hecquet J, Benaim C, Mouilleseaux B, Marty C, Prat-Pradal D, Legaye J, Duval-Beaupère G, Pélissier J: Sagittal alignment of spine and pelvis regulated by pelvic incidence: Standard values and prediction of lordosis. *Eur. Spine J.* 15: 415–422, 2006
143. Deutsche Wirbelsäulengesellschaft: DWG Benchmarking report.
144. Buttermann GR, Garvey TA, Hunt AF, Transfeldt EE, Bradford DS, Boachie-Adjei O, Ogilvie JW: Lumbar fusion results related to diagnosis. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 23: 116–127, 1998
145. Lowe TG, Tahernia a D: Unilateral transforaminal posterior lumbar interbody fusion. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 64–72, 2002
146. Yan D, Pei F, Li J, Soo C: Comparative study of PILF and TLIF treatment in adult degenerative spondylolisthesis. *Eur. Spine J.* 17: 1311–6, 2008
147. Potter BK, Freedman BA, Verwiebe EG, Hall JM, Polly DW, Kuklo TR: Transforaminal lumbar interbody fusion: clinical and radiographic results and complications in 100 consecutive patients. *J. Spinal Disord. Tech.* 18: 337–46, 2005
148. Fischgrund JS, Mackay M, Herkowitz HN, Brower R, Montgomery DM, Kurz LT: 1997 Volvo Award winner in clinical studies. Degenerative lumbar spondylolisthesis with spinal stenosis: a prospective, randomized study comparing decompressive laminectomy and arthrodesis with and without spinal instrumentation. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 22: 2807–12, 1997

149. Kornblum MB, Fischgrund JS, Herkowitz HN, Abraham DA, Berkower DL, Ditkoff JS: Degenerative lumbar spondylolisthesis with spinal stenosis: a prospective long-term study comparing fusion and pseudarthrosis. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 29: 724–726, 2004
150. DePalma AF, Rothman RH: The nature of pseudarthrosis. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 59: 113–8, 1968
151. Herkowitz HN, Kurz LT: Degenerative lumbar spondylolisthesis with spinal stenosis. A prospective study comparing decompression with decompression and intertransverse process arthrodesis. *J. Bone Joint Surg. Am.* 73: 802–8, 1991
152. Mardjetko SM, Connolly PJ, Shott S: Degenerative Lumbar Spondylolisthesis. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 19: 2256S–2265S, 1994
153. Diedrich O, Perlick L, Schmitt O, Kraft CN: Radiographic characteristics on conventional radiographs after posterior lumbar interbody fusion: comparative study between radiotranslucent and radiopaque cages. *J. Spinal Disord.* 14: 522–32, 2001
154. Faundez AA, Schwender JD, Safriel Y, Gilbert TJ, Mehbod AA, Denis F, Transfeldt EE, Wroblewski JM: Clinical and radiological outcome of anterior-posterior fusion versus transforaminal lumbar interbody fusion for symptomatic disc degeneration: a retrospective comparative study of 133 patients. *Eur. Spine J.* 18: 203–11, 2009
155. Howe J, Frymoyer JW: The effects of questionnaire design on the determination of end results in lumbar spinal surgery. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 10: 804–5, 1985
156. Frymoyer JW, Matteri RE, Hanley EN, Kuhlmann D, Howe J: Failed lumbar disc surgery requiring second operation. A long-term follow-up study. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 3: 7–11, 1978
157. Hadjipavlou A, Enker P, Dupuis P, Katzman S, Silver J: The causes of failure of lumbar transpedicular spinal instrumentation and fusion: a prospective study. *Int. Orthop.* 20: 35–42, 1996
158. Lehmann TR, LaRocca HS: Repeat Lumbar Surgery. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 6: 615–619, 1981
159. Wiltse LL, Rocchio PD: Preoperative psychological tests as predictors of success of chemonucleolysis in the treatment of the low-back syndrome. *J. Bone Joint Surg. Am.* 57: 478–483, 1975

160. European Prospective Osteoporosis Study (EPOS) Group, Felsenberg D, Silman AJ, Lunt M, Armbrecht G, Ismail AA, Finn JD, Cockerill WC, Banzer D, Benevolenskaya LI, Bhalla A, Bruges Armas J, Cannata JB, Cooper C, Dequeker J, Eastell R, Felsch B, Gowin W, Havelka S, Hozowski K, Jajic I, Janott J, Johnell O, Kanis JA, Kragl G, Lopes Vaz A, Lorenc R, Lyritis G, Masaryk P, Matthis C, Miazgowski T, Parisi G, Pols HAP, Poor G, Raspe HH, Reid DM, Reisinger W, Schedit-Nave C, Stepan JJ, Todd CJ, Weber K, Woolf AD, Yershova OB, Reeve J, O'Neill TW: Incidence of vertebral fracture in europe: results from the European Prospective Osteoporosis Study (EPOS). *J. Bone Miner. Res.* 17: 716–24, 2002

161. Schulte TL, Bullmann V, Lerner T, Schneider M, Marquardt B, Liljenqvist U, Pietilä TA, Hackenberg L: Lumbale spinalkanalstenose. *Orthopade* 35: 675–694, 2006

162. Katz JN, Stucki G, Lipson SJ, Fossel AH, Grobler LJ, Weinstein JN: Predictors of surgical outcome in degenerative lumbar spinal stenosis. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 24: 2229–33, 1999

163. Fokter SK, Yerby SA: Patient-based outcomes for the operative treatment of degenerative lumbar spinal stenosis. *Eur. Spine J.* 15: 1661–1669, 2006

164. Galiano K, Obwegeser AA, Gabl M V, Bauer R, Twerdy K: Long-term outcome of laminectomy for spinal stenosis in octogenarians. *Spine (Phila Pa 1976)* 30: 332–335, 2005

165. Tandon V, Campbell F, Ross ERS: Posterior Lumbar Interbody Fusion. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 24: 1833, 1999

166. Burton C V, Kirkaldy-Willis WH, Yong-Hing K, Heithoff KB: Causes of failure of surgery on the lumbar spine. *Clin Orthop Relat Res* 191–199, 1981

167. Agazzi S, Reverdin A, May D: Posterior lumbar interbody fusion with cages: an independent review of 71 cases. *J. Neurosurg.* 91: 186–192, 1999

168. Greenough CG, Taylor LJ, Fraser RD: Anterior lumbar fusion. A comparison of noncompensation patients with compensation patients. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 30–7, 1994

169. Hagg O, Fritzell P, Hedlund R, Moller H, Ekselius L, Nordwall A: Pain-drawing does not predict the outcome of fusion surgery for chronic low-back pain: a report from the Swedish Lumbar Spine Study. *Eur. spine J. Off. Publ. Eur. Spine Soc. Eur. Spinal Deform. Soc. Eur. Sect. Cerv. Spine Res. Soc.* 12: 2–11, 2003

