

R.K.U. - Universitäts- und  
Rehabilitationskliniken Ulm  
Klinik für Orthopädie  
Direktor: Professor Dr. med. Heiko Reichel

**Longitudinale Analyse radiologischer Parameter  
nach monosegmentaler, lumbaler-dorsaler Instrumentierung  
und  
interkorporeller Fusion in PLIF und TLIF-Technik**

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin  
der Medizinischen Fakultät der  
Universität Ulm

von

Andreas Kiebler

aus Schwäbisch Gmünd

2017

Amtierender Dekan: Prof. Dr. Thomas Wirth

1. Berichterstatter: apl. Prof. Dr. Balkan Cakir

2. Berichterstatter: apl. Prof. Dr. Uwe Mauer

Tag der Promotion: 26. Oktober 2017

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>II</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Epidemiologie .....	1
1.2 degenerative Wirbelsäulenerkrankungen .....	2
1.3 Die interkorporelle Fusion.....	4
1.4 Die Entwicklung von Cages .....	6
1.5 Bedeutung des sagittalen Alignments .....	8
1.6 Fragestellung .....	10
<b>2 Material und Methodik .....</b>	<b>11</b>
2.1 Studienpatienten .....	11
2.2 OP-Technik .....	11
2.3 Die Cages .....	13
2.4 Radiologische Untersuchung.....	15
2.5 Beschreibung der Vorgehensweise .....	17
<b>3 Ergebnisse .....</b>	<b>18</b>
3.1 Patientendaten .....	18
3.2 Ergebnisse der Bestimmung der radiologischen Messgenauigkeit .....	21
3.3 Radiologische Untersuchungen.....	22
<b>4 Diskussion.....</b>	<b>42</b>
4.1 Methodik .....	42
4.2 Radiologische Ergebnisse.....	43
4.3 Schlussfolgerungen .....	47
<b>5 Zusammenfassung .....</b>	<b>50</b>
<b>6 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>52</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>59</b>
<b>Danksagung.....</b>	<b>60</b>
<b>Lebenslauf .....</b>	<b>61</b>

**Abkürzungsverzeichnis**

Abb.	Abbildung
ALIF	Anterior Lumbar Interbody Fusion
cm	Centimeter
et al.	(et alii) und andere
GL	Gesamtlordose der Lendenwirbelsäule
HWK	Halswirbelkörper
L	Lendenwirbelkörper
LWS	Lendenwirbelsäule
m	männlich
mm	Millimeter
OP	Operation
p	Signifikanzniveau
PACS	Picture Achieving and Communication System
PLIF	Posterior Lumbar Intervertebral Fusion
PEEK	Poly-Esther-Esther-Keton
PLF	posterolaterale lumbale Fusion
PNS	Postnukleotomiesyndrom
post	postoperativ
prä	präoperativ
SAS	Statistical Analysis System
SKS	Spinalkanalstenose
SL	Segmentlordose
S	Sakralwirbelkörper
TLIF	Transforaminal Lumbar Intervertebral Fusion
TEP	Totalendoprothese
w	weiblich

# 1 Einleitung

## 1.1 Epidemiologie

Rückenschmerzen gehören zu den größten Gesundheitsproblemen Deutschlands. Gerade in sozialer Hinsicht, als auch wirtschaftlich stellen Rückenschmerzen eine enorme Herausforderung dar. Rückenschmerzen verursachen einen großen Teil der krankheitsbedingten Arbeitsausfälle, wobei unter den an Rückenschmerzen leidenden Patienten ein kleiner Teil den größten Anteil der krankheitsbedingten Arbeitsausfälle verursacht [49]. Die Punktprävalenz für Rückenschmerzen beträgt 37,1%, die 1-Jahres-Prävalenz beträgt 76% und die Lebenszeitprävalenz beträgt 85,5% [60]. Unter den Erkrankten betragen die jährlichen direkten Kosten im Schnitt >7000 € pro Person [37]. Blickt man jedoch auf die indirekten Kosten, so stellt man fest, dass diese noch um ein vielfaches höher sind als die direkten Kosten [73]. Nicht immer kann die konservative Therapie bei chronischen Rückenschmerzen eine ausreichende Linderung der Beschwerden des Erkrankten verschaffen, so dass in diesem Fall als letzte Möglichkeit der Beschwerdelinderung nur noch die operative Intervention bleibt. Die Zahl der operativen Wirbelsäuleneingriffe steigt seit Jahren stetig an, was unter anderem auf den Fortschritt im Bereich der Wirbelsäulenimplantate zurückzuführen ist. So konnten Deyo et al. [21] für den Zeitraum 1996-2001 in den USA eine Steigerung der lumbalen Spondylodesen von 115% zeigen (zum Vergleich 13%/ 15% Steigerung bei Hüft-/ Knie-TEP-Operationen).

## 1.2 degenerative Wirbelsäulenerkrankungen

Degenerative Wirbelsäulenerkrankungen haben eine große Bedeutung in unserer ständig älter werdenden Gesellschaft. Um die Folgen dieser Veränderungen zu reduzieren, sind Präventionsmaßnahmen von großer Bedeutung. Um zu wissen, wann man mit Prävention beginnen sollte, muss man wissen, wann die ersten degenerativen Veränderungen auftauchen. Biochemisch lassen sich erste degenerative Veränderungen schon Mitte des zweiten Lebensjahrzehnts nachweisen [54, 70]. Ein Grund für diese frühen Veränderungen scheint eine reduzierte Blutversorgung der Bandscheiben ab der ersten Hälfte des zweiten Lebensjahrzehnts zu sein [14]. Fraglich ist jedoch der Krankheitswert solcher Veränderungen. So zeigen radiologische Untersuchungen bei einem großen Teil der asymptomatischen Personen mit zunehmendem Alter immer mehr degenerative Veränderungen. So konnte in einer Studie unter asymptomatischen Probanden zwischen dem 20. und 39. Lebensjahr in 35 % mindestens auf einer Ebene eine degenerative Bandscheibenveränderung nachweisen. Bei den 60- bis 80-Jährigen lagen sogar bei allen teilnehmenden Probanden degenerative Bandscheibenveränderungen vor [12]. Veränderungen auf der molekularen Ebene zeigen sich im Bereich des Kollagens [53]. Im degenerativen Verlauf kommt es zu zunehmendem Auftreten von Typ X Kollagen. Typ X Kollagen tritt bei jungen, gesunden Bandscheiben nicht auf, hier ist Typ IV Kollagen das dominante Molekül [13, 53]. Auch lässt sich eine Korrelation zwischen der Expression von Tumor Nekrose Faktor Alpha und degenerativer Bandscheibenveränderungen erkennen [75]. Als eine Folge der degenerativen Umbauprozesse kommt es des Weiteren zu einer Abnahme des Gehalts an Proteoglykanen. Der Flüssigkeitsanteil des Nucleus pulposus ist im Wesentlichen vom Anteil an Proteoglykanen abhängig. Ein verringerter Gehalt an Proteoglykanen geht daher mit einem reduzierten Wassergehalt einher [70, 71]. Die Folge ist die Abnahme des Durchmessers der hydrostatischen Region, welche als funktioneller Nucleus bezeichnet wird. Dies hat zur Folge, dass es durch diese Größenabnahme zu einer Mehrbelastung im Bereich des Anulus fibrosus kommt. Durch strukturelle Veränderungen im Bereich der Endplatten und im Bereich des Anulus fibrosus kommt es dann zu einer Verschiebung des Nucleus pulposus in den posterioren Anulus [2, 68]. Diese Veränderungen können im weiteren Verlauf zu der bekanntesten degenerativen Veränderung der Wirbelsäule - dem Bandscheibenvorfall - führen. Jedoch ist nicht nur der Anulus fibrosus einer Mehrbelastung ausgesetzt, sondern auch die Facettengelenke. Diese unphysio-

logische Belastung an den Facettengelenken hat eine progrediente Arthroseentwicklung zur Folge [1, 29]. Durch eine resultierende Hypertrophie des Lig. flavum, eine Hypertrophie der Gelenkkapsel der Facettengelenke sowie der Vorwölbung der Bandscheide, kann es zu einer sekundären Spinalkanalstenose kommen.

Eine weitere Erkrankung mit degenerativer Ursache stellt die degenerative Spondylolisthese – auch Pseudospondylolisthese genannt – dar. Eine Höhenminderung der Bandscheibe (meist degenerativ bedingt) verursacht hierbei eine Insuffizienz des segmentalen Bandapparats. Dies resultiert aus einer relativen Überlänge der Ligamente durch die Annäherung. Es kommt in der Folge zu einer pathologischen Segmentbeweglichkeit, welche in einer Instabilität mündet [77]. Diese Instabilität, zusammen mit der häufig auftretenden Hypertrophie der Facettengelenke, verursacht eine Spinalkanalstenose, welche bei persistierender Symptomatik trotz ausgereizter konservativer Therapie eine operative Intervention mittels Spondylodese und interkorporeller Fusion notwendig machen kann. Eine selektive Dekompression sollte hierbei aufgrund einer daraufhin häufig folgenden iatrogenen Zunahme der Instabilität nicht durchgeführt werden. Am häufigsten betroffen von einer degenerativen Spondylolisthese ist das Segment L4/5 [78].

Eine Spondylolisthesis vera entsteht durch eine Unterbrechung oder Lyse der Interartikularportion eines Wirbels [78]. Dies kann sowohl kongenital (dysplastisch), als auch durch Lyse oder Elongation der Interartikularportion bedingt sein. Als Ursache gilt hier neben einer angeborenen Disposition eine repetitive mechanische Belastung. Durch die resultierende Instabilität können chronische Rückenschmerzen resultieren und durch die Einengung der Neuroforamen zu einer Wurzelreizsymptomatik führen. Am häufigsten betroffen ist das Segment L5-S1. Die Einteilung des Schweregrades wird nach Meyerding beurteilt. Bei einem Gleitweg von < 25% spricht man von Meyerding Grad I, Grad II 26-50%, Grad III 51-75%, Grad IV 76-100%. Bei über 100% spricht man von Spondyloptose [77].

### 1.3 Die interkorporelle Fusion

In Abhängigkeit von der zugrunde liegenden Pathologie existieren verschiedene Methoden zur operativen Behandlung von degenerativen Wirbelsäulenerkrankungen. Es existieren sowohl bewegungserhaltende, als auch versteifende Techniken. Fusionsoperationen stellen hierbei neben Nukleotomien die bedeutendste operative Intervention an der Wirbelsäule dar und sollen im Weiteren hier besprochen werden [65].

Die ersten Beschreibungen von Fusionsoperationen an der Wirbelsäule gehen auf Albee und Hibbs aus dem Jahr 1911 zurück. Ursprünglich wurde dieser Eingriff zur Behandlung von Deformitäten aufgrund einer spinalen Manifestation der Tuberkulose eingesetzt, jedoch wurden die Indikationen schnell erweitert [3, 31]. Cloward führte 1943 die ersten dorsalen inter-korporellen Fusionen durch [19]. Diese Technik stellt die Grundlage der posterioren lumbalen interkorporellen Fusion (PLIF) dar. Bagby entwickelte als erster das Konzept des interkorporellen Korbs [8, 9]. Bagby verwendete hohle, zylindrische Edelstahlimplantate, welche mit Spongiosa gefüllt werden. Ursprünglich diente diese Entwicklung zur Behandlung von am Wobbler-Syndrom leidenden Rennpferden, für welche dieses Pyramidenbahnsyndrom ohne Behandlung zu Lähmungen und letztendlich zum Tode führt. Bei den so behandelten Pferden zeigte sich post mortem in Sektionen eine interkorporelle Fusion. Von Kuslich wurde dieses Implantat in den 90ern weiterentwickelt [42].

Die besten Ergebnisse erzielen intervertebralen Fusionen bei Spondylolisthesen unter 40% Gleitweg [20, 32, 46, 62, 64, 66]. Weitere Indikationen stellen Ischialgien bei Degenerationen oder nach früheren Bandscheibenvorfällen und Bandscheibenvorfällen, die eine Nervenwurzeldekompression mit Erweiterung der Foramina und eine Fusion fordern, dar [22, 42]. Die Ergebnisse dieser Indikationen sind jedoch nicht mit den sehr guten Ergebnissen bei Spondylolisthesen vergleichbar.

Grundprinzip der intervertebralen Fusion ist die Annahme, dass der Schmerz eine Folge von Instabilität im pathologisch veränderten Segment darstellt. Durch den operativen Eingriff soll eine Fusion erreicht werden, um eine bestehende Instabilität auszuschalten [57]. Der Schmerz kann hierbei an verschiedenen Stellen entstehen. Histologisch konnten Nervenfasern im Randgebiet von Bandscheiben, in den Facettengelenken und in den Wirbelkörpern nachgewiesen werden. So kann eine Arthrose der Facettengelenke wie auch eine degenerative Bandscheibenveränderung den Schmerz verursachen [5, 7]. Auch kann

der Schmerz sekundär durch die Einengung der neuronalen Strukturen verursacht werden. Häufig ist es jedoch nicht eine Ursache für sich, sondern die Kombination verschiedener Ursachen, welche für den Schmerz verantwortlich sind. So kann zum Beispiel eine aktivierte Facettengelenksarthrose über einen reaktiven Gelenkerguss ein durch einen Bandscheibenvorfall eingeengtes Neuroforamen noch weiter einengen, so dass es zu einer schmerzhaften Reizung der Nervenwurzel kommt. Für die Wahl der Behandlungsmethode ist das Eruiere der genauen Lokalisation und Ätiologie der Beschwerden von großer Bedeutung. Präoperativ sind deshalb eine genaue Anamnese, körperliche Untersuchung, Bildgebung und je nach vorliegender Pathologie auch diagnostische Interventionen wie Facettengelenksinfiltrationen oder das selektive Anspritzen von Nervenwurzeln von größter Bedeutung.

Um eine rasche Fusion bei einer so gering wie möglichen Rate von Pseudarthrosen zu erreichen, muss man die Bewegung im operierten Segment maximal reduzieren. Dies lässt sich am besten durch die Kombination von dorsaler Instrumentierung mittels Fixateur interne und interkorporeller Fusion via Cage oder Beckenkammspan erreichen [4, 6]. Studien konnten Fusionsraten von 51% ohne Instrumentierung und über 90% mit Instrumentierung zeigen [6, 36, 42, 46, 48, 58, 66, 72]. Seit den ersten Beschreibungen von Fusionen 1911 durch Albee und Hibbs sind eine Vielzahl von Techniken entwickelt worden, um den Herausforderungen einer stabilen Fusion bei möglichst geringer Operationsmorbidity gerecht zu werden [3, 31]. Die verschiedenen Techniken werden nach der Art des Zugangs und der verwendeten Instrumentierung unterschieden. Der Zugang kann von anterior, posterior und von lateral erfolgen, wobei jeder Zugangsweg über seine individuellen Vor- und Nachteile verfügt. Das Ausräumen der Bandscheibe kann von dorsal über einen interlaminären Zugang, von lateral transforaminal oder von ventral über einen paramedianen Schnitt erfolgen. Eine weitere Alternative stellt das Ausräumen der Bandscheibe von ventro-lateral über einen Flankenschnitt dar. Der posteriore Zugang erlaubt eine optimale Darstellung aller dorsalen Strukturen wie Facettengelenke und Wirbelbögen. Jedoch muss beim posterioren Zugang der Duralsack mobilisiert werden um die Bandscheibe durch einen Platzhalter ersetzen zu können. Hierdurch werden die Nervenwurzeln, die den Duralsack verlassen gefährdet. Dies schlägt sich auch in der Rate an neuronalen Komplikationen nieder. Die Zahlen schwanken hier zwischen 8% und 22 % [25, 56, 59]. Neben weiteren Komplikationen wie zum Beispiel eine Duraverletzung [52], wird bei diesem Zugang auch die gesamte Muskulatur im Operationsgebiet abgelöst, was als Ursache für postoperative Schmerzen und Kraft-

minderungen angeführt wird. Durch die Mobilisation des Duralsacks besteht die Gefahr einer postoperativen Fibrose, welche wiederum für Beschwerden sorgen kann.

Im Gegensatz zum posterioren Zugang ist der ventrale, paramediane Zugang von einer geringeren Zugangsmorbidität begleitet. Jedoch birgt der Zugang andere Risiken wie zum Beispiel vaskuläre Verletzungen, Thrombembolien, Gefäßspasmen, Peritonealläsionen und postoperativem Ileus in sich [59].

Bei der transforaminalen lumbalen interkorporellen Fusion (TLIF) wird über einen postero-lateralen Zugang das Implantat transforaminal in den Zwischenwirbelraum eingebracht. Hierbei ist nur eine geringe Mobilisation des Duralsacks notwendig, was zu einer geringeren Vernarbung und Inzidenz an Komplikationen im Vergleich mit der PLIF-Technik führt [16, 28, 30, 34, 51]. Durch den Zugangsweg besteht jedoch die Gefahr einer Nervenwurzelverletzung. Außerdem stellt sich eine Dekompression über den postero-lateralen Zugang als weniger übersichtlich als der bei PLIF verwendete rein dorsale Zugang dar.

#### **1.4 Die Entwicklung von Cages**

Ursprünglich wurde zur Spondylodese autologer Knochen (z.B. Beckenkammspan) als Ersatzmaterial in den Zwischenwirbelraum eingefügt. Es zeigten sich jedoch diesbezüglich relevante Nachteile. So kam es nicht nur zu Komplikationen aufgrund der Knochenentnahme, sondern auch zu Pseudarthrosen, Dislokationen und zu Einbrüchen des eingefügten Knochens [18, 22].

Aufgrund der genannten Nachteile kam man zum Schluss, dass man ein Implantat entwickeln muss, welches folgende Ziele erfüllt: hohe Primärstabilität, geringe Dislokationstendenz, Wiederherstellung und Aufrechterhaltung des Zwischenwirbelraums und der Wiederherstellung der natürlichen Lendenlordose. Zusätzlich sollten die Cages osteoinduktive (Knochenwachstum stimulierende) und ostekonduktive (den wachsenden Knochen verankernde) Wirkung besitzen, um eine schnelle knöcherne Fusion zu erreichen [22, 76]. Studien konnten hervorragende Fusionsraten von über 90% bei Spondylodese mit Cages in Kombination mit dorsaler Instrumentierung zeigen [36, 46, 48, 58, 66, 72].

Verschiedenste Arten von Cages sind bis heute entwickelt worden. Weiner und Fraser teilen die Cages ihrer Form nach in drei Modelle ein [76]. Unterschieden werden "open box"-, "horizontal cylinder"- und "vertical ring"-Cages.

"Open box"-Cages können mit Knochen - autogen oder allogen - gefüllt werden. Diese Cages werden eingeschlagen. Sie besitzen zur Stabilisierung Antirutschdornen.

"Horizontal cylinder"-Cages können von dorsal und ventral eingeschraubt werden. Sie besitzen eine höhere Stabilität, da durch das Einschrauben der Cages die Bänder angespannt werden, und können ebenfalls mit Knochen- oder Knochenersatzmaterial befüllt werden. "horizontal cylinder"-Cages besitzen dank ihrer Form eine größere Knochenkontaktfläche als ein entsprechender "open box"-Cage. Diesen Vorteil erkauft man sich durch den Nachteil, dass ein größerer Cage vonnöten ist. Um zum Beispiel 1 cm Intervertebralabstand zu erzielen wird bei den "open box"-Cages ein Zylinder mit der Kantenlänge von 1 cm benötigt, während bei den "horizontal cylinder"-Cages aufgrund ihrer zylindrischen Form ein Durchmesser von 1,4 cm notwendig ist. "vertical ring"-Cages werden bei ventralen Zugängen verwendet [22].

Die Herstellung der Körbe kann aus metallischen Materialien wie Titan oder Tantal geschehen, oder aus nicht-metallischen Materialien wie Karbon oder Poly-Esther-Esther-Keton (PEEK). Hinsichtlich des Materials wichtige Eigenschaften sind die röntgenologische Beurteilbarkeit und die Elastizität. Besitzt das verwendete Material eine geringere Elastizität wie Knochen, so wird das in die Körbe eingebrachte Material weniger belastet. Belastung stellt jedoch einen wichtigen Reiz für das Knochenwachstum dar. Fehlende Belastung mündet deshalb in einer verzögerten knöchernen Fusion. PEEK besitzt die dem Knochen ähnlichste Elastizität, gefolgt von Karbon. Bezüglich der Elastizität schließt Titan von den genannten Materialien am schlechtesten ab. Es besitzt gegenüber Knochen eine etwa zehnmal niedrigere Elastizität [22].

## 1.5 Bedeutung des sagittalen Alignments

Nachdem die Entwicklung der modernen Implantate die chirurgischen Therapiemöglichkeiten von Wirbelsäulenpathologien deutlich erweitert hat, ist durch die Beobachtung der klinischen Ergebnisse der Fokus zunehmend weg von der rein selektiven Betrachtung des pathologischen Lokalbefundes in Richtung globaler Betrachtung der Statik der Wirbelsäule und Lokalbefundes gewandert. Diese gestiegene Relevanz findet bei Betrachtung der Trefferzahl bei den bekannten Onlinebibliotheken für medizinische Veröffentlichungen ihren Ausdruck. So erscheinen bei der Suche nach Literatur mit dem Suchbegriff „sagittal balance lumbal spine“ bei Pubmed 612 Treffer und bei Medline 440 Treffer (Stand 11/2015).

Verschiedene Parameter werden bei Betrachtung des Sagittalprofils betrachtet. Die wichtigsten hierbei sind der Sacral Slope (Winkel zwischen einer horizontalen sowie einer auf der Deckplatte S1 angelegten Linie), Gesamtlordose, dem C7-Lot (Lage einer Vertikalen von der Mitte Wirbelkörper HWK 7 aus) und die pelvinen Parameter Pelvic Tilt (Winkel zwischen einer Vertikalen an der Mitte der Verbindungslinie der Hüftköpfe und der Verbindungslinie zur Mitte der Deckplatte S1) und Pelvic Incidence (Winkel zwischen einer im rechten Winkel zur Deckplatte S1 stehenden Linie und einer Linie zwischen der Mitte der Deckplatte S1 und der Mitte der Verbindungslinie der Hüftköpfe). Während der Pelvic Incidence einen morphologischen Parameter darstellt (nach Abschluss des Wachstums unveränderlichen Winkel), stellen die anderen genannten positionelle Parameter dar. Positionelle Parameter werden vielfältig beeinflusst zum Beispiel durch den Muskeltonus, die Körperhaltung, Statik der unteren Extremität sowie durch Pathologien [24]. Zum Beispiel resultiert eine Flexionskontraktur bei Koxarthrose in einem erhöhten Sacral Slope und erhöhter Gesamtlordose bei normalem Pelvic Incidence und reduziertem Pelvic Tilt. Untereinander stehen die pelvinen Parameter in direktem Zusammenhang. So ist der Pelvic Incidence auch die Winkelsumme aus Sacral Slope und Pelvic Tilt. Aber auch Veränderungen in einem Wirbelsäulenabschnitt wirken sich auf die positionellen pelvinen Parameter aus. Zum Beispiel resultiert eine frakturbedingte pathologische Kyphose an der oberen LWS zu einer kompensatorischen Hyperlordose an der LWS mit erhöhtem Sacral Slope und verringertem Pelvic Tilt.

Die Messung der verschiedenen Winkel an der Wirbelsäule und Becken dient der Therapieplanung, damit durch die Entscheidung über die Indikation zur OP und die Wahl

der OP Technik nicht nur ein therapierter Lokalbefund resultiert, sondern auch die Wiederherstellung der sagittalen Balance resultiert. Diese wird am C7-Lot beurteilt. Unter statischen Idealbedingungen fällt dieses Lot hinter L3, durch den hinteren Anteil der Deckplatte S1 und landet hinter der Hüftgelenkachse. Dies stellt den Zustand der sagittalen Balance dar. Fällt dieses Lot mehr als 5 cm ventral der Hinterkante S1, so spricht man von einer positiven Imbalance. Landet das C7-Lot zusätzlich vor der Hüftgelenkachse, so spricht man von einer dekompenzierten sagittalen Imbalance. Das Ziel orthopädischer Therapien stellt neben der Behandlung des lokalen Befundes auch die Wiederherstellung der sagittalen Balance dar [24, 44].

Daraus folgt, dass bei monosegmentalen Spondylodosen die Wiederherstellung der Segmentlordose von großer Bedeutung ist. Eine nicht ausreichende Wiederherstellung der Segmentlordose resultiert in notwendigen Kompensationsmechanismen der nicht versorgten Bewegungssegmente [63]. Diese Kompensationsmechanismen können in frühzeitigem Verschleiß enden [41]. Auch konnte ein Zusammenhang zwischen Rückenschmerzen und Lordoseverlust im postoperativen Verlauf nach Spondylodese mit PLIF nachgewiesen werden [27]. Deshalb muss eine die von dem Operateur angewandte OP-Technik sowohl die Wiederherstellung der Segmentlordose, als auch den Erhalt dieser Korrektur ermöglichen [27, 47].

## 1.6 Fragestellung

Interkorporelle Fusionen werden in steigenden Zahlen durchgeführt. Keine andere orthopädische Intervention hat in den letzten Jahren derartig an Bedeutung gewonnen [21]. Grund für diese Entwicklung ist die Entwicklung von intervertebralen Implantaten, welche autologen Knochen (z.B. Beckenkamm-span) im Bereich der Spondylodesen immer weiter verdrängen. Dies liegt sowohl an den Komplikationen bei der Verwendung von autologem Knochen [18, 19], als auch an den guten Ergebnissen bei der Verwendung von Cages [20, 32, 35, 43, 61, 64, 65]. Unterschiedliche operative Techniken sind zur interkorporellen Fusion entwickelt worden. Am bekanntesten sind die Anteriore, die Posteriore und die Transforaminale Lumbale Intervertebrale Fusion. Es existieren viele Studien bezüglich der Ergebnisse der verschiedenen Techniken, jedoch gibt es keine dem Autor bekannte Studie, die PLIF und TLIF in Bezug auf die sagittale Balance miteinander vergleicht.

Ziele der vorliegenden Arbeit waren:

1. Beeinflusst eine monosegmentale, dorsale Instrumentierung mit interkorporeller Fusion die Gesamtlordose und Segmentlordose mittelfristig.
2. Bestehen Unterschiede des sagittalen Alignements segmental und im Bereich der Gesamtlordose der LWS in Abhängigkeit der OP-Technik der interkorporellen Fusion (TLIF vs. PLIF).
3. Besteht ein Unterschied in Abhängigkeit von dem operierten Segment.
4. Besteht bei gleicher OP-Technik (TLIF/ PLIF) ein Unterschied in Abhängigkeit von den verwendeten Cages.