170. Mayr M, Högler S, Ghedina W, Berek K: Low back pain and psychiatric disorders. *Lancet (London, England)* 361: 531, 2003
171. Closkey RF, Parsons JR, Lee CK, Blacksin MF, Zimmermant MC: Mechanics of Interbody Spinal Fusion. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 18: 1011–1015, 1993
172. Javernick MA, Kuklo TR, Polly DWJ: Transforaminal lumbar interbody fusion: unilateral versus bilateral disk removal--an in vivo study. *Am. J. Orthop. (Belle Mead. NJ)*. 32: 344–8; discussion 348, 2003
173. Muschler GF, Lane JM, Dawson EG: The Biology of Spinal Fusion. In: *Spinal Fusion*, pp 9–21, 1990
174. Rivet DJ, Jeck D, Brennan J, Epstein A, Laurysen C: Clinical outcomes and complications associated with pedicle screw fixation-augmented lumbar interbody fusion. *J. Neurosurg. Spine* 1: 261–6, 2004
175. Anand N, Hamilton JF, Perri B, Miraliakbar H, Goldstein T: Cantilever TLIF with structural allograft and RhBMP2 for correction and maintenance of segmental sagittal lordosis: long-term clinical, radiographic, and functional outcome. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 31: E748–53, 2006
176. Sandhu HS, Kanim LEA, Toth JM, Kabo JM, Liu D, Delamarter RB, Dawson EG: Experimental spinal fusion with recombinant human bone morphogenetic protein-2 without decortication of osseous elements. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 22: 1171–80, 1997
177. Grob D, Scheier HJ, Dvorak J, Siegrist H, Rubeli M, Joller R: Circumferential fusion of the lumbar and lumbosacral spine. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 111: 20–5, 1991
178. Louis R: Fusion of the lumbar and sacral spine by internal fixation with screw plates. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 18–33, 1986
179. O'Brien JP, Dawson MH, Heard CW, Momberger G, Speck G, Weatherly CR: Simultaneous combined anterior and posterior fusion. A surgical solution for failed spinal surgery with a brief review of the first 150 patients. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 191–5, 1986
180. Gorth DJ, Puckett S, Ercan B, Webster TJ, Rahaman M, Sonny Bal B: Decreased bacteria activity on Si3N4 surfaces compared with PEEK or titanium. *Int. J. Nanomedicine* 7: 4829–4840, 2012

181. Rochford ETJ, Poulsson AHC, Salavarrrieta Varela J, Lezuo P, Richards RG, Moriarty TF: Bacterial adhesion to orthopaedic implant materials and a novel oxygen plasma modified PEEK surface. *Colloids Surfaces B Biointerfaces* 113: 213–222, 2014
182. Webster TJ, Patel AA, Rahaman MN, Sonny Bal B: Anti-infective and osteointegration properties of silicon nitride, poly(ether ether ketone), and titanium implants. *Acta Biomater.* 8: 4447–4454, 2012
183. Itoh H, Ebara S, Kamimura M, Tateiwa Y, Kinoshita T, Yuzawa Y, Takaoka K: Experimental Spinal Fusion With Use of Recombinant Human Bone Morphogenetic Protein 2. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 24: 1402, 1999
184. Boden SD, Zdeblick T a, Sandhu HS, Heim SE: The use of rhBMP-2 in interbody fusion cages. Definitive evidence of osteoinduction in humans: a preliminary report. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 25: 376–381, 2000
185. Lanman TH, Hopkins TJ: Lumbar interbody fusion after treatment with recombinant human bone morphogenetic protein-2 added to poly(L-lactide-co-D,L-lactide) bioresorbable implants. *Neurosurg. Focus* [Internet] 16: E9, 2004
186. Joseph V, Rampersaud YR: Heterotopic bone formation with the use of rhBMP2 in posterior minimal access interbody fusion: a CT analysis. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 32: 2885–90, 2007
187. Haid RW, Branch CL, Alexander JT, Burkus JK: Posterior lumbar interbody fusion using recombinant human bone morphogenetic protein type 2 with cylindrical interbody cages. *Spine J.* 4: 527–38; discussion 538–9, 2016
188. Mindea SA, Shih P, Song JK: Recombinant human bone morphogenetic protein-2-induced radiculitis in elective minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusions: a series review. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 34: 1480–4; discussion 1485, 2009
189. McClellan JW, Mulconrey DS, Forbes RJ, Fullmer N: Vertebral bone resorption after transforaminal lumbar interbody fusion with bone morphogenetic protein (rhBMP-2). *J. Spinal Disord. Tech.* 19: 483–486, 2006
190. Houten JK, Post NH, Dryer JW, Errico TJ: Clinical and radiographically/neuroimaging documented outcome in transforaminal lumbar interbody fusion. *Neurosurg. Focus* 20: E8, 2006

191. Chen H-H, Cheung H-H, Wang W-K, Li A, Li K-C: Biomechanical analysis of unilateral fixation with interbody cages. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 30: E92–6, 2005
192. Wu RH, Fraser JF, Härtl R: Minimal access versus open transforaminal lumbar interbody fusion: meta-analysis of fusion rates. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. [Internet] 35: 2273–2281, 2010
193. Kwon BK, Berta S, Daffner SD, Vaccaro AR, Hilibrand AS, Grauer JN, Beiner J, Albert TJ: Radiographic analysis of transforaminal lumbar interbody fusion for the treatment of adult isthmic spondylolisthesis. *J. Spinal Disord. Tech.* 16: 469–76, 2003
194. Kim KS, Yang TK, Lee JC: Radiological changes in the bone fusion site after posterior lumbar interbody fusion using carbon cages impacted with laminar bone chips: follow-up study over more than 4 years. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 30: 655–660, 2005
195. Grant JP, Oxland TR, Dvorak MF: Mapping the structural properties of the lumbosacral vertebral endplates. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 26: 889–96, 2001
196. Labrom RD, Tan J-S, Reilly CW, Tredwell SJ, Fisher CG, Oxland TR: The effect of interbody cage positioning on lumbosacral vertebral endplate failure in compression. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 30: E556–61, 2005
197. Zhao F, Yang W, Shan Z, Wang J, Chen H, Hong Z, Qian Y, He D, Fan S: Cage migration after transforaminal lumbar interbody fusion and factors related to it. *Orthop. Surg.* 4: 227–32, 2012
198. Weinstein JN, Spratt KF, Spengler D, Brick C, Reid S: Spinal Pedicle Fixation: Reliability and Validity of Roentgenogram-Based Assessment and Surgical Factors on Successful Screw Placement. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 13: 1012–1018, 1988
199. Cole CD, McCall TD, Schmidt MH, Dailey AT: Comparison of low back fusion techniques: Transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF) or posterior lumbar interbody fusion (PLIF) approaches. *Curr. Rev. Musculoskelet. Med.* 2: 118–126, 2009
200. Grubb SA, Lipscomb HJ: Results of lumbosacral fusion for degenerative disc disease with and without instrumentation. Two- to five-year follow-up. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 17: 349–55, 1992

201. Yuan HA, Garfin SR, Dickman CA, Mardjetko SM: A Historical Cohort Study of Pedicle Screw Fixation in Thoracic, Lumbar, and Sacral Spinal Fusions. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 19: 2279S–2296S, 1994
202. Esses SI, Sachs BL, Dreyzin V: Complications Associated with the Technique of Pedicle Screw Fixation A Selected Survey of ABS Members. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 18: 2231–2239, 1993
203. Okuyama K, Abe E, Suzuki T, Tamura Y, Chiba M, Sato K: Can insertional torque predict screw loosening and related failures? An in vivo study of pedicle screw fixation augmenting posterior lumbar interbody fusion. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 25: 858–64, 2000
204. Ould-Slimane M, Lenoir T, Dauzac C, Rillardon L, Hoffmann E, Guigui P, Ilharberorde B: Influence of transforaminal lumbar interbody fusion procedures on spinal and pelvic parameters of sagittal balance. *Eur. Spine J.* 21: 1200–6, 2012
205. Larsen JM, Rimoldi RL, Capen DA, Nelson RW, Nagelberg S, Thomas JC: Assessment of pseudarthrosis in pedicle screw fusion: a prospective study comparing plain radiographs, flexion/extension radiographs, CT scanning, and bone scintigraphy with operative findings. *J. Spinal Disord.* 9: 117–20, 1996
206. Resnick DK, Choudhri TF, Dailey AT, Groff MW, Khoo L, Matz PG, Mummaneni P, Watters WC, Wang J, Walters BC, Hadley MN, American Association of Neurological Surgeons/Congress of Neurological Surgeons: Guidelines for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 4: radiographic assessment of fusion. *J. Neurosurg. Spine* 2: 653–7, 2005
207. Christensen FB, Laursen M, Gelineck J, Eiskjær SP, Thomsen K, Bünger CE: Interobserver and Intraobserver Agreement of Radiograph Interpretation With and Without Pedicle Screw Implants: The Need for a Detailed Classification System in Posterolateral Spinal Fusion. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. [Internet] 26: 2001
208. Hilibrand AS, Dina TS: The use of diagnostic imaging to assess spinal arthrodesis. *Orthop. Clin. North Am.* 29: 591–601, 1998
209. Ray CD: Threaded titanium cages for lumbar interbody fusions. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 22: 667–79; discussion 679–80, 1997
210. JW. B: A carbon fiber implant to aid inter- body fusion. Two-year clinical results in the first 26 patients.

211. Diedrich O, Kraft CN, Perlick L, Schmitt O: Die dorsale lumbale interkorporelle Fusion mit Cages (PLIF) und transpedikulärer Stabilisierung. *Zentralbl. Neurochir.* 62: 106–113, 2001

7 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Bewegungssegment nach Junghanns, 1= Bandscheibe, 2= Bewegungssegment, 3= Foramen intervertebrals ³	2
Abbildung 2: Bewegungsumfang eines Wirbelsäulensegments: Flexion/Extension, Rotation in beide Richtungen, Lateralflexion in beide Richtungen ⁴⁵	6
Abbildung 3: Segmentlordosen der Wirbelsäule in Grad [°] ⁴⁹	7
Abbildung 4: Drei-Säulen-Modell nach Denis ⁵¹ , ALL= anterior longitudinal ligament, PLL= posterior longitudinal ligament, SSL= supraspinous ligament	8
Abbildung 5: Röntgenbild der lumbalen Wirbelsäule anterior-posterior (rechts) und lateral (links) mit osteoporotisch verändertem Knochen, Sklerosierungen der Grund- und Deckplatten, Osteochondrosen, degenerative Spondylolisthese im Segment L4/5 und Sinterung der Bandscheiben (Bilder aus dem eigenen Patientengut).....	10
Abbildung 6: Sagittale T1-MRT-Aufnahme mit degenerativem Wirbelgleiten und daraus resultierender Spinalkanalstenose (links) und Foramenstenose (rechts) ⁶² (Bilder aus dem eigenen Patientengut)	11
Abbildung 7: Einbringen von Pedikelschrauben, die anschließend über Längsträger miteinander verbunden werden ¹¹	12
Abbildung 8: Längsträger, die die Pedikelschrauben miteinander verbinden. Intervertebral liegt ein Cage mit Fusionsmaterial in und um den Cage ⁷⁵	13
Abbildung 9: Zugänge zum Bandscheibenfach zur interkorporellen Fusion: ALIF= anteriore lumbale interkorporelle Fusion, TLIF= transforaminale lumbale interkorporelle Fusion, PLIF= posteriore lumbale interkorporelle Fusion, LLIF= laterale lumbale interkorporelle Fusion ⁶⁶	14
Abbildung 10: Bagby Basket: Stahlzylinder zur anterioren interkorporellen Fusion von Bagby ⁷⁷ zur Behandlung des „Wobbler Syndroms“ bei Pferden ^{32,77,78}	15
Abbildung 11: Bagby- und Kuslich-Implantat (BAK-Cage) aus Titan zum Einschrauben in das Bandscheibenfach bei lumbalen interkorporellen Fusionen bei degenerativen Wirbelsäulenerkrankungen bei Menschen ^{32,78,79}	16
Abbildung 12: 1986: erster Einsatz eines „Harms Cage“ bei Wirbelkörperfraktur als Wirbelkörperersatz ^{32,80}	17
Abbildung 13: Brantigan I/F Cage (DePuy-AcroMed Corp., Raynham, MA) aus Polyetherketonetherketonketon (PEKEKK) mit Carbonfasern ²⁴	18
Abbildung 14: Wirbelkörpermodell mit Cage für transforaminale interkorporelle Fusion befüllt mit Fusionsmaterial ⁶⁶	18
Abbildung 15: Polyetheretherketon-Implantat Typ Mobis I (PEEK-Cage) mit freundlicher Genehmigung von Signus Medizintechnik, Alzenau	19
Abbildung 16: unilaterale Facettektomie zur Eröffnung des Neuroforamens ¹³⁹	26
Abbildung 17: Übersicht über die Anzahl der operierten Segmente und Verteilung der bisegmental operierten Segmente auf die beiden zu untersuchenden Segmente L3/4 und L4/5.....	28
Abbildung 18: Übersicht über die Fusionsgruppen zur Auswertung der Korrelation Fusionsergebnis und klinisches Outcome: Gesamtpopulation (n=39), Gruppe F1 mit	

Fusion in allen versorgten Segmenten, Gruppe F2 mit keiner Fusion und keiner stabilen	30
Abbildung 19: Definition Cage Position bei radiologischer Auswertung anhand von Röntgenbildern	39
Abbildung 20: Berechnung Zwischenwirbelraumhöhe	40
Abbildung 21: Bestimmung der Lendenlordose	41
Abbildung 22: Messung der spinopelvinen Parameter ¹⁴²	42

8 TABELLENVERZEICHNIS

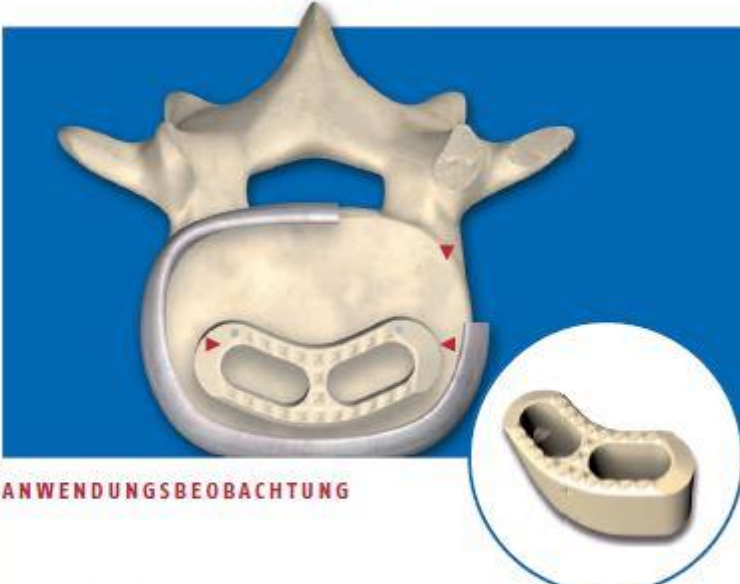
Tabelle 1: Drei-Säulen Modell nach Denis ⁵¹	7
Tabelle 2: Fusionsraten offene TLIF-Technik	23
Tabelle 3: Vor- und Nachteile der Zugangswege zur interkorporellen Fusion 9,95,99,112,126–134	24
Tabelle 4: Demographie der Patienten, die in den Segmenten L3/4 (S1) und L4/5 (S2) operiert worden sind (S=Segment, Sd= Standardabweichung)	29
Tabelle 5: Übersicht über die Fusionsgruppen zum Vergleich des klinischen Outcomes	30
Tabelle 6: Demographie der Fusionsgruppen (F1-F3), die zur Auswertung der Korrelation Fusionsergebnis und klinisches Outcome dienten	31
Tabelle 7: Einschlusskriterien	32
Tabelle 8: Ausschlusskriterien	32
Tabelle 9: Bandscheibendegenerationen und deren Folgen als Operationsindikationen für TLIF L3/4 und/oder L4/5 2009 bis 2012 in der orthopädischen und unfallchirurgischen Klinik des St. Marienkrankenhauses in Ludwigshafen am Rhein	33
Tabelle 10: Instrumente der Fragebögen zur Erfassung des klinischen Outcomes..	34
Tabelle 11: Standard der Follow Up Röntgenaufnahmen	36
Tabelle 12: Unterpunkte des radiologischen Auswertungsbogens	37
Tabelle 13: Fusionskriterien in Anlehnung an Abbushi ¹⁸ (Knochenbrücke, keine Aufhellung um den Cage, keine Segmentinstabilität) und McAfee ¹¹³ (keine Cagemigration, fehlende Osteolyse, keine Schraubenlockerung)	38
Tabelle 14: Intraoperative Komplikationen.....	45
Tabelle 15: Postoperative Komplikationen: Beobachtete Schraubenlockerungen und Cagemigration (Einsenkung, Dislokation, Rotation) beim Vergleich der postoperativen und Follow Up Röntgenbilder	46
Tabelle 16: Häufigkeit einer Fusion und segmentbezogenes Fusionsverhalten	47
Tabelle 17: Deskription VAS Werte der Fusionsgruppen (F= Fusionsgruppe, Mw= Mittelwert, Sd=Standardabweichung)	47
Tabelle 18: Deskription ODI Werte [%] der Fusionsgruppen (F= Fusionsgruppe, Mw= Mittelwert, Sd=Standardabweichung)	48
Tabelle 19: Klinisches Ergebnis bei Patienten mit Pseudarthrose (Gruppe F3)	49
Tabelle 20: Klinisches Ergebnis bei Patienten mit Pseudarthrose und Patienten mit Fusion.....	49