## **2 Material und Methodik**

### **2.1 Studienpatienten**

In der vorliegenden Arbeit wurden Patienten ausgewählt, welche im Zeitraum zwischen April 2007 und Januar 2013 mittels monosegmentaler, dorsal instrumentierter Spondylodese und interkorporeller Fusion in TLIF- oder PLIF-Technik versorgt wurden. Im vorliegenden Patientenkollektiv bestand die OP-Indikation bei Spondylolisthese (degenerativ/ isthmisch), fortgeschrittener Segmentdegeneration mit sekundärer Spinalkanalstenose und bei Postnukleotomiesyndrom. Eingeschlossen wurden Patienten, bei denen sagittale Aufnahmen der gesamten LWS präoperativ, direkt postoperativ und im Verlauf vorlagen.

### **2.2 OP-Technik**

Der Hautschnitt erfolgt über dem zu operierenden Segment. Anschließend scharfes Durchtrennen des subkutanen Gewebes und Blutstillung. Nach paraspinöser Inzision der Thorakolumbalfaszie erfolgt mit dem scharfen Raspatorium das Abschieben der autochtonen Rückenmuskulatur. Die Pedikelschrauben werden unter radiologischer Kontrolle in Standarttechnik eingebracht.

PLIF-Technik:

Nach der Inzision der supra- und interspinösen Bänder erfolgt die Resektion des Dornfortsatzes. Mit der Fräse ausdünnen der Lamina und der medialen kaudalen Facetten. Anschließend erfolgt die Flavektomie sowie Resektion der Lamina mit Stanzen verschiedener Größen. Die Facettengelenke werden teilweise mit dem Meisel vorsichtig abgeschlagen. Es folgt die Darstellung des Bandscheibenfachs jeweils lateral vom Duralschlauch. Danach wird mit dem Nervenhook der Duralschlauch medialisiert.

Danach Inzision des Bandscheibenfachs. Eingehen in das Bandscheibenfach mit dem Rongeur. Nach Ausräumen des Bandscheibengewebes erfolgt die Präparation der Grund- und Deckplatte mit der Kürette. Eingehen mit dem Distraktor und Umwendbewegungen bis der Distraktor gut verklemmt und damit die passende Größe ermittelt ist. Es erfolgt das analoge Vorgehen auf der anderen Seite. Nun Impaktieren von zerkleinerten Femdspongiosachips. Anschließend werden die mit Eigenspongiosa gefüllten definitiven Cages von beiden Seiten nacheinander unter Röntgenkontrolle eingebracht. Einbringen der Längsträger zur Beendigung der Instrumentierung. Nach ausgiebiger Spülung und Drainageeinlage erfolgt der schichtweise Wundverschluss.

TLIF-Technik:

Ausdünnen der kaudalen Anteile der Lamina auf einer Seite. Interlaminäres Eingehen mit der Stanze und nach kranial Unterschneiden der Lamina unilateral. Gegenüber der zur Implantation des Cages gewählten Seite erfolgt das Unterschneiden des Facettengelenkes zur Dekompression. Mit einem Dissektor erfolgt die Überprüfung, ob bestehende Einengungen vollständig entfernt sind. Auf der zur Implantation des Cages gewählten Seite erfolgt das Abschlagen des Facettengelenks mit dem Meißel. Darstellung der Nervenwurzel. Diese wird mit einem Nervenhook kranialisiert, während der Duralsack mit einem weiteren Nervenhook medialisiert wird. Nun Inzision des Bandscheibenfachs und Ausräumen desselben mittels Küretten und Raffeln verschiedener Größe. Spülung zur Entfernung freier Bandscheibenreste. Einbringen des passenden Probecages, welcher die richtige Passform anzeigt. Einbringen von Femdspongiosachips in das ventrale Bandscheibenfach. Anschließend einbringen des mit Spongiosa befüllten Cages unter Bildwandlerkontrolle von weit lateral bis zum Erreichen der endgültigen Lage. Beendigung der Instrumentierung durch das Einbringen der Längsträger. Nach ausgiebiger Spülung und Drainageeinlage erfolgt der schichtweise Wundverschluss.

## 2.3 Die Cages

Verschiedene Cages wurden den Patienten implantiert. Hierbei handelt es sich um den TM 500 der Firma Zimmer, den Capstone-Cage der Firma Medtronic, den Pezo-PLIF-Cage und den Pezo-TLIF-Cage der Firma Ulrich. Insgesamt wurden 53 Segmente operiert. Diese verteilen sich folgendermaßen auf die Cages:

- 9 x TM 500 (Zimmer) (PLIF-Technik)
- 13 x Capstone-Cage (Medtronic) (TLIF-Technik)
- 19 x Pezo-P-Cage (Ulrich) (PLIF-Technik)
- 12 x Pezo-T-Cage (Ulrich) (TLIF-Technik)

### *TM 500 Cage der Firma Zimmer*

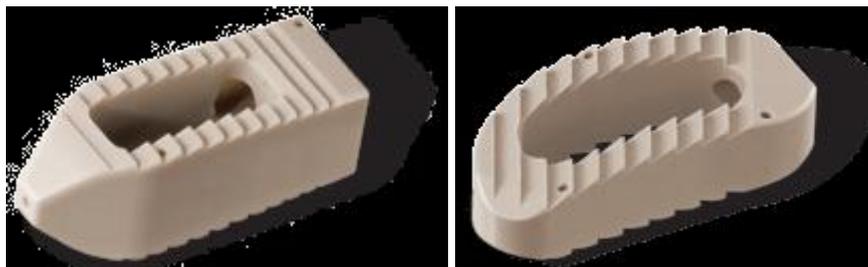
Das TM der TM-Cages steht für Trabecular Metal. Hergestellt wird der Cage aus einem Element mit dem Namen Tantalum, welches in seiner verarbeiteten Form sowohl porös und damit osteokonduktiv ist, als auch von den biomechanischen Eigenschaften - Elastizität und Kompressionsstärke - denen des Knochens nahe kommt. Hohlräume machen bei diesem Cage 70-80% des Volumens aus. Dies erlaubt dem Knochen ein schnelleres einwachsen und eine höhere Stabilität an der Grenzfläche zum Knochen [11, 68]. Hinsichtlich der Elastizität des Materials ist das verwendete Material näher an der Elastizität von Knochen als Titan oder Karbon und besitzt damit eine höhere osteo-induktive Wirkung [40]. Verwendet wird der Cage zur Implantation in PLIF-Technik.



**Abb. 1:** TM 500 Cage der Firma Zimmer (Mit freundlicher Genehmigung von Zimmer Biomet) [79]

### *Pezo-Cage der Firma Ulrich*

Die Pezo-Familie der Firma Ulrich besteht aus Cages zur interkorporellen Fusion im thorakalen und lumbalen Bereich der Wirbelsäule. Diese werden hergestellt aus PEEK. Es gibt eine spezielle Form für ALIF, TLIF und PLIF. Jeder Cage ist mit Knochen- oder mit Knochenersatzmaterial befüllbar und enthält Röntgenmarkerstifte zur radiologischen Positionsbestimmung. Um einen besseren Implantatsitz zu ermöglichen besitzt jeder Cage an seiner Ober- und Unterfläche eine spezielle Zahnung. Der PLIF-Cage Pezo-P ist mit 5° und 12° erhältlich, der TLIF-Cage Pezo-T ist nur in der 5° Variante erhältlich [69].



**Abb.2:** Pezo-P (linkes Bild) und Pezo-T (rechtes Bild) der Firma Ulrich (Mit freundlicher Genehmigung der Ulrich GmbH und Co. KG)[69]

### *Capstone-Cage der Firma Medtronic*

Das Capstone PEEK Spinal System der Firma Medtronic, entwickelt durch MD Michelson, ist ein für PLIF und TLIF entwickeltes Implantatsystem. Die aus PEEK hergestellten Cages enthalten Röntgenmarker zur besseren radiologischen Beurteilung. Es stehen verschiedene Höhen von 8-16 mm zur Verfügung. Eine spezielle Zahnung an Ober- und Unterrand sorgt für höhere Stabilität. Das Innere des Cages ist mit Knochen oder Knochenersatzmaterial befüllbar. Die Form des Ober- und Unterrandes wurde der Grund- und Deckplatte der angrenzenden Wirbelkörper nachempfunden [15]. In der aktuellen Arbeit wurde der Cage in TLIF-Technik implantiert.



**Abb.3:** Capstone Cage der Firma Medtronic (Mit freundlicher Genehmigung der Medtronic Deutschland GmbH. Capstone® Cage Family beinhaltet eine von Gary K. Michelson, MD entwickelte Technologie) [15]

## 2.4 Radiologische Untersuchung

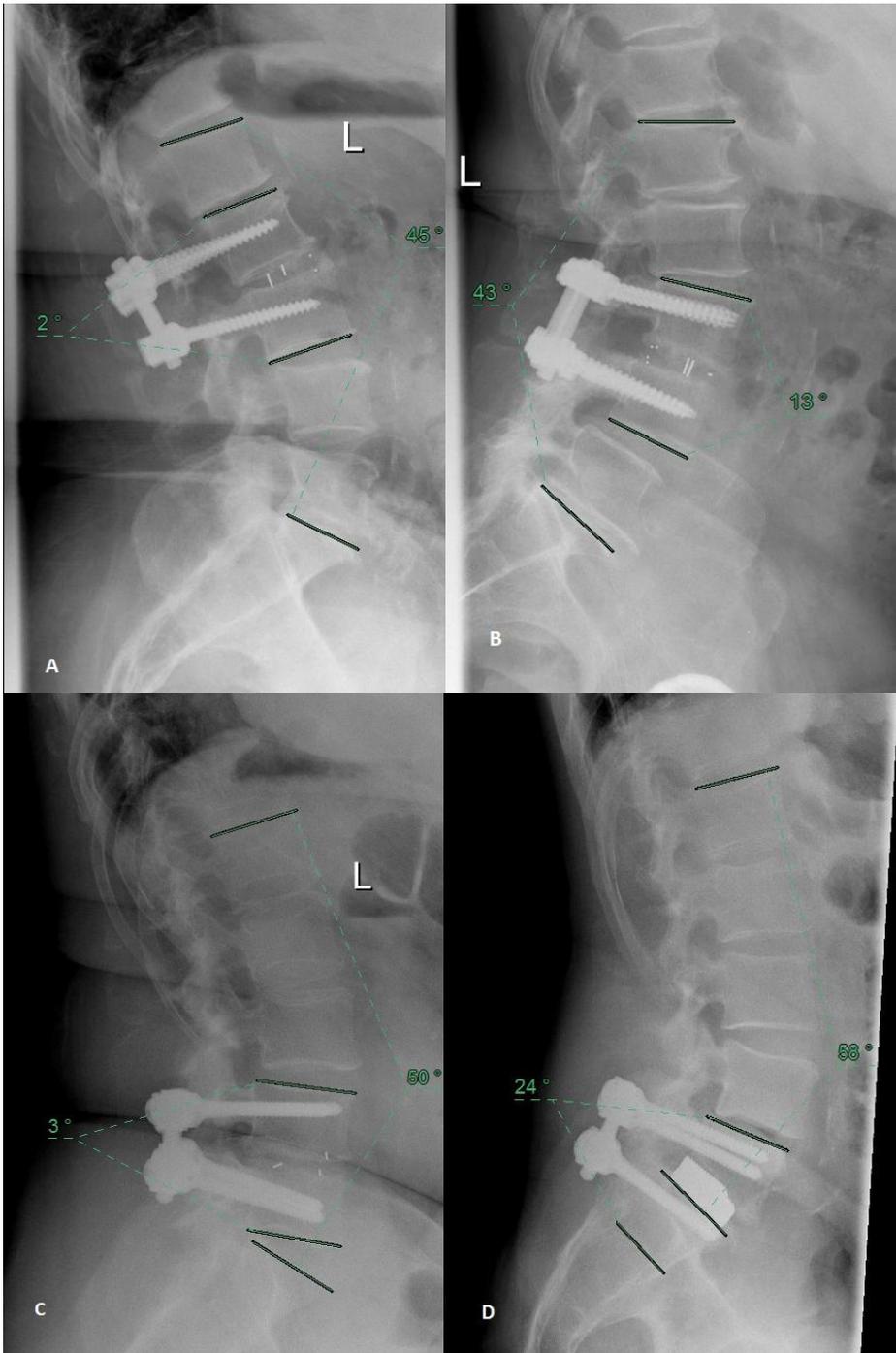
### Radiologische Untersuchungstechnik

Es wurden konventionelle Röntgenbilder der Lendenwirbelsäule in 2 Ebenen (seitlich und anterior-posterior) für alle Patienten sowohl präoperativ, als auch postoperativ angefertigt. Im Rahmen der Nachuntersuchung wurden präoperative, direkt postoperative und die letzten Verlaufsbilder vermessen. Die Aufnahmen erfolgten standardisiert mit einem Film-Fokus-Abstand von 110 cm und einem Vergrößerungsfaktor von 1,15. Die Vermessung erfolgte an den digitalisierten Bildern mit PACS von GE Healthcare.

### Radiologische Messungen

In den durchgeführten Röntgenuntersuchungen wurden sowohl die Gesamtlordose, als auch die Segmentlordose im operierten Segment bestimmt. Die Segmentlordose wurde nach der Cobb-Methode bestimmt. Hierbei wurde der Winkel zwischen einer an der Deckplatte des kranialen Wirbelkörpers angelegten Linie und einer an der Grundplatte des kaudalen Wirbelkörpers angelegten Linie gemessen. Das analoge Vorgehen erfolgte in Segment L5/S1. Hier wurde die Grundplatte von S1 mittels Anpassung der Kontrastwerte und Helligkeitswerte bestimmt.