9 ANHANG

Anhang 1: Fragebogen präoperativ

Anwendungsbeobachtung
retrospektiv

MOBIS®
Monoportaler Zugang – Bilateraler Support



ANWENDUNGSBEOBACHTUNG

Patient

Initialen:

Nummer:

Geb.-Datum:

OP-Datum:

prä-operativ

TLIF

SIGNUS
MEDIZIN

DATA SHEET

STUDIE	2
Datenbogen	
1. OSWESTRY DISABILITY INDEX (ODI)	3
2. CORE OUTCOME MEASURES INDEX (COMI)	7
3. MILLION VAS (MVAS)	11

OSWESTRY DISABILITY INDEX (ODI)

3

Dieser Fragebogen soll uns darüber informieren, wie Ihre Rücken- (oder Bein-) Probleme Ihre Fähigkeit beeinflussen, den Alltag zu bewältigen. Wir bitten Sie, jeden Abschnitt zu beantworten. Kreuzen Sie in jedem Abschnitt nur die Aussage an, die Sie heute am besten beschreibt.

Abschnitt 1: Schmerzstärke

- Ich habe momentan keine Schmerzen
- Die Schmerzen sind momentan sehr schwach
- Die Schmerzen sind momentan mäßig
- Die Schmerzen sind momentan ziemlich stark
- Die Schmerzen sind momentan sehr stark
- Die Schmerzen sind momentan so schlimm wie nur vorstellbar

Abschnitt 2: Körperpflege (Waschen, Anziehen etc.)

- Ich kann meine Körperpflege normal durchführen, ohne dass die Schmerzen dadurch stärker werden
- Ich kann meine Körperpflege normal durchführen, aber es ist schmerzhaft
- Meine Körperpflege durchzuführen ist schmerzhaft, und ich bin langsam und vorsichtig
- Ich brauche bei der Körperpflege etwas Hilfe, bewältige das meiste aber selbst
- Ich brauche täglich Hilfe bei den meisten Aspekten der Körperpflege
- Ich kann mich nicht selbst anziehen, wasche mich mit Mühe und bleibe im Bett

Abschnitt 3: Heben

- Ich kann schwere Gegenstände heben, ohne dass die Schmerzen dadurch stärker werden
- Ich kann schwere Gegenstände heben, aber die Schmerzen werden dadurch stärker
- Schmerzen hindern mich daran, schwere Gegenstände vom Boden zu heben, aber es geht, wenn sie geeignet stehen (z.B. auf einem Tisch)
- Schmerzen hindern mich daran, schwere Gegenstände zu heben, aber ich kann leichte bis mittelschwere Gegenstände heben, wenn sie geeignet stehen
- Ich kann nur sehr leichte Gegenstände heben
- Ich kann überhaupt nichts heben oder tragen

Abschnitt 4: Gehen

- Schmerzen hindern mich nicht daran, so weit zu gehen, wie ich möchte
- Schmerzen hindern mich daran, mehr als 1-2 km zu gehen
- Schmerzen hindern mich daran, mehr als 0.5 km zu gehen
- Schmerzen hindern mich daran, mehr als 100 m zu gehen
- Ich kann nur mit einem Stock oder Krücken gehen
- Ich bin die meiste Zeit im Bett und muss mich zur Toilette schleppen

STUDIE

4

Abschnitt 5: Sitzen

- Ich kann auf jedem Stuhl so lange sitzen wie ich möchte
- Ich kann auf meinem Lieblingsstuhl so lange sitzen wie ich möchte
- Schmerzen hindern mich daran, länger als 1 Stunde zu sitzen
- Schmerzen hindern mich daran, länger als eine halbe Stunde zu sitzen
- Schmerzen hindern mich daran, länger als 10 Minuten zu sitzen
- Schmerzen hindern mich daran, überhaupt zu sitzen

Abschnitt 6: Stehen

- Ich kann so lange stehen wie ich möchte, ohne dass die Schmerzen dadurch stärker werden
- Ich kann so lange stehen wie ich möchte, aber die Schmerzen werden dadurch stärker
- Schmerzen hindern mich daran, länger als 1 Stunde zu stehen
- Schmerzen hindern mich daran, länger als eine halbe Stunde zu stehen
- Schmerzen hindern mich daran, länger als 10 Minuten zu stehen
- Schmerzen hindern mich daran, überhaupt zu stehen

Abschnitt 7: Schlafen

- Mein Schlaf ist nie durch Schmerzen gestört
- Mein Schlaf ist gelegentlich durch Schmerzen gestört
- Ich schlafe auf Grund von Schmerzen weniger als 6 Stunden
- Ich schlafe auf Grund von Schmerzen weniger als 4 Stunden
- Ich schlafe auf Grund von Schmerzen weniger als 2 Stunden
- Schmerzen hindern mich daran, überhaupt zu schlafen

Abschnitt 8: Sexualleben (Angabe freiwillig)

- Mein Sexualleben ist normal, und die Schmerzen werden dadurch nicht stärker
- Mein Sexualleben ist normal, aber die Schmerzen werden dadurch stärker
- Mein Sexualleben ist nahezu normal, aber sehr schmerzhaft
- Mein Sexualleben ist durch Schmerzen stark eingeschränkt
- Ich habe auf Grund von Schmerzen fast kein Sexualleben
- Schmerzen verhindern jegliches Sexualleben

OSWESTRY DISABILITY INDEX (ODI)

5

Abschnitt 9: Sozialleben

- Mein Sozialleben ist normal, und die Schmerzen werden dadurch nicht stärker
- Mein Sozialleben ist normal, aber die Schmerzen werden dadurch stärker
- Schmerzen haben keinen wesentlichen Einfluss auf mein Sozialleben, außer dass sie meine eher aktiven Interessen, z.B. Sport einschränken
- Schmerzen schränken mein Sozialleben ein, und ich gehe nicht mehr so oft aus
- Schmerzen schränken mein Sozialleben auf mein Zuhause ein
- Ich habe auf Grund von Schmerzen kein Sozialleben

Abschnitt 10: Reisen

- Ich kann überallhin reisen, und die Schmerzen werden dadurch nicht stärker
- Ich kann überallhin reisen, aber die Schmerzen werden dadurch stärker
- Trotz starker Schmerzen kann ich länger als 2 Stunden unterwegs sein
- Ich kann auf Grund von Schmerzen höchstens 1 Stunde unterwegs sein
- Ich kann auf Grund von Schmerzen nur kurze notwendige Fahrten unter 30 Minuten machen
- Schmerzen hindern mich daran, Fahrten zu machen, außer zur medizinischen Behandlung

Notizen

STUDIE

6

Rückenbeschwerden können zu Rückenschmerzen und/oder Schmerzen im Gesäß, Bein oder Fuß sowie zu Krabbeln, Taubheit oder anderen Missempfindungen im Rücken, Gesäß, Bein oder Fuß führen.

Untersuchungsintervall

Jahre Monate

Bitte nur ein Kästchen ausfüllen

1. Welche Beschwerden belasten Sie am stärksten?

- Schmerzen im Rücken
- Schmerzen im Bein/Gesäß
- Krabbeln, Taubheit oder andere Missempfindungen im Rücken/Bein/ Gesäß
- Keine der aufgeführten Beschwerden

2. Rücken- und Beinschmerzen

Bitte füllen Sie in Frage 2a und 2b das Kästchen aus, das der Intensität Ihrer Schmerzen entspricht, wobei „0“ keine Schmerzen und „10“ stärkste vorstellbare Schmerzen bedeutet. Wir bitten Sie, zwischen Rücken- und Beinschmerzen zu unterscheiden.

2a Wie stark waren Ihre **Rückenschmerzen** in der letzten Woche?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

2b Wie stark waren Ihre **Bein-/Gesäßschmerzen** in der letzten Woche?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

3. Wie stark haben Ihre Rückenbeschwerden Ihre **normalen Aufgaben** (Arbeit und zu Hause) in der letzten Woche beeinträchtigt?

- gar nicht
- ein wenig
- mäßig
- erheblich
- sehr stark

4. Wie würden Sie sich fühlen, wenn Sie den **Rest ihres Lebens mit ihren derzeitigen** Rückenbeschwerden leben müssten?

- sehr zufrieden
- etwas zufrieden
- weder zufrieden noch unzufrieden
- etwas unzufrieden
- sehr unzufrieden

COMI PATIENTEN-SELBSTEINSCHÄTZUNG (CORE OUTCOME MEASURE INDEX) 7

5. Bitte blicken Sie **auf die letzte Woche** zurück. Wie würden Sie Ihre Lebensqualität beurteilen?

- sehr gut
 gut
 mittelmäßig
 schlecht
 sehr schlecht

6. An wievielen Tagen **In den letzten 4 Wochen** haben Ihre Rückenbeschwerden Sie gezwungen, Ihre **gewohnten Tätigkeiten** (Arbeit, Hausarbeit, Schule, Freizeitaktivitäten) **einzuschränken**?

- 0 Tage
 zwischen 1 und 7 Tagen
 zwischen 8 und 14 Tagen
 zwischen 15 und 21 Tagen
 an mehr als 22 Tagen

7. An wievielen Tagen **In den letzten 4 Wochen** haben Ihre Rückenbeschwerden Sie **daran gehindert**, zur **Arbeit** zu gehen (Arbeit, Schule, Hausarbeit)?

- 0 Tage
 zwischen 1 und 7 Tagen
 zwischen 8 und 14 Tagen
 zwischen 15 und 21 Tagen
 an mehr als 22 Tagen

↳ Beantworten Sie die folgenden Fragen nur, wenn Sie den Fragebogen **nach** der Operation ausfüllen.

8. Sind **als Folge der Operation in unserem Hospital** Komplikationen aufgetreten (wie z.B. Störungen der Wundheilung, Lähmung, Gefühlsstörungen)?

- Nein Ja Bitte beschreiben Sie diese:

8b. Wie beeinträchtigend/störend waren diese Komplikationen?

- gar nicht beeinträchtigend/störend
 ein wenig beeinträchtigend/störend
 mäßig beeinträchtigend/störend
 erheblich beeinträchtigend/störend
 sehr stark beeinträchtigend/störend

Weiter mit Frage 9

STUDIE

8

9. Wurden Sie seit der Operation bei uns in einem anderen Hospital oder erneut bei uns an der Lendenwirbelsäule (am Rücken) operiert?

- nein
- ja, aber an einer anderen Stelle der Lendenwirbelsäule
- ja, an derselben Stelle der Lendenwirbelsäule (gleiches Segment)

10. Wie zufrieden waren Sie bisher mit der Behandlung Ihrer Rückenbeschwerden in unserem Hospital?

- sehr zufrieden
- etwas zufrieden
- weder zufrieden noch unzufrieden
- etwas unzufrieden
- sehr unzufrieden

11. Wie hat Ihnen die Behandlung Ihrer Rückenbeschwerden in unserem Hospital (Operation) insgesamt geholfen?

- sehr geholfen
- geholfen
- nur wenig geholfen
- nicht geholfen
- geschadet

Notizen

MILLION VAS (MVAS)

9

Bitte markieren Sie mit einem „X“ auf der Linie zwischen normal und schlimmster möglicher Situation, wie weit der Schmerz Sie innerhalb der letzten Woche beeinflusst hat.

1. Wie schlimm sind Ihre Schmerzen?

0 = Schmerzlos 10 = Schlimmer geht es nicht

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

2. Wie schlimm sind die Schmerzen nachts?

0 = Schmerzlos 10 = Schlimmer geht es nicht

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

3. Wird Ihr Lebensstil durch die Schmerzen beeinflusst?

0 = Kein Problem 10 = Vollständige Änderung des Lebensstils

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

4. Nehmen Sie Schmerzmittel?

Nein Ja

Wenn ja, wie gut wirken sie?

0 = Kompletter Schmerztitel 10 = Keine Wirkung

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

5. Wie steif ist Ihr Rücken?

0 = Gar nicht 10 = Total steif

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

6. Sind Sie beim Gehen beeinträchtigt?

0 = Kein Problem 10 = Kann gar nicht gehen

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

7. Haben Sie Schmerzen beim Gehen?

0 = Schmerzlos 10 = Schlimmer geht es nicht

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

8. Können Sie stehen?

0 = Solange ich will 10 = Überhaupt nicht

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

9. Können Sie sich nach hinten drehen?

0 = Kein Problem 10 = Überhaupt nicht

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

10. Können Sie auf einem harten Stuhl sitzen?

0 = Solange ich will 10 = Überhaupt nicht

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

11. Können Sie auf/in einem Sessel sitzen?

0 = Solange ich will 10 = Überhaupt nicht

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

STUDIE

10

12. Haben Sie Rückenschmerzen, wenn Sie im Bett liegen?

0 = Schmerzfrei 10 = Keine Besserung, Schmerzen sind unverändert

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

13. Sind Sie bei alltäglichen Abläufen eingeschränkt?

0 = Kein Problem 10 = Ich kann gar nichts machen

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Sollte eine der drei folgenden Auswahlmöglichkeiten für Sie zutreffen, so müssen Sie die folgenden zwei Fragen (16. und 17.) nicht beantworten:

- Ich bin Hausfrau Hausmann
- Ich beziehe Rente
- Ich bin arbeitsunfähig

14. Wird Ihre Arbeit durch die Schmerzen beeinflusst?

0 = Kein Problem 10 = Kann überhaupt nicht arbeiten

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

15. Müssen Sie Ihren Arbeitsplatz wegen der Rückenschmerzen verändern?

0 = Kein Problem 10 = So sehr, dass ich keinen Arbeitsplatz behalten kann

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

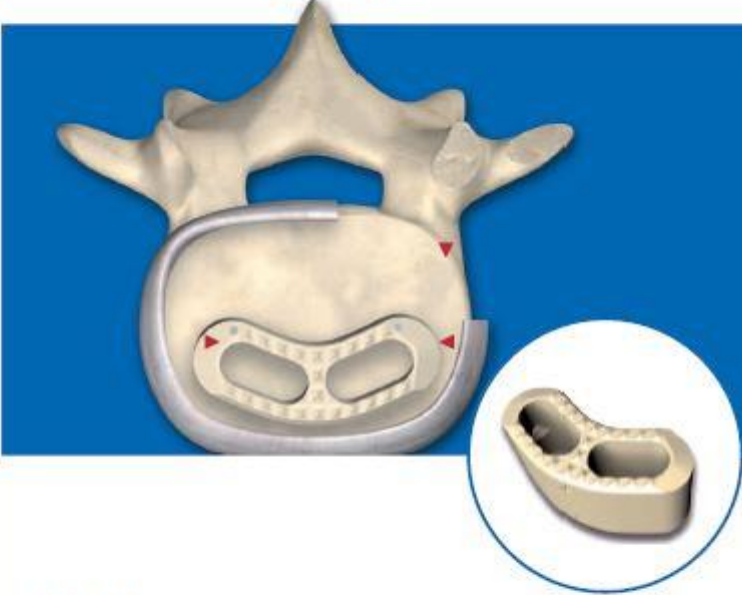
Notizen

MILLION VAS (MVAS)	11
Notizen	

Anhang 2: Fragebogen postoperativ

Anwendungsbeobachtung
retrospektiv

MOBIS®
Monoportaler Zugang – Bilateraler Support



Patient

Initialen:


Nummer:

Geb.-Datum:

OP-Datum:

6 W 3 M 6 M 12 M 24 M

TUJF



PAPER SHEET

STUDIE	2
Datenbogen	
1. OSWESTRY DISABILITY INDEX (ODI)	3
2. CORE OUTCOME MEASURES INDEX (COMI)	7
3. MILLION VAS (MVAS)	11
4. PATIENTENZUFRIEDENHEIT (PSI)	13

OSWESTRY DISABILITY INDEX (ODI)

3

Dieser Fragebogen soll uns darüber informieren, wie Ihre Rücken- (oder Bein-) Probleme Ihre Fähigkeit beeinflussen, den Alltag zu bewältigen. Wir bitten Sie, jeden Abschnitt zu beantworten. Kreuzen Sie in jedem Abschnitt nur die Aussage an, die Sie heute am besten beschreibt.

Abschnitt 1: Schmerzstärke

- Ich habe momentan keine Schmerzen
- Die Schmerzen sind momentan sehr schwach
- Die Schmerzen sind momentan mäßig
- Die Schmerzen sind momentan ziemlich stark
- Die Schmerzen sind momentan sehr stark
- Die Schmerzen sind momentan so schlimm wie nur vorstellbar

Abschnitt 2: Körperpflege (Waschen, Anziehen etc.)

- Ich kann meine Körperpflege normal durchführen, ohne dass die Schmerzen dadurch stärker werden
- Ich kann meine Körperpflege normal durchführen, aber es ist schmerzhaft
- Meine Körperpflege durchzuführen ist schmerzhaft, und ich bin langsam und vorsichtig
- Ich brauche bei der Körperpflege etwas Hilfe, bewältige das meiste aber selbst
- Ich brauche täglich Hilfe bei den meisten Aspekten der Körperpflege
- Ich kann mich nicht selbst anziehen, wasche mich mit Mühe und bleibe im Bett

Abschnitt 3: Heben

- Ich kann schwere Gegenstände heben, ohne dass die Schmerzen dadurch stärker werden
- Ich kann schwere Gegenstände heben, aber die Schmerzen werden dadurch stärker
- Schmerzen hindern mich daran, schwere Gegenstände vom Boden zu heben, aber es geht, wenn sie geeignet stehen (z.B. auf einem Tisch)
- Schmerzen hindern mich daran, schwere Gegenstände zu heben, aber ich kann leichte bis mittelschwere Gegenstände heben, wenn sie geeignet stehen
- Ich kann nur sehr leichte Gegenstände heben
- Ich kann überhaupt nichts heben oder tragen

Abschnitt 4: Gehen

- Schmerzen hindern mich nicht daran, so weit zu gehen, wie ich möchte
- Schmerzen hindern mich daran, mehr als 1-2 km zu gehen
- Schmerzen hindern mich daran, mehr als 0.5 km zu gehen
- Schmerzen hindern mich daran, mehr als 100 m zu gehen
- Ich kann nur mit einem Stock oder Krücken gehen
- Ich bin die meiste Zeit im Bett und muss mich zur Toilette schleppen

STUDIE

4

Abschnitt 5: Sitzen

- Ich kann auf jedem Stuhl so lange sitzen wie ich möchte
- Ich kann auf meinem Lieblingsstuhl so lange sitzen wie ich möchte
- Schmerzen hindern mich daran, länger als 1 Stunde zu sitzen
- Schmerzen hindern mich daran, länger als eine halbe Stunde zu sitzen
- Schmerzen hindern mich daran, länger als 10 Minuten zu sitzen
- Schmerzen hindern mich daran, überhaupt zu sitzen

Abschnitt 6: Stehen

- Ich kann so lange stehen wie ich möchte, ohne dass die Schmerzen dadurch stärker werden
- Ich kann so lange stehen wie ich möchte, aber die Schmerzen werden dadurch stärker
- Schmerzen hindern mich daran, länger als 1 Stunde zu stehen
- Schmerzen hindern mich daran, länger als eine halbe Stunde zu stehen
- Schmerzen hindern mich daran, länger als 10 Minuten zu stehen
- Schmerzen hindern mich daran, überhaupt zu stehen

Abschnitt 7: Schlafen

- Mein Schlaf ist nie durch Schmerzen gestört
- Mein Schlaf ist gelegentlich durch Schmerzen gestört
- Ich schlafe auf Grund von Schmerzen weniger als 6 Stunden
- Ich schlafe auf Grund von Schmerzen weniger als 4 Stunden
- Ich schlafe auf Grund von Schmerzen weniger als 2 Stunden
- Schmerzen hindern mich daran, überhaupt zu schlafen

Abschnitt 8: Sexualleben (Angabe freiwillig)

- Mein Sexualleben ist normal, und die Schmerzen werden dadurch nicht stärker
- Mein Sexualleben ist normal, aber die Schmerzen werden dadurch stärker
- Mein Sexualleben ist nahezu normal, aber sehr schmerzhaft
- Mein Sexualleben ist durch Schmerzen stark eingeschränkt
- Ich habe auf Grund von Schmerzen fast kein Sexualleben
- Schmerzen verhindern jegliches Sexualleben

OSWESTRY DISABILITY INDEX (ODI)