Die Messung der Gesamtlordose erfolgte anhand des Winkels zwischen einer Linie an der Deckplatte von L1 und einer Linie an der Deckplatte von S1.



**Abb.4:** Beispiele für ausgemessene Segment- und Gesamtlordose bei operiertem Segment L2/3 mit Pezo-T Cage (A), L3/4 mit Pezo-P Cage (B), L4/5 mit Capstone-PEEK Cage (C), sowie L5/S1 mit TM 500 Cage (D). (L = Lendenwirbelkörper, S = Sakralwirbelkörper, PEEK = Poly-Esther-Esther-Keton)

### Messgenauigkeit

Zur Bestimmung der Messgenauigkeit wurde die Gesamtlordose aller 53 Patienten sowohl präoperativ, als auch postoperativ und im Verlauf 2 mal bestimmt. Zwischen den Messungen des Untersuchers lagen mindestens 3 Monate. Die Messgenauigkeit wird hierbei mit  $+X^\circ/-Y^\circ$  angegeben (95% der zu erwartenden Messunterschiede befinden sich in diesem Intervall [10]).

### Statistische Auswertung

Zur statistischen Auswertung wurden der Wilcoxon-Rangsummentest verwendet, welcher im Gegensatz zum Student's t-Test keine Normalverteilung der Daten erfordert [35]. Als Signifikanzniveau wurde ein p-Wert von 0,05 festgelegt. Die Analyse der Daten erfolgte mit dem Statistikprogramm SAS 9.2 (SAS Institute, Cary, North Carolina, USA).

## **2.5 Beschreibung der Vorgehensweise**

Eine Stellungnahme der zuständigen Ethikkommission liegt vor (siehe Anhang).

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Patientendaten

Das Studienkollektiv umfasste 53 Patienten.

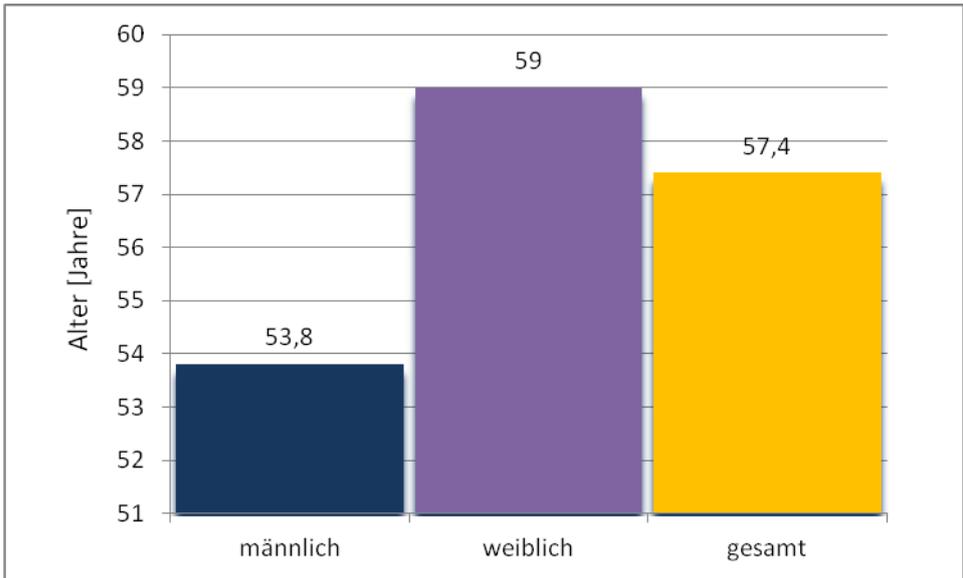
Bei 37 weiblichen und 16 männlichen Patienten betrug das Durchschnittsalter  $57,4 \pm 16,2$  Jahre. Das Durchschnittsalter der Frauen betrug  $59 \pm 17,3$  Jahre, das der Männer  $53,8 \pm 12,9$  Jahre.

25 (9 m [männlich], 16 w [weiblich]) Patienten wurden in TLIF-Technik und 28 (7 m, 21 w) Patienten in PLIF-Technik operiert.

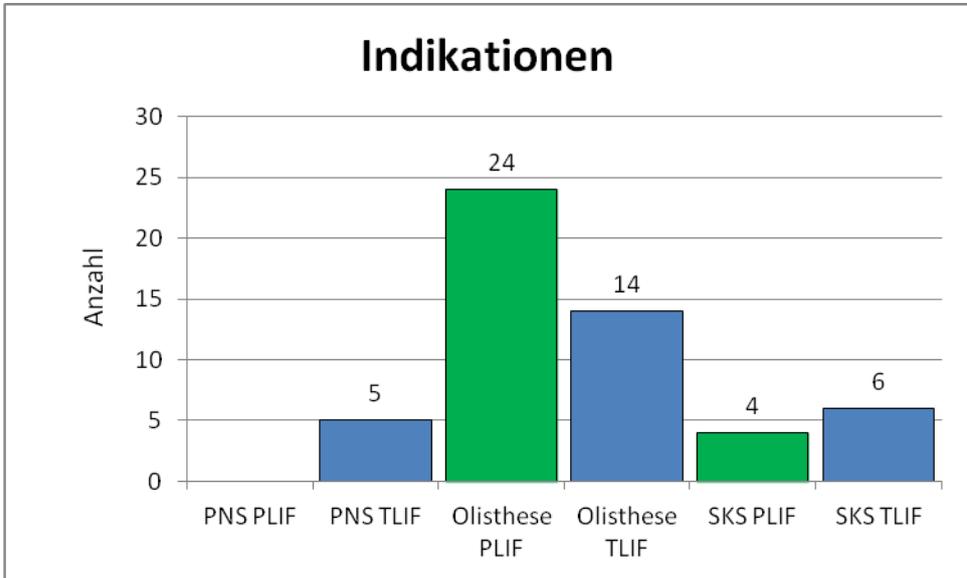
Von den in PLIF-Technik operierten Patienten hatten als präoperative Diagnose 24 eine Spondylolisthese (degenerativ/ isthmisch) und 4 Patienten eine sekundäre Spinalkanalstenose bei fortgeschrittener Segmentdegeneration.

Die operative Indikation wurde im in TLIF-Technik operierten Kollektiv bei 14 Patienten aufgrund einer Spondylolisthese (degenerativ/isthmisch), bei 6 Patienten aufgrund einer sekundären Spinalkanalstenose bei fortgeschrittener Segmentdegeneration und bei 5 Patienten aufgrund eines Postnukleotomiesyndroms gestellt.

Das durchschnittliche radiologische Nachuntersuchungsintervall betrug im Gesamtkollektiv 15,1 Monate (Minimum: 1,4 Monate, Maximum: 97,3 Monate). Im PLIF Kollektiv betrug das durchschnittliche radiologische Nachuntersuchungsintervall 17 Monate (Minimum: 1,4 Monate, Maximum: 47,6 Monate), im TLIF Kollektiv 12,9 Monate (Minimum: 2,7 Monate, Maximum: 97,3 Monate).



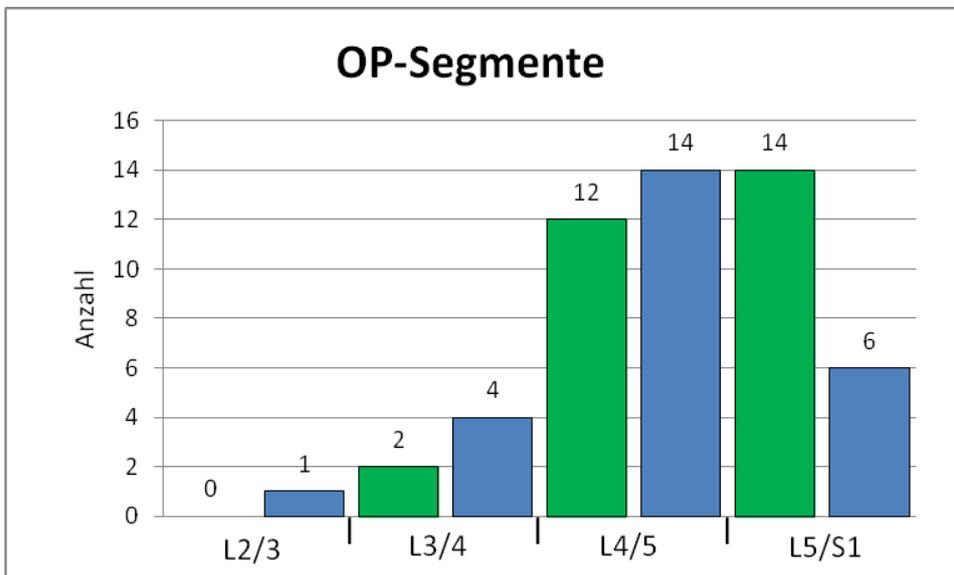
**Abb.5:** Durchschnittsalter [Jahre] der 53 Studienpatienten zum Operationszeitpunkt



**Abb.6:** OP-Indikationen in Abhängigkeit von der OP-Technik (grün: posteriore lumbale interkorporelle Fusion (PLIF), blau: transforaminale lumbale interkorporelle Fusion (TLIF), PNS: Postnukleotomiesyndrom, Olisthese: degenerative/ isthmische Spondylolisthese, SKS: sekundäre Spinalkanalstenose bei Segmentdegeneration)

Von den 28 in PLIF-Technik versorgten Patienten wurden 2 auf Höhe L3/4, 12 auf Höhe L4/5 und 14 auf Höhe L5/S1 operiert.

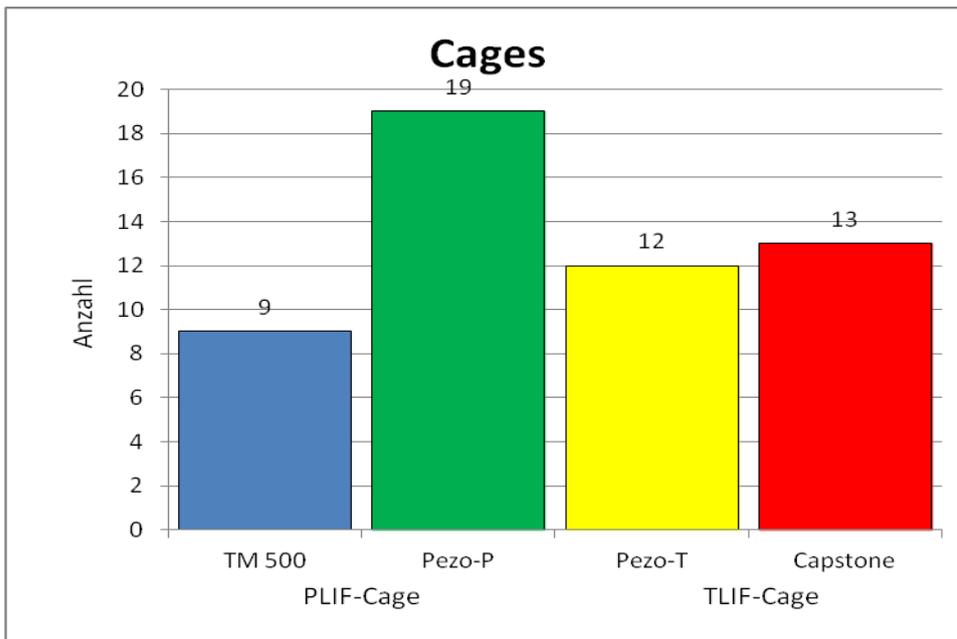
Im TLIF-Kollektiv wurde ein Patient auf Höhe L2/3, 4 auf Höhe L3/4, 14 auf Höhe L4/5 und 6 auf Höhe L5/S1 operiert.



**Abb.7:** Anzahl der operierten Segmente nach Technik und Operationssegment (L: Lendenwirbelkörper, S: Sakralwirbelkörper, grün: posteriore lumbale interkorporelle Fusion, blau: transforaminale lumbale interkorporelle Fusion)

Von den in PLIF-Technik operierten Patienten wurden 19 mit dem Pezo-P Cage der Firma Ulrich (2 auf Höhe L3/4, 9 auf Höhe L4/5 und 8 auf Höhe L5/S1) und 9 mit dem TM 500 Cage der Firma Zimmer (3 auf Höhe L4/5, 6 auf Höhe L5/S1) versorgt.

Im TLIF-Kollektiv wurden 12 Patienten mit dem Pezo-T Cage der Firma Ulrich (einer auf Höhe L2/3, 2 auf Höhe L3/4, 5 auf Höhe L4/5 und 4 auf Höhe L5/S1), sowie 13 Patienten mit dem Capstone Cage der Firma Medtronic (2 auf Höhe L3/4, 9 auf Höhe L4/5 und 2 auf Höhe L5/S1) versorgt.