5

Abschnitt 9: Sozialleben

- Mein Sozialleben ist normal, und die Schmerzen werden dadurch nicht stärker
- Mein Sozialleben ist normal, aber die Schmerzen werden dadurch stärker
- Schmerzen haben keinen wesentlichen Einfluss auf mein Sozialleben, außer dass sie meine eher aktiven Interessen, z.B. Sport einschränken
- Schmerzen schränken mein Sozialleben ein, und ich gehe nicht mehr so oft aus
- Schmerzen schränken mein Sozialleben auf mein Zuhause ein
- Ich habe auf Grund von Schmerzen kein Sozialleben

Abschnitt 10: Reisen

- Ich kann überallhin reisen, und die Schmerzen werden dadurch nicht stärker
- Ich kann überallhin reisen, aber die Schmerzen werden dadurch stärker
- Trotz starker Schmerzen kann ich länger als 2 Stunden unterwegs sein
- Ich kann auf Grund von Schmerzen höchstens 1 Stunde unterwegs sein
- Ich kann auf Grund von Schmerzen nur kurze notwendige Fahrten unter 30 Minuten machen
- Schmerzen hindern mich daran, Fahrten zu machen, außer zur medizinischen Behandlung

Notizen

--

STUDIE

6

Rückenbeschwerden können zu Rückenschmerzen und/oder Schmerzen im Gesäß, Bein oder Fuß sowie zu Krabbeln, Taubheit oder anderen Missempfindungen im Rücken, Gesäß, Bein oder Fuß führen.

Untersuchungsintervall

Jahre Monate

Bitte nur ein Kästchen ausfüllen

1. Welche Beschwerden belasten Sie am stärksten?

- Schmerzen im Rücken
- Schmerzen im Bein/Gesäß
- Krabbeln, Taubheit oder andere Missempfindungen im Rücken/Bein/ Gesäß
- Keine der aufgeführten Beschwerden

2. Rücken- und Beinschmerzen

Bitte füllen Sie in Frage 2a und 2b das Kästchen aus, das der Intensität Ihrer Schmerzen entspricht, wobei „0“ keine Schmerzen und „10“ stärkste vorstellbare Schmerzen bedeutet. Wir bitten Sie, zwischen Rücken- und Beinschmerzen zu unterscheiden.

2a Wie stark waren Ihre **Rückenschmerzen** in der letzten Woche?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

2b Wie stark waren Ihre **Bein-/Gesäßschmerzen** in der letzten Woche?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

3. Wie stark haben Ihre Rückenbeschwerden Ihre **normalen Aufgaben** (Arbeit und zu Hause) in der letzten Woche beeinträchtigt?

- gar nicht
- ein wenig
- mäßig
- erheblich
- sehr stark

4. Wie würden Sie sich fühlen, wenn Sie den **Rest Ihres Lebens mit Ihren derzeitigen** Rückenbeschwerden leben müssten?

- sehr zufrieden
- etwas zufrieden
- weder zufrieden noch unzufrieden
- etwas unzufrieden
- sehr unzufrieden

COMI PATIENTEN-SELBSTEINSCHÄTZUNG (CORE OUTCOME MEASURE INDEX) 7

5. Bitte blicken Sie **auf die letzte Woche** zurück. Wie würden Sie Ihre Lebensqualität beurteilen?

- sehr gut
 gut
 mittelmäßig
 schlecht
 sehr schlecht

6. An wievielen Tagen **In den letzten 4 Wochen** haben Ihre Rückenbeschwerden Sie gezwungen, Ihre **gewohnten Tätigkeiten** (Arbeit, Hausarbeit, Schule, Freizeitaktivitäten) **einzuschränken**?

- 0 Tage
 zwischen 1 und 7 Tagen
 zwischen 8 und 14 Tagen
 zwischen 15 und 21 Tagen
 an mehr als 22 Tagen

7. An wievielen Tagen **In den letzten 4 Wochen** haben Ihre Rückenbeschwerden Sie **daran gehindert**, zur **Arbeit** zu gehen (Arbeit, Schule, Hausarbeit)?

- 0 Tage
 zwischen 1 und 7 Tagen
 zwischen 8 und 14 Tagen
 zwischen 15 und 21 Tagen
 an mehr als 22 Tagen

↳ Beantworten Sie die folgenden Fragen nur, wenn Sie den Fragebogen **nach** der Operation ausfüllen.

8. Sind **als Folge der Operation in unserem Hospital** Komplikationen aufgetreten (wie z.B. Störungen der Wundheilung, Lähmung, Gefühlsstörungen)?

- Nein Ja Bitte beschreiben Sie diese:

8b. Wie beeinträchtigend/störend waren diese Komplikationen?

- gar nicht beeinträchtigend/störend
 ein wenig beeinträchtigend/störend
 mäßig beeinträchtigend/störend
 erheblich beeinträchtigend/störend
 sehr stark beeinträchtigend/störend

Weiter mit Frage 9

MILLION VAS (MVAS)

9

Bitte markieren Sie mit einem „X“ auf der Linie zwischen normal und schlimmster möglicher Situation, wie weit der Schmerz Sie innerhalb der letzten Woche beeinflusst hat.

1. Wie schlimm sind Ihre Schmerzen?

0 = Schmerzlos 10 = Schlimmer geht es nicht

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

2. Wie schlimm sind die Schmerzen nachts?

0 = Schmerzlos 10 = Schlimmer geht es nicht

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

3. Wird Ihr Lebensstil durch die Schmerzen beeinflusst?

0 = Kein Problem 10 = Vollständige Änderung des Lebensstils

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

4. Nehmen Sie Schmerzmittel?

Nein Ja

Wenn ja, wie gut wirken sie?

0 = Kompletter Schmerztitel 10 = Keine Wirkung

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

5. Wie steif ist Ihr Rücken?

0 = Gar nicht 10 = Total steif

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

6. Sind Sie beim Gehen beeinträchtigt?

0 = Kein Problem 10 = Kann gar nicht gehen

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

7. Haben Sie Schmerzen beim Gehen?

0 = Schmerzlos 10 = Schlimmer geht es nicht

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

8. Können Sie stehen?

0 = Solange ich will 10 = Überhaupt nicht

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

9. Können Sie sich nach hinten drehen?

0 = Kein Problem 10 = Überhaupt nicht

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

10. Können Sie auf einem harten Stuhl sitzen?

0 = Solange ich will 10 = Überhaupt nicht

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

11. Können Sie auf/in einem Sessel sitzen?

0 = Solange ich will 10 = Überhaupt nicht

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

STUDIE

10

12. Haben Sie Rückenschmerzen, wenn Sie im Bett liegen?

0 = Schmerzfrei 10 = Keine Besserung, Schmerzen sind unverändert

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

13. Sind Sie bei alltäglichen Abläufen eingeschränkt?

0 = Kein Problem 10 = Ich kann gar nichts machen

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Sollte eine der drei folgenden Auswahlmöglichkeiten für Sie zutreffen, so müssen Sie die folgenden zwei Fragen (16. und 17.) nicht beantworten:

- Ich bin Hausfrau Hausmann
- Ich beziehe Rente
- Ich bin arbeitsunfähig

14. Wird Ihre Arbeit durch die Schmerzen beeinflusst?

0 = Kein Problem 10 = Kann überhaupt nicht arbeiten

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

15. Müssen Sie Ihren Arbeitsplatz wegen der Rückenschmerzen verändern?

0 = Kein Problem 10 = So sehr, dass ich keinen Arbeitsplatz behalten kann

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Notizen

PATIENTENZUFRIEDENHEIT (PSI)

11

1. Um wieviel % haben sich Ihre Schmerzen nach der OP im Vergleich zum Befinden vor der OP gebessert? (100% = schmerzfrei, 0% = keine Besserung)

Rücken: Verbesserung in %
Bein: Verbesserung in %

2. Wie geht es Ihnen jetzt?

- Viel besser als vor der OP
 Besser als vor der OP
 Gleich zum Befinden vor der OP
 Schlechter als vor der OP