**Abb.8:** Verteilung der verwendeten Implantate (PLIF: posteriore lumbale interkorporelle Fusion, TLIF: transforaminale lumbale interkorporelle Fusion, TM 500 der Firma Zimmer, Pezo-P und Pezo-T der Firma Ulrich, Capstone Cage der Firma Medtronic)

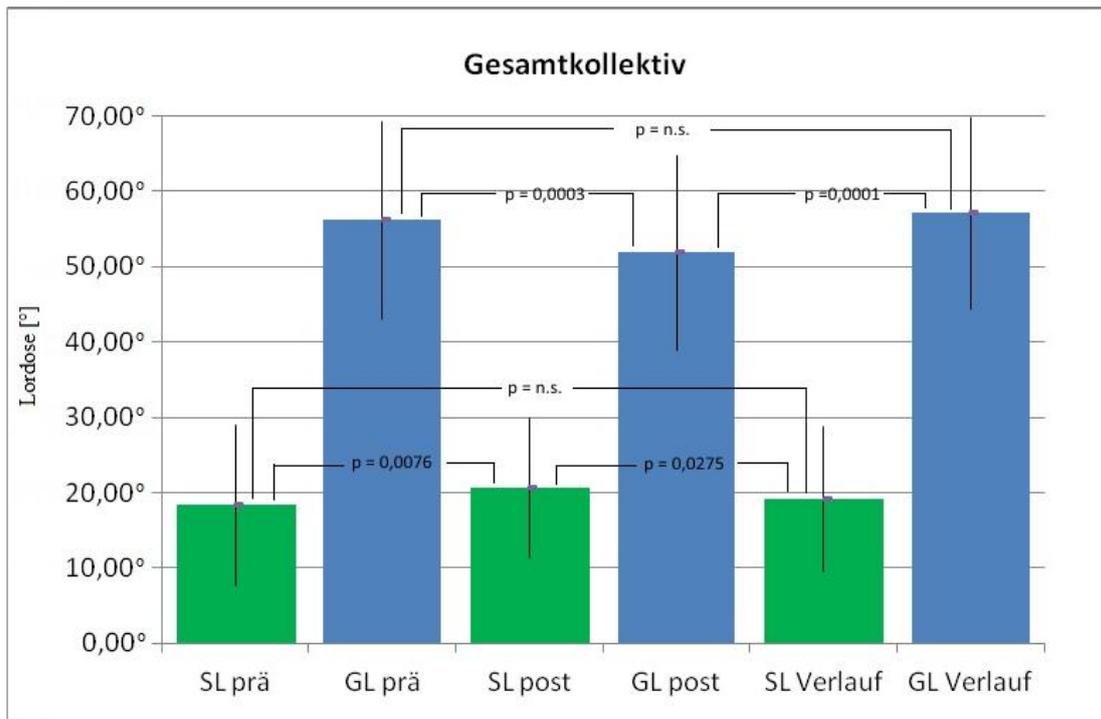
### 3.2 Ergebnisse der Bestimmung der radiologischen Messgenauigkeit

Es erfolgte die zweimalige Messung der Gesamtlordose aller 53 Patienten sowohl des präoperativen, als auch des postoperativen Zustandes sowie des Verlauf-Bildes. Insgesamt wurden 159 Bilder zweimal ausgemessen. Die hieraus resultierende Standardabweichung betrug  $2,12^\circ$ . Das 95%-Konfidenzintervall der radiologischen Messung betrug  $\pm 4,24^\circ$ .

### 3.3 Radiologische Untersuchungen

#### 3.3.1 Sagittales Aligement des Gesamtkollektivs

Vergleicht man die prä- mit den postoperativen Werten der Gesamt- und Segmentlordose, so zeigt sich zwar ein signifikanter postoperativer Verlust in der Gesamtlordose von durchschnittlich präoperativ  $56,18^\circ \pm 13,11^\circ$  auf postoperativ  $51,84^\circ \pm 12,98^\circ$  ( $p=0,0003$ ), während die Lordose im operierten Segment signifikant von  $18,34^\circ \pm 10,74^\circ$  auf  $20,67^\circ \pm 9,27^\circ$  ( $p=0,0076$ ) zunimmt. Betrachtet man im weiteren Verlauf die Segmentlordose, so nimmt der durchschnittliche Wert der Segmentlordose von postoperativen  $20,67^\circ \pm 9,27^\circ$  auf  $19,15^\circ \pm 9,71^\circ$  signifikant ab ( $p=0,0275$ ). Vergleicht man jedoch den präoperativen Wert der Segmentlordose mit dem erhobenen Wert im Verlauf, dann erkennt man keinen signifikanten Unterschied. Präoperativ beträgt die durchschnittliche Segmentlordose  $18,34^\circ \pm 10,74^\circ$  und im Verlauf  $19,15^\circ \pm 9,71^\circ$  ( $p=0,3255$ ). Umgekehrt verhält es sich mit der durchschnittlichen Gesamtlordose postoperativ gegenüber den Verlaufswerten. Diese nimmt von postoperativ  $51,84^\circ \pm 12,98^\circ$  auf  $57,13^\circ \pm 12,73^\circ$  signifikant zu ( $p=<0,0001$ ). Jedoch zeigt sich auch hier beim Vergleich der präoperativen Werte mit denen im Verlauf keinen signifikanten Unterschied. Die Gesamtlordose beträgt präoperativ durchschnittlich  $56,18^\circ \pm 13,11^\circ$  und im Verlauf  $57,13^\circ \pm 12,73^\circ$  ( $p=0,3582$ ).

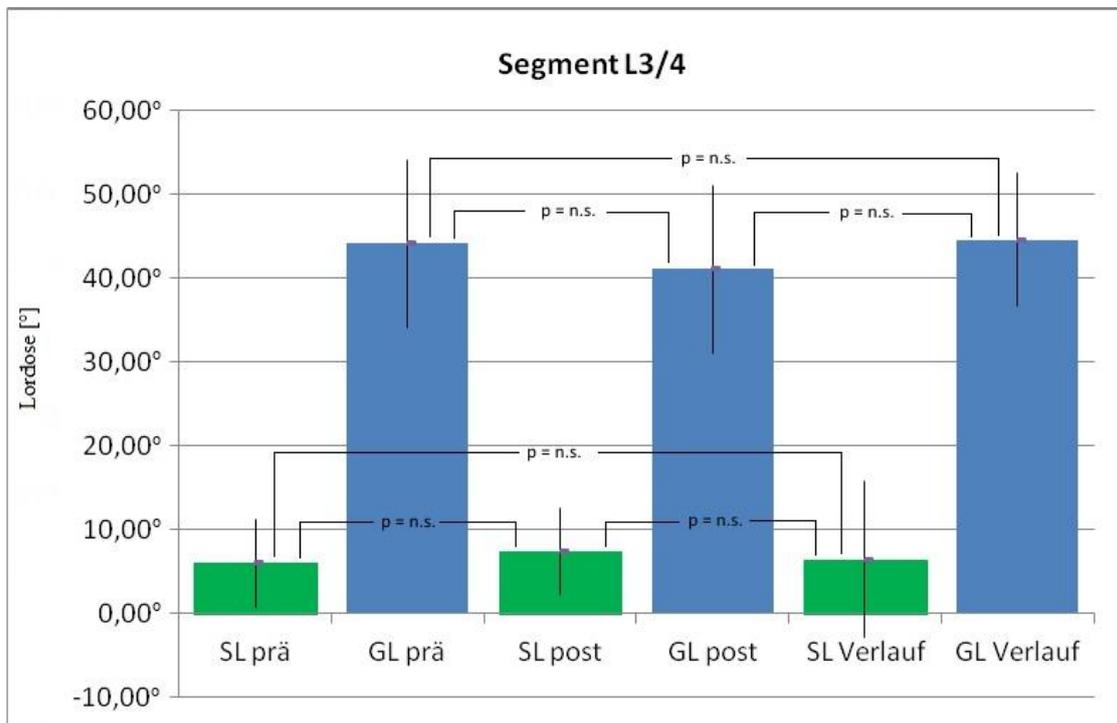


**Abb.9:** Mittelwerte und Standardabweichung der Segmentlordose (SL) und Gesamtlordose (GL) sowohl präoperativ (prä), postoperativ (post) und im Verlauf in Grad (°) im Gesamtkollektiv (Universitätsklinikum Ulm 2007-2013). ( $p$  = Signifikanzniveau, n.s. = nicht signifikant)

### 3.3.2 Sagittales Alignment in Abhängigkeit vom OP-Segment

Bei der Betrachtung des auf Höhe L3/4 operierten Kollektivs, wurden 6 Patienten miteinander verglichen. Betrachtet man die Segmentlordose, so kommt es weder beim Vergleich der durchschnittlichen Werte der prä- mit der postoperativen Segmentlordose ( $5,98^\circ \pm 5,30^\circ$  vs.  $7,44^\circ \pm 5,19^\circ$ ;  $p=0,1955$ ), noch beim Vergleich der präoperativen mit der Segmentlordose im Verlauf ( $5,98^\circ \pm 5,30^\circ$  vs.  $6,47^\circ \pm 9,30$ ;  $p=0,7985$ ) zu einer signifikanten Änderung. Auch beim Vergleich postoperativen Segmentlordose mit denen im Verlauf zeigt sich kein signifikanter Unterschied ( $7,44^\circ \pm 5,19^\circ$  vs.  $6,47^\circ \pm 9,30$ ;  $p=0,6960$ ). Die Gesamtlordose zeigt ein analoges Verhalten. Auch hier kommt es bei dem Vergleich der präoperativen Gesamtlordose mit den postoperativen Werten ( $44,16^\circ \pm 10,02^\circ$  vs.  $41,07^\circ \pm 9,94^\circ$ ;  $p=0,0934$ ) und mit den Werten im Verlauf ( $44,16^\circ \pm 10,02^\circ$  vs.  $44,62^\circ \pm 8,04^\circ$ ;  $p=0,8556$ ) zu keinem signifikantem Unterschied. Analog dazu zeigt sich bei Betrachtung der postoperativen Werte mit den Werten im Verlauf kein signifikanter Unterschied. Postoperativ beträgt die durchschnittliche Gesamtlordose  $41,07^\circ \pm 9,94^\circ$  und

im Verlauf  $44,62^\circ \pm 8,04^\circ$  ( $p=0,2360$ ).

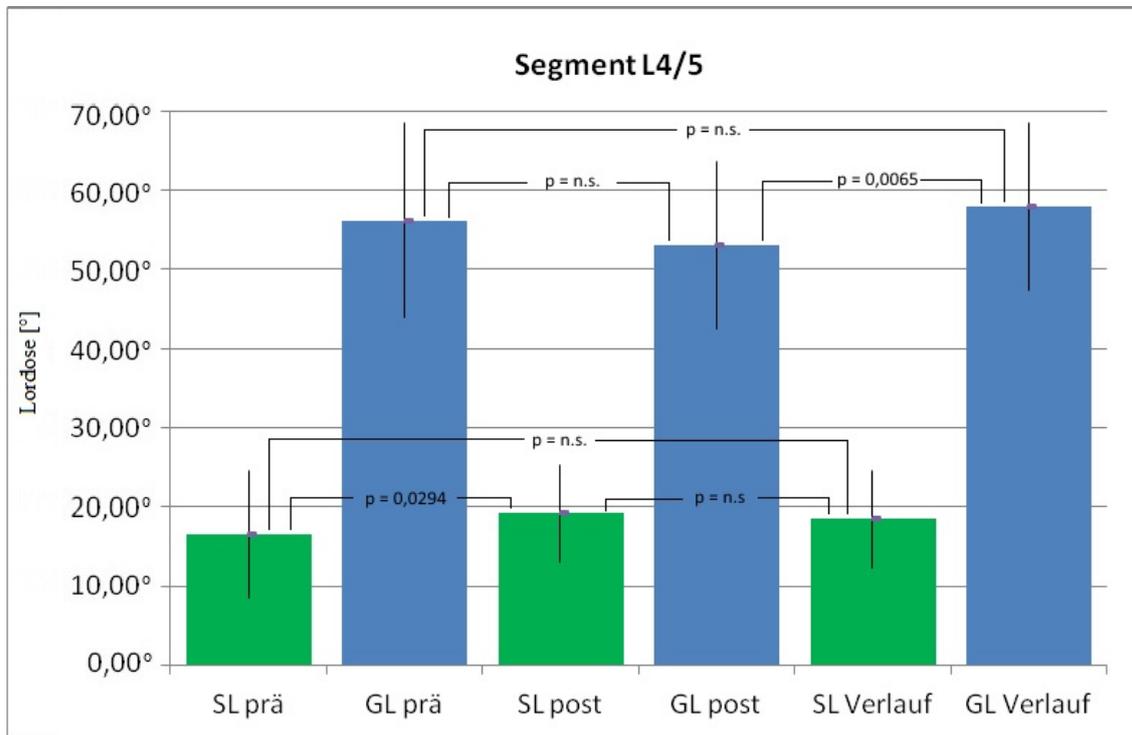


**Abb.10:** Mittelwerte und Standardabweichung der Segmentlordose (SL) und Gesamtlordose (GL) sowohl präoperativ (prä), postoperativ (post) und im Verlauf in Grad (°) der auf Höhe L3/4 versorgten Patienten (Universitätsklinikum Ulm 2007-2013). ( $p$  = Signifikanzniveau, n.s. = nicht signifikant, L: Lendenwirbelkörper)

Das auf Höhe L4/5 operierte Kollektiv umfasst 25 Patienten. Bei der Analyse der Segmentlordose zeigt sich eine signifikante Zunahme beim Vergleich der präoperativen mit den postoperativen Werten. Hier erhöhte sich die durchschnittliche Segmentlordose von präoperativen  $16,50^\circ \pm 8,11^\circ$  auf postoperative  $19,15^\circ \pm 6,11^\circ$  ( $p=0,0294$ ). Im weiteren Verlauf kommt es von postoperativen  $19,15^\circ \pm 6,11^\circ$  auf  $18,45^\circ \pm 6,21^\circ$  zu keiner signifikanten Veränderung ( $p=0,3296$ ). Betrachtet man die präoperativen Werte mit denen im Verlauf, so zeigt sich hier keine signifikante Differenz ( $16,50^\circ \pm 8,11^\circ$  vs.  $18,45^\circ \pm 6,21^\circ$ ;  $p=0,1068$ ).

Bei der durchschnittlichen Gesamtlordose zeigt sich präoperativ  $56,17^\circ \pm 12,28^\circ$ , postoperativ  $53,14^\circ \pm 10,59^\circ$  und im Verlauf  $57,96^\circ \pm 10,57^\circ$ . Hier ergibt der Vergleich der präoperativen Werte mit den postoperativen Werten ( $p=0,0803$ ) und den präoperativen Werten mit denen im Verlauf ( $p=0,1634$ ) keine signifikanten Unterschiede. Jedoch zeigt

sich bei der Analyse der postoperativ gemessenen Werte mit denen im Verlauf eine signifikante Zunahme der Gesamtlordose ( $p=0,0065$ ).

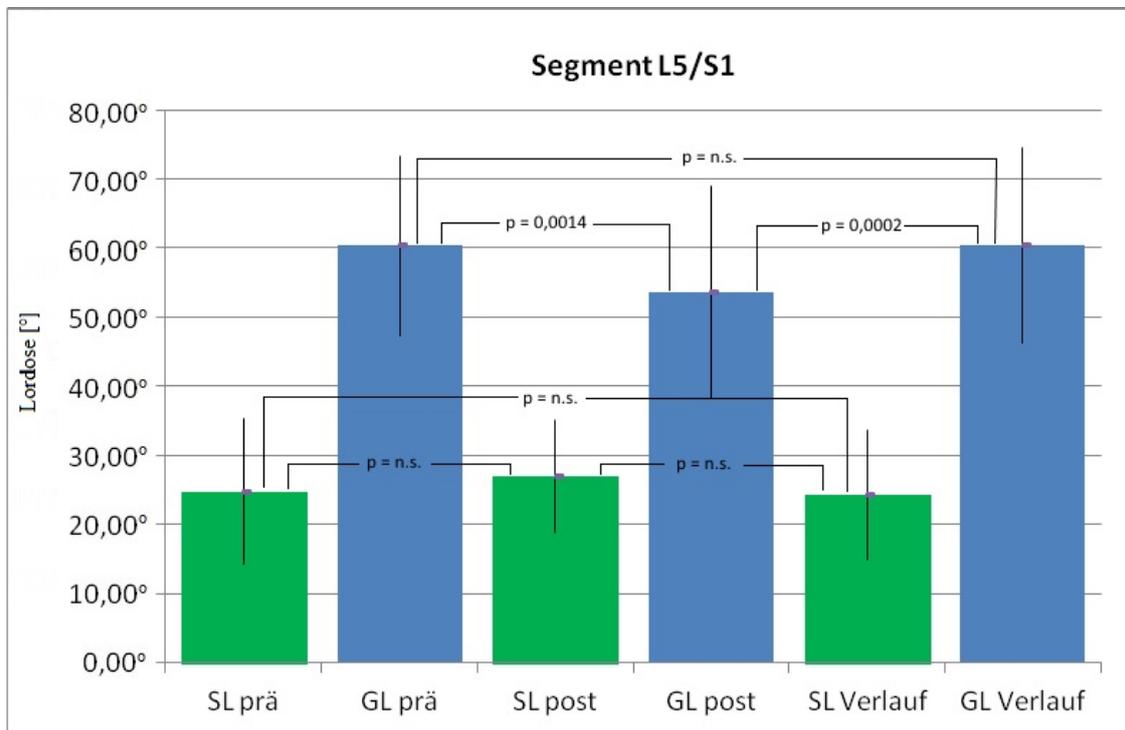


**Abb.11:** Mittelwerte und Standardabweichung der Segmentlordose (SL) und Gesamtlordose (GL) sowohl präoperativ (prä), postoperativ (post) und im Verlauf in Grad (°) der auf Höhe L4/5 versorgten Patienten (Universitätsklinikum Ulm 2007-2013). ( $p$  = Signifikanzniveau, n.s. = nicht signifikant, L: Lendenwirbelkörper)

21 Patienten umfasst das auf Höhe L5/S1 versorgte Studienkollektiv. Die Untersuchung der Segmentlordose ergibt präoperativ  $24,74^\circ \pm 10,52^\circ$ , postoperativ  $26,92^\circ \pm 8,12^\circ$  und im Verlauf  $24,33^\circ \pm 9,42^\circ$ . Postoperativ resultiert keine signifikante Differenz im Vergleich zu den präoperativen Werten ( $p=0,1976$ ). Des Weiteren kommt es bei der Gegenüberstellung der postoperativen Werte mit den Werten im Verlauf zu dem gleichen Ergebnis ( $p=0,0647$ ). Der Vergleich der Verlaufswerte mit denen präoperativ zeigt ebenfalls keinen signifikanten Unterschied ( $p=0,7758$ ).

Die Gesamtlordose zeigt postoperativ gegenüber den präoperativen Werten eine signifikante Abnahme. Hier fällt die präoperative Gesamtlordose von durchschnittlich  $60,35^\circ \pm 12,95^\circ$  auf postoperativ  $53,66^\circ \pm 15,38^\circ$  ( $p=0,0014$ ). Im Verlauf kommt es zu einer signifikanten Zunahme der Gesamtlordose von  $53,66^\circ \pm 15,38^\circ$  auf  $60,40^\circ \pm 14,21^\circ$

( $p=0,0002$ ). Betrachtet man jedoch die durchschnittliche präoperative Gesamtlordose mit den Werten im Verlauf, so lässt sich kein signifikanter Unterschied darstellen ( $60,35^\circ \pm 12,95^\circ$  vs.  $60,40^\circ \pm 14,21^\circ$ ;  $p=0,9814$ ).



**Abb.12:** Mittelwerte und Standardabweichung der Segmentlordose (SL) und Gesamtlordose (GL) sowohl präoperativ (prä), postoperativ (post) und im Verlauf in Grad (°) der auf Höhe L5/S1 versorgten Patienten (Universitätsklinikum Ulm 2007-2013). ( $p$  = Signifikanzniveau, n.s. = nicht signifikant, L: Lendenwirbelkörper, S: Sakralwirbelkörper)

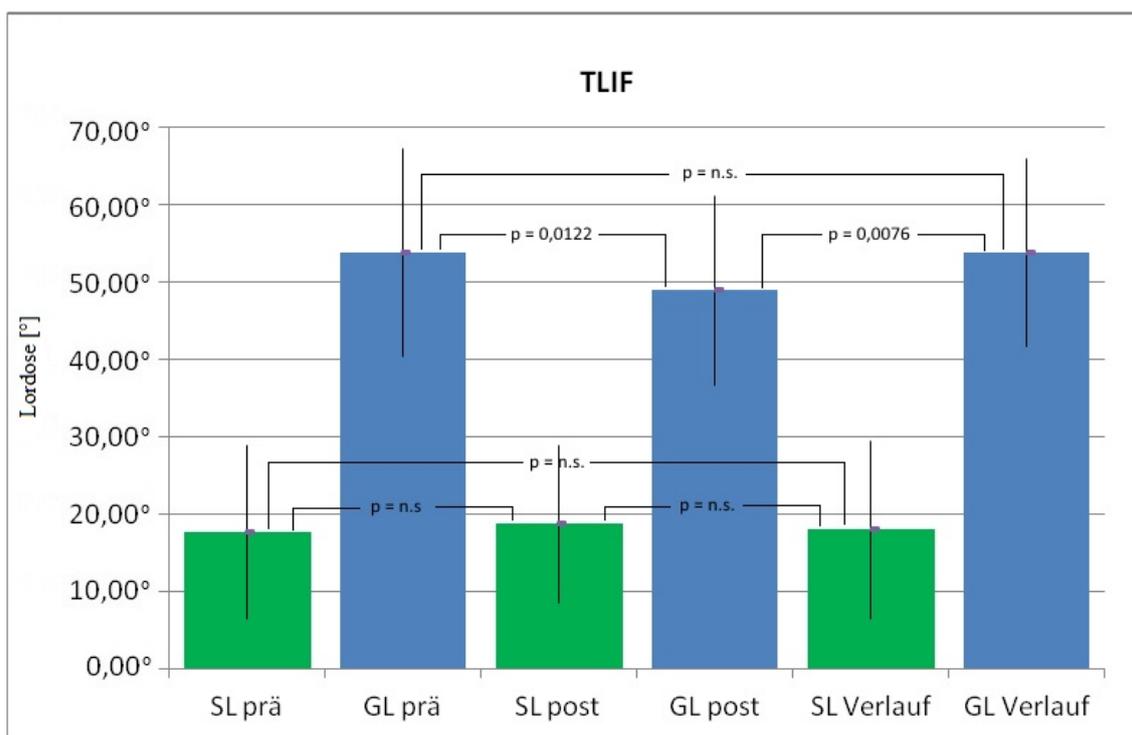
### 3.3.3 Sagittales Alignment in Abhängigkeit von der OP-Technik (TLIF vs. PLIF)

Das in TLIF-Technik operierte Kollektiv umfasst 25 Patienten. In diesem Kollektiv ergibt die gemessene durchschnittliche Segmentlordose präoperativ  $17,67^\circ \pm 11,20^\circ$ , postoperativ  $18,71^\circ \pm 10,21^\circ$  und im Verlauf  $17,97^\circ \pm 11,51^\circ$ . Vergleicht man die präoperativen mit den postoperativen Werten, so kommt es zu keiner signifikanten Veränderung ( $p=0,2494$ ).

Auch die Betrachtung der postoperativen Werten mit den im Verlauf gemessenen Werten zeigt keinen signifikanten Unterschied ( $p=0,3803$ ). Ebenfalls keinen signifikanten Unter-

schied ergibt die Gegenüberstellung der präoperativen Werte mit den Verlaufswerten ( $p=0,7734$ ).

Anders verhält es sich mit der durchschnittlichen Gesamtlordose. Hier sinkt die präoperative Gesamtlordose von  $53,82^\circ \pm 13,41^\circ$  auf postoperative  $48,87^\circ \pm 12,23^\circ$  ab ( $p=0,0122$ ). Die postoperativ gemessenen Werte zeigen jedoch im weiteren Verlauf wieder eine signifikante Zunahme der durchschnittlichen Gesamtlordose ( $48,87^\circ \pm 12,23^\circ$  vs.  $53,73^\circ \pm 12,19^\circ$ ;  $p=0,0076$ ). Vergleicht man die präoperativen Werte mit denen im Verlauf, so zeigt sich kein signifikanter Unterschied ( $53,82^\circ \pm 13,41$  vs.  $53,73^\circ \pm 12,19^\circ$ ;  $p=0,9485$ ).

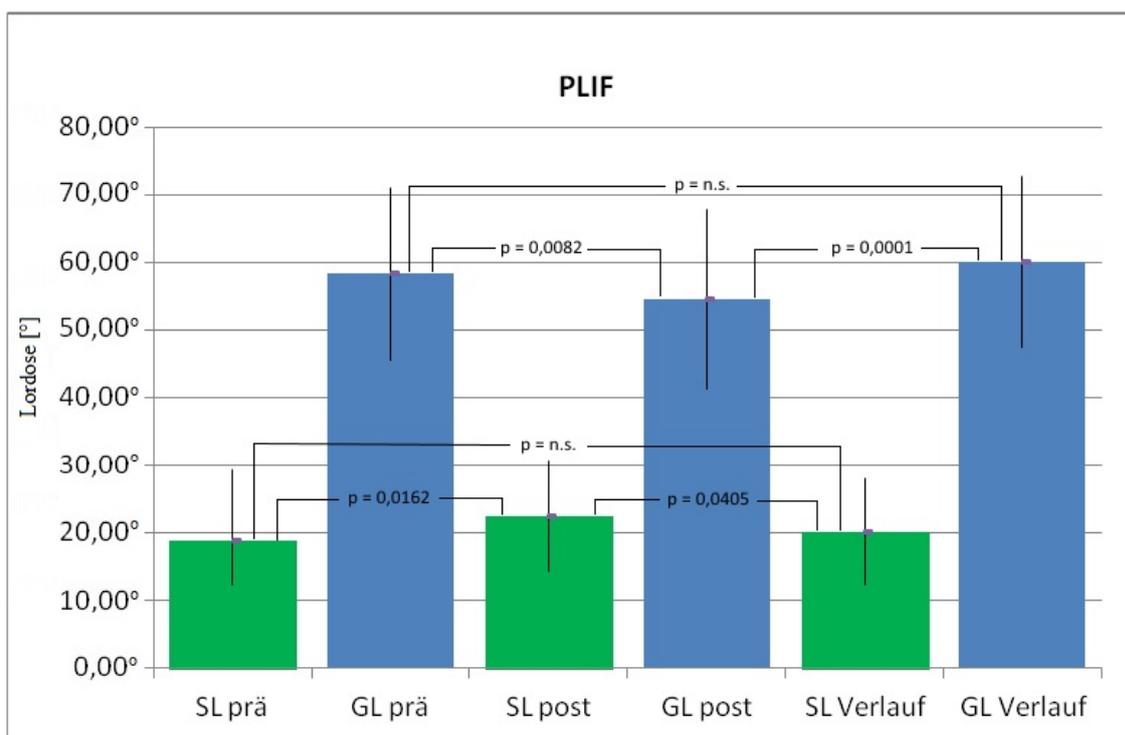


**Abb.13:** Mittelwerte und Standardabweichung der Segmentlordose (SL) und Gesamtlordose (GL) sowohl präoperativ (prä), postoperativ (post) und im Verlauf in Grad (°) der in TLIF-Technik versorgten Patienten (Universitätsklinikum Ulm 2007-2013). ( $p$  = Signifikanzniveau, n.s. = nicht signifikant, TLIF: transforaminale lumbale interkorporelle Fusion)

28 Patienten wurden in PLIF-Technik operativ versorgt. Die durchschnittliche Segmentlordose zeigt einen signifikanten Anstieg von präoperativ  $18,93^\circ \pm 10,49^\circ$  auf postoperativ  $22,43^\circ \pm 8,12^\circ$  ( $p=0,0162$ ). Verglichen mit den postoperativen  $22,43^\circ \pm 8,12^\circ$ , kommt es im Verlauf zu einem signifikantem Lordoseverlust auf  $20,20^\circ \pm 7,83^\circ$  ( $p=0,0405$ ). Bei Betrachtung der präoperativen Werte mit den im Verlauf gemessenen Werten, zeigt sich

kein signifikanter Unterschied ( $18,93^\circ \pm 10,49^\circ$  vs.  $20,20^\circ \pm 7,83^\circ$ ;  $p=0,3216$ ).