3. Würden Sie die OP nochmals auf sich nehmen?

- Nein
 Ja

4. Hinkten Sie vor der OP?

- Nein
 Ja

5. Hinken Sie jetzt?

- Nein
 Ja

6. Welche Schmerzmittel nehmen Sie aktuell (bitte nennen Sie Medikamente und Dosis)?

Milde Schmerzmittel (Aspirin, Ibuprofen oder ähnliche)
Stärkere Schmerzmittel (Tramadol, Tilidin oder ähnliche)
Stärkste Schmerzmittel (Opiumpreparate)

7. Würden Sie die OP-Methode einem guten Freund weiterempfehlen?

- Nein
 Ja

Notizen

Anhang 3: Radiologischer Auswertungsbogen

Radiologische Auswertung

(Standard Röntgendiagnostik Zielaufnahme LWK 4 in 2 Ebn. Mit Hüftkopfabbildung im seitl. Strahlengang, inkl. Funktionsaufnahmen)

Pat. ID: _____

Untersucher: _____

TLIF – Gruppe: **L3/4 L4/5 Beide Segmente** (für das jeweilige Segment einen eigenen Bogen)

Schrauben Implantat: _____ Cage Höhe: _____

Datum Auswertung: _____

Datum der Röntgenuntersuchung: _____

Follow up (Monate): _____

Knochenerkrankungen/Knochendichte: _____

Fusion (n. Abushi):

Bemerkungen

- | | |
|---|---------|
| - bridging bone outside the cage | ja/nein |
| - bridging bone inside the cage | ja/nein |
| - Osteolyse der Cagebefüllung | ja/nein |
| - radiolucency outside the cage | ja/nein |
| - segmental instability (Fkt. Aufnahme) | ja/nein |
| - Cage subsidence (Vgl. Voraufnahme) | ja/nein |
| - Cage dislocation (Vgl. Voraufnahme) | ja/nein |
| - Cage Rotation | ja/nein |
| - Schraubenlockerung | ja/nein |

Richtung: nach cran./caud.
Richtung: nach ant./post.
Richtung: nach rechts/links

- erfolgt: ja / nein / ? / Pseudarthrose

Cage Position lateral (Zone): post OP _____, im F/U _____

Cage Position ap (Zone) : post OP _____, im F/U _____

Zone lateral: anterior/central/posterior Zone ap: links/rechts lateral/mediolateral/medial

ZWR Höhe: prä OP _____, post OP _____, im F/U _____

Spinopelvine Parameter

Lendenlordose (L1-L5): prä OP _____, post OP _____, im F/U _____

Segmentlordose (L3/4): prä OP _____, post OP _____, im F/U _____

Segmentlordose (L4/5): prä OP _____, post OP _____, im F/U _____

Sacral Slope prä OP _____, post OP _____, im F/U _____

Pelvic incidence prä OP _____, post OP _____, im F/U _____

Pelvic tilt prä OP _____, post OP _____, im F/U _____

Coronares Profil

Lumbale Skoliose, Typ (Lenke): Konvexität: rechts/links Wedging: ja/nein Segment:

Cobb Winkel (von-bis) : prä OP _____, post OP _____, im F/U _____

Anschlußsegmente: ASD vorbestehend: ja/nein Segment:

- Anschlußdegeneration (Progredienz) im F/U: ja/nein

- Segment: Höhe ZWR: prä OP _____, post OP _____, im F/U _____

Segmentlordose prä OP _____, post OP _____, im F/U _____

- Segment: Höhe ZWR: prä OP _____, post OP _____, im F/U _____

Segmentlordose prä OP _____, post OP _____, im F/U _____

10 LEBENS LAUF

Persönliche Daten

Name	Sandra Gabriela Jung
Geburtsdatum	13.09.1990
Geburtsort	Landstuhl
Familienstand:	ledig
Staatsangehörigkeit:	Deutsch
Vater	Thomas Jung
Mutter	Barbara Jung

Schulischer Werdegang

08/1996 – 08/2000	Grundschule „In der Au“ in Landstuhl
08/2000 – 03/2009	St. Franziskus Gymnasium in Kaiserslautern
28.03.2009	Allgemeine Hochschulreife

Universitärer Werdegang

04/2010 – 10/2010	Studium zum Diplom der Biomedizinischen Chemie an der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz
10/2010 – 10/2012	Studium der Humanmedizin an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
19.09.2012	1. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung (M1)
10/2012 – heute	Studium der Humanmedizin an der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg
15.10.2016	2. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung (M2)
24.11.2016	3. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung (M3)

Arbeitgeber

Seit 02.02.2017	Assistenzärztin in der Orthopädie und Unfallchirurgie des St. Marienkrankenhauses in Ludwigshafen
-----------------	---

11 DANKSAGUNG

Herrn Prof. Dr. med. Johannes Stöve danke ich für die Überlassung der Arbeit und die Möglichkeit die Dissertation in seiner Abteilung durchführen zu dürfen. Außerdem bedanke ich mich, dass er mir eine Famulatur während meines Studiums in seiner Abteilung ermöglichte, um mein Wissen in der Wirbelsäulenchirurgie auszubauen.

Mein besonderer Dank geht an meinen Betreuer Herrn Dr. med. Michael Breitenfelder, der mir die ausgezeichnete Möglichkeit geboten hat das Thema der vorliegenden Arbeit zu bearbeiten. Ich möchte mich für die herausragende Betreuung, Hilfestellung und Anleitung der Arbeit bedanken. Sein Engagement, seine Menschlichkeit, die ständige Erreichbarkeit und die fachliche Kompetenz haben maßgeblich zu dem Entstehen dieser Arbeit beigetragen.

Ein weiterer Dank geht an alle Mitarbeiter der Röntgenabteilung sowie des Patientenaufnahmezentrums des St. Marienkrankenhauses in Ludwigshafen, die mir das Anfertigen der F/U Röntgenaufnahmen ermöglichten. Vielen Dank für die Unterstützung bei der Erhebung der Daten, die logistische Planung, Überlassung der Räumlichkeiten, Freundlichkeit und Hilfsbereitschaft.

Ebenfalls danke ich Frau Dr. med. Sara Heinze für die Unterstützung bei der radiologischen Auswertung.

Der Firma Signus Medizintechnik GmbH in Alzenau danke ich für die Bereitstellung des Themas und die finanzielle Unterstützung.

Hier geht ein besonderer Dank an Herrn Hasan Atas, der zunächst die firmeninterne, Unterstützung der vorliegenden Arbeit übernahm. Sein Engagement ermöglichte das Thema dieser Dissertation. Seinem Nachfolger Herrn Andreas Müller danke ich für die komplikationslose Übernahme der Betreuung der Arbeit.

Ebenfalls danke ich Frau Hiltrud Niggemann und ihrem Statistikbüro „p-Wert“ bei der statistischen Auswertung der Arbeit und die Geduld bei der Beantwortung meiner Fragen.

Bedanken möchte ich mich auch bei meiner Freundin Meike Möldner, die mir immer mit vielen Tipps und aufbauenden Worten zur Seite stand.

Ebenso bedanke ich mich bei Herrn Dr. med. Klaus Didion und meinem Bruder Thorsten Jung für die Durchsicht meiner Arbeit und die vielen Hinweise, die zur Vollendung derselben notwendig waren.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie bedanken. Meinen Eltern Thomas und Barbara Jung gilt ein besonderer Dank da sie mir das Studium ermöglichten, mich in allen Lebenssituationen unterstützen und somit die Voraussetzung für diese Dissertation schafften.