Ein umgekehrtes Verhalten zeigt sich bei der durchschnittlichen Gesamtlordose. Hier kommt es postoperativ zu einer signifikanten Reduktion der Gesamtlordose gegenüber den präoperativen Werten ( $58,29^\circ \pm 12,70^\circ$  vs.  $54,50^\circ \pm 13,26^\circ$ ;  $p=0,0082$ ). Die gemessene Lordose steigt im Verlauf gegenüber den postoperativen Werten wieder signifikant an ( $54,50^\circ \pm 13,26^\circ$  vs.  $60,17^\circ \pm 12,63^\circ$ ;  $p=0,0001$ ). Der Vergleich der präoperativen Werte mit den Werten im Verlauf zeigt keinen signifikanten Unterschied ( $58,29^\circ \pm 12,70^\circ$  vs.  $60,17^\circ \pm 12,63^\circ$ ;  $p=0,2265$ ).

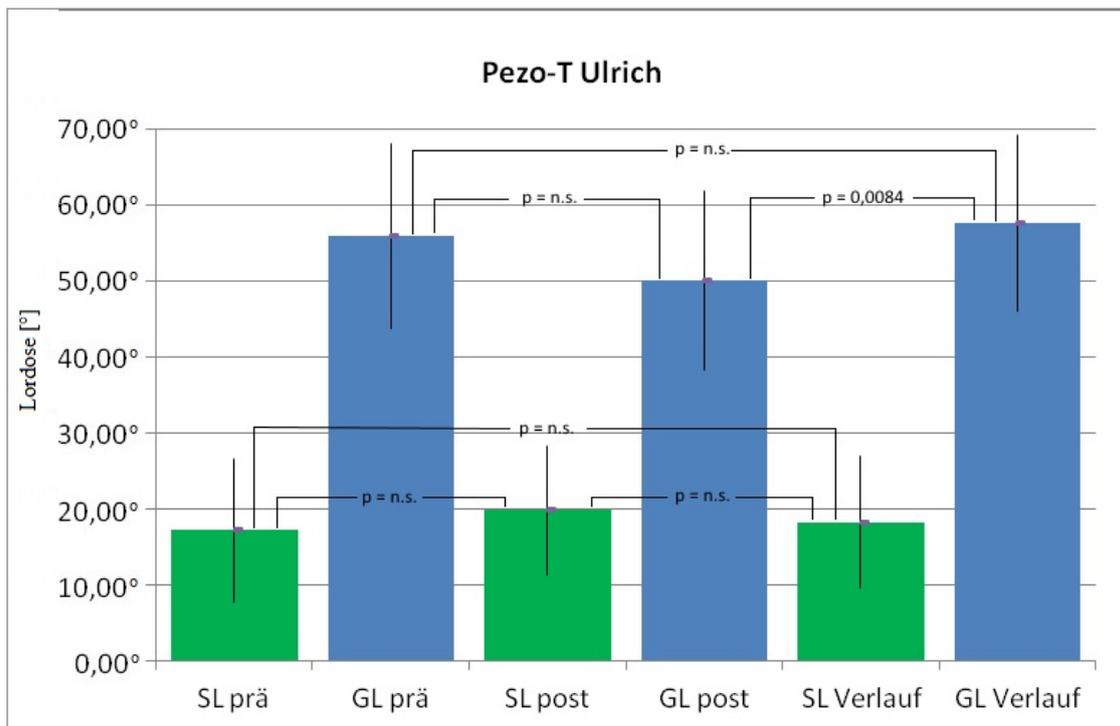


**Abb.14:** Mittelwerte und Standardabweichung der Segmentlordose (SL) und Gesamtlordose (GL) sowohl präoperativ (prä), postoperativ (post) und im Verlauf in Grad (°) der in PLIF-Technik versorgten Patienten (Universitätsklinikum Ulm 2007-2013). (p = Signifikanzniveau, n.s. = nicht signifikant, PLIF: posteriore lumbale interkorporelle Fusion)

### 3.3.4 Sagittales Alignment in Abhängigkeit des implantierten Cage

12 Patienten wurden mit dem Pezo-T Cage der Firma Ulrich versorgt. Die durchschnittliche Segmentlordose der mit diesem TLIF-Cage versorgten Patienten liegt präoperativ bei  $17,13^\circ \pm 9,47^\circ$ , postoperativ bei  $19,84^\circ \pm 8,49^\circ$  und im Verlauf bei  $18,21^\circ \pm 8,64^\circ$ . Weder beim Vergleich der präoperativen Segmentlordose mit der postoperativen ( $p=0,0555$ ) oder der Segmentlordose im Verlauf ( $0,5085$ ), noch beim Vergleich der postoperativen Werte mit den Werten im Verlauf zeigen sich signifikante Unterschiede ( $p=0,1835$ ).

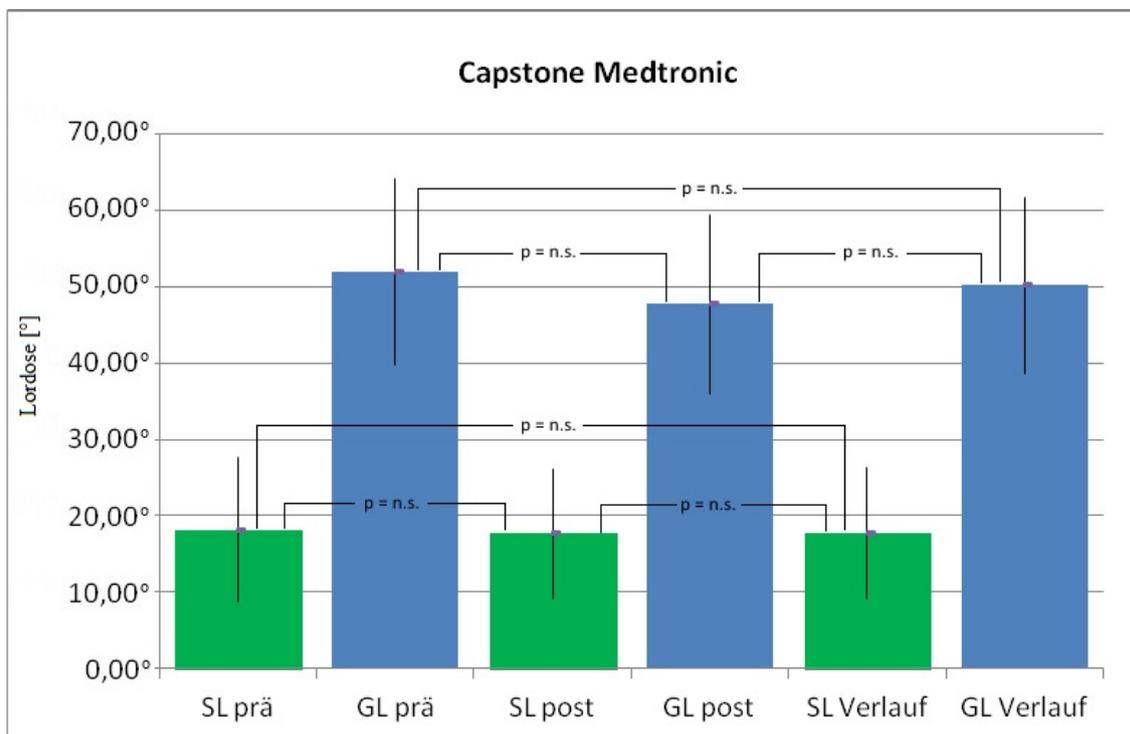
Auch die Gesamtlordose zeigt beim Vergleich der präoperativen Werte mit den postoperativen ( $55,91^\circ \pm 12,19^\circ$  vs.  $50,07^\circ \pm 11,74^\circ$ ;  $p=0,0854$ ) und mit denen im Verlauf ( $55,91^\circ \pm 12,19^\circ$  vs.  $57,59^\circ \pm 11,61^\circ$ ;  $p=0,4212$ ) keinen signifikanten Unterschied. Jedoch nimmt die Gesamtlordose im Verlauf gegenüber den postoperativen Werten signifikant zu ( $50,07^\circ \pm 11,74^\circ$  vs.  $57,59^\circ \pm 11,61^\circ$ ;  $p=0,0084$ ).



**Abb.15:** Mittelwerte und Standardabweichung der Segmentlordose (SL) und Gesamtlordose (GL) sowohl präoperativ (prä), postoperativ (post) und im Verlauf in Grad (°) der mit Pezo-T Cage der Firma Ulrich versorgten Patienten (Universitätsklinikum Ulm 2007-2013). (p = Signifikanzniveau, n.s. = nicht signifikant)

Die durchschnittliche Segmentlordose der 13 mit dem Capstone TLIF Cage der Firma Medtronic versorgten Patienten beträgt präoperativ  $18,17^\circ \pm 9,47$ , postoperativ  $17,66^\circ \pm 8,49^\circ$  und im Verlauf  $17,76^\circ \pm 8,64^\circ$ . Dies bedeutet keinen signifikanten Unterschied, weder beim Vergleich präoperativ vs. postoperativ ( $p=0,6478$ ) und präoperativ vs. Verlaufswerte ( $p=0,7690$ ), noch beim Vergleich der postoperativen mit den Verlaufswerten ( $p=0,9360$ ).

Die durchschnittliche Gesamtlordose beträgt präoperativ  $51,63^\circ \pm 12,19^\circ$ , postoperativ  $47,76^\circ \pm 11,74^\circ$  und im Verlauf  $50,17^\circ \pm 11,61^\circ$ . Analog zur Segmentlordose zeigen sich auch beim Vergleich der präoperativen Gesamtlordose mit den postoperativen Werten ( $p=0,0787$ ) und mit den Werten im Verlauf ( $p=0,3596$ ), als auch der postoperativen Werte mit den Werten im Verlauf ( $p=0,3018$ ) keine signifikanten Unterschiede.

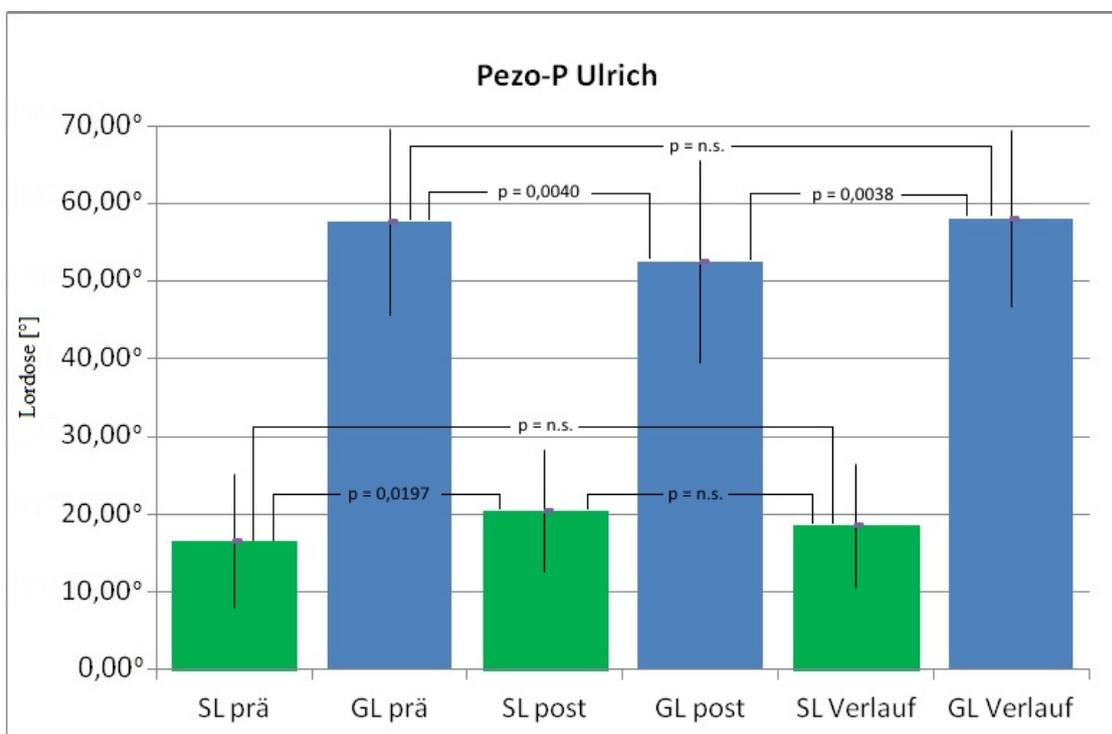


**Abb.16:** Mittelwerte und Standardabweichung der Segmentlordose (SL) und Gesamtlordose (GL) sowohl präoperativ (prä), postoperativ (post) und im Verlauf in Grad (°) der mit Capstone Cage der Fa. Medtronic versorgten Patienten (Universitätsklinikum Ulm 2007-2013). ( $p$  = Signifikanzniveau, n.s. = nicht signifikant)

Die Untersuchung der 19 mit Pezo-P Cages versorgten Patienten erbringt folgende Ergebnisse. Die durchschnittliche Segmentlordose zeigt eine signifikante Zunahme postoperativ

gegenüber den präoperativen Werten ( $16,55^\circ \pm 8,64^\circ$  vs.  $20,46^\circ \pm 7,80^\circ$ ;  $p=0,0197$ ). Die postoperativen Werte zeigen im Verlauf keine signifikante Änderung ( $20,46^\circ \pm 7,80^\circ$  vs.  $18,50^\circ \pm 7,96^\circ$ ;  $p=0,1478$ ). Jedoch zeigen die präoperativ gemessenen Werte der Segmentlordose gegenüber den Werten im Verlauf keinen signifikanten Unterschied ( $16,55^\circ \pm 8,64^\circ$  vs.  $18,50^\circ \pm 7,96^\circ$ ;  $p=0,1825$ ).

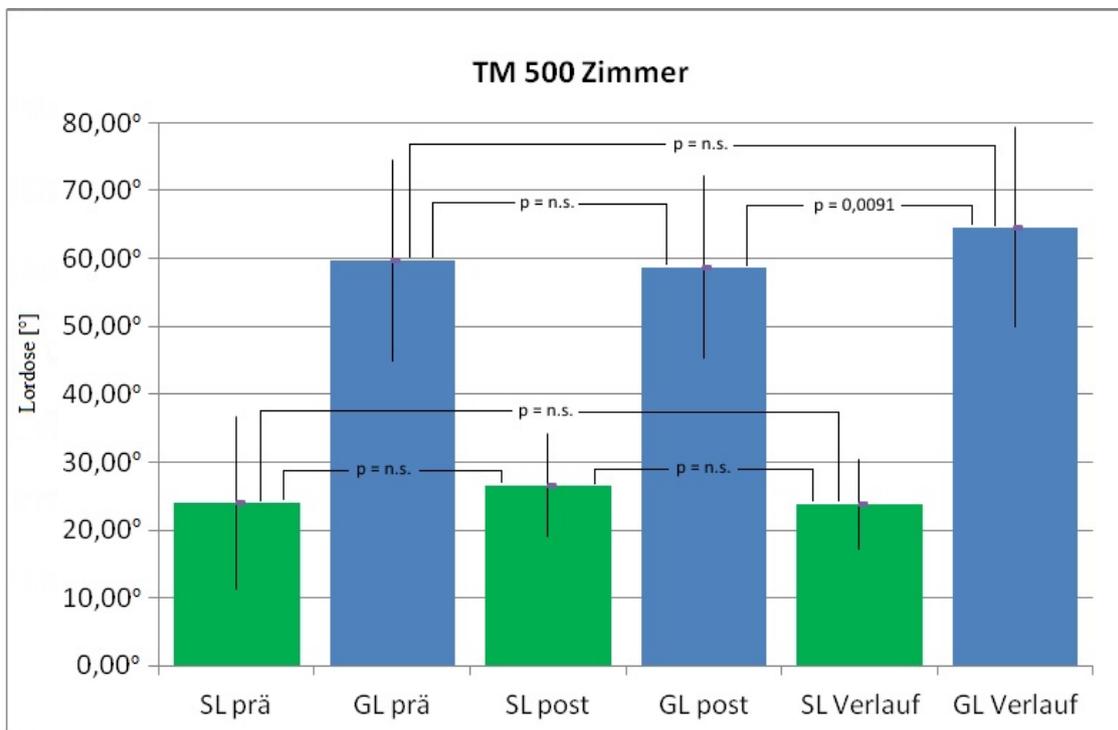
Bei der durchschnittlichen Gesamtlordose kommt es zu einer signifikanten postoperativen Reduktion von  $57,63^\circ \pm 11,99^\circ$  auf  $52,51^\circ \pm 13,06^\circ$  ( $p=0,0040$ ). Jedoch zeigt sich im Verlauf eine signifikante Steigerung der durchschnittlichen Gesamtlordose von postoperativen  $52,51^\circ \pm 13,06^\circ$  auf  $58,08^\circ \pm 11,34^\circ$  im Verlauf ( $p=0,0038$ ). Vergleicht man die präoperative durchschnittliche Gesamtlordose mit den Werten im Verlauf, so zeigt sich hier kein signifikanter Unterschied ( $57,63^\circ \pm 11,99^\circ$  vs.  $58,08^\circ \pm 11,34^\circ$ ;  $p=0,7288$ ).



**Abb.17:** Mittelwerte und Standardabweichung der Segmentlordose (SL) und Gesamtlordose (GL) sowohl präoperativ (prä), postoperativ (post) und im Verlauf in Grad (°) der mit Pezo-P Cage der Firma Ulrich versorgten Patienten (Universitätsklinikum Ulm 2007-2013). (p = Signifikanzniveau, n.s. = nicht signifikant)

Bei 9 Patienten wurde der TM 500 Cage der Firma Zimmer verwendet. Die durchschnittliche Segmentlordose dieses Kollektivs beträgt präoperativ  $23,95^\circ \pm 12,71^\circ$ , postoperativ

26,61° ±7,52° und im Verlauf 23,78° ±6,54°. Daraus ergibt sich kein signifikanter Unterschied beim Vergleich der präoperativen Segmentlordose mit den Werten postoperativ (p=0,3866) und im Verlauf (p=0,9507). Gleichsam zeigt sich beim Vergleich des postoperativen Wertes mit den Verlaufswerten kein signifikanter Unterschied (p=0,1593). Die durchschnittliche Gesamtlordose zeigt sich präoperativ mit 59,68° ±14,76° im Vergleich zum postoperativen Wert von 58,70° ±13,43° ohne signifikanten Unterschied (p=0,6896). Daraufhin steigt die Gesamtlordose von postoperativen 58,70° ±13,43° auf 64,58° ±14,72° signifikant an (p=0,0091). Betrachtet man die präoperative durchschnittliche Gesamtlordose dieses Kollektivs jedoch mit den Werten im Verlauf, so zeigt sich hier kein signifikanter Unterschied (59,68° ±14,76° vs. 64,58° ±14,72°; p=0,2373).



**Abb.18:** Mittelwerte und Standardabweichung der Segmentlordose (SL) und Gesamtlordose (GL) sowohl präoperativ (prä), postoperativ (post) und im Verlauf in Grad (°) der mit TM 500 Cage der Firma Zimmer versorgten Patienten (Universitätsklinikum Ulm 2007-2013). (p = Signifikanzniveau, n.s. = nicht signifikant)

### **3.3.5 Ergebnisse für das sagittale Alinement unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit**

Im Folgenden wurde das operierte Kollektiv unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit von  $\pm 2,12^\circ$  in einen Anteil mit abnehmender, gleichbleibender und zunehmender Lordose aufgeteilt. Dies geschieht durch den Vergleich der präoperativen Werte für Segment- bzw. Gesamtlordose mit den postoperativen bzw. im Verlauf gemessenen Werten. Zusätzlich wurden mehrere Untergruppen (Gesamtkollektiv, nach operiertem Segment, nach OP-Technik und nach verwendetem Implantat) erstellt. Als signifikant wurde eine Veränderung im Sagittalprofil um mindestens die 2-fache Messgenauigkeit festgelegt (d.h. Veränderungen  $>4,24^\circ$ ).

Da es sich um 2\*3 Häufigkeitstabellen mit verbundenen Stichproben handelt, sind die etablierten statistischen Testverfahren (Chi-Quadrat-Test, Fisher-Exact-Test, McNemar-Test) nicht anwendbar. Auch die Fallzahl zeigt sich in den einzelnen Untergruppen teils gering. Da anwendbare Testverfahren wie der Friedmann-Test unter den vorliegenden Bedingungen nur eine geringe Aussagekraft haben, wurde auf eine derartige Auswertung verzichtet. Die vorliegenden Häufigkeitstabellen dienen der orientierenden Betrachtung.

#### **a) Veränderung im sagittalen Alinement im Gesamtkollektiv**

Betrachtet man die Gesamtlordose im Gesamtkollektiv postoperativ, so stellt sich der Anteil an Patienten mit abnehmender Lordose als der mit 29 Patienten (54,72%) der GröÙte dar. 16 Patienten (30,19%) zeigen eine unveränderte und 8 Patienten (15,09%) eine steigende Gesamtlordose.

Im Verlauf zeigt sich die Gruppe mit gleichbleibender Lordose mit 29 Patienten (54,72%) am größten, gefolgt von der Gruppe mit zunehmender Gesamtlordose (14 Patienten, 26,42%). Den geringsten Anteil stellt das Patientengut mit abnehmender Lordose dar (10 Patienten, 18,87%).

**Tab.1:** Veränderung der Gesamtlordose unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit postoperativ und im weiteren Verlauf (n = Anzahl der Patienten).

<i>Gesamtlordose</i>	Abnahme	Gleich	Zunahme
postoperativ	29 (54,72%)	16 (30,19%)	8 (15,09%)
Verlauf	10 (18,87%)	29 (54,72%)	14 (26,42%)

Bei der Segmentlordose des Gesamtkollektivs zeigt sich sowohl postoperativ als auch im weiteren Verlauf ein signifikanter Anteil an Patienten mit zunehmender als auch abnehmender Segmentlordose. Sowohl postoperativ (28 Patienten, 52,83%), als auch im Verlauf (27 Patienten, 50,94%) ist der Anteil an Patienten mit gleichbleibender Segmentlordose am größten. Zeigt sich postoperativ der Anteil mit zunehmender Segmentlordose gegenüber dem Anteil mit abnehmender Lordose als mehr als doppelt so groß (17 (32,08%) vs. 8 (15,09%)), so weisen diese Gruppen im Verlauf nur noch einen geringen Unterschied (Zunahme 14 (26,42%) Patienten vs. Abnahme 12 (22,64%) Patienten) auf.

**Tab.2:** Veränderung der Segmentlordose unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit postoperativ und im weiteren Verlauf (n = Anzahl der Patienten).

<i>Segmentlordose</i>	Abnahme	Gleich	Zunahme
postoperativ	8 (15,09%)	28 (52,83%)	17 (32,08%)
Verlauf	12 (22,64%)	27 (50,94%)	14 (26,42%)

## **b) Veränderungen im Sagittalprofil in Abhängigkeit vom OP-Segment**

Betrachtet man die Gesamtlordose des auf Höhe L3/4 operierten Patientenguts, so zeigen sich postoperativ jeweils 3 Patienten mit abnehmender und mit gleichbleibender Lordose. Kein Patient zeigt auf Höhe L3/4 post-operativ eine Zunahme der Gesamtlordose. Betrachtet man die Werte im weiteren Verlauf, so zeigt sich letztlich bei 2 der 6 auf dieser Höhe operierten Patienten eine Zunahme, während weiterhin die Hälfte dieses Kollektivs (3 Patienten) keine Veränderung aufweist.

Wendet man sich dem Segment L4/5 zu, so zeigt sich, im Vergleich mit den präoperativen Aufnahmen, postoperativ bei fast der Hälfte der Patienten (48%) eine geringere Gesamtlordose verglichen mit den präoperativen Aufnahmen. Während knapp ein Drittel (32%) eine gleichbleibende Lordose aufweist, ist die Gruppe mit gestiegener Lordose die kleinste (20%). Schaut man auf den Verlauf und vergleicht diese Ergebnisse mit den Ausgangswerten, so stellt hier die Gruppe mit gleichbleibender Lordose den größten Anteil (60%). Der Anteil an Patienten mit einer Lordosezunahme ist verglichen mit den Patienten mit einer Abnahme deutlich größer (28% vs. 12%).

Auf Höhe L5/S1 zeigt sich postoperativ ein analoges Bild wie auf Höhe L4/5. Mit 66,67% ist auch hier der Anteil mit abnehmender Lordose am stärksten vertreten, gefolgt von der Gruppe mit gleichbleibender Lordose (23,81%). Der geringste Anteil befindet sich in der Gruppe mit steigender Lordose (9,52%). Bei Betrachtung der Verteilung im Verlauf, stellt die Gruppe mit gleichbleibender Lordose mit 47,62% die Größte dar. Die restlichen Patienten verteilen sich fast gleichmäßig auf die anderen beiden Gruppen (Abnahme bei 28,57%, Zunahme bei 23,81%).

**Tab.3:** Veränderung der Gesamtlordose unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit und des OP-Segments postoperativ und im weiteren Verlauf (n = Anzahl der Patienten, post: postoperativ, L: Lendenwirbelkörper, S: Sakralwirbelkörper).

<i>Gesamtlordose</i>	Abnahme	Gleich	Zunahme
L3/4 (post)	3 (50%)	3 (50%)	0
L3/4 (Verlauf)	1 (16,67%)	3 (50%)	2 (33,33%)
L4/5 (post)	12 (48%)	8 (32%)	5 (20%)
L4/5 (Verlauf)	3 (12%)	15 (60%)	7 (28%)
L5/S1 (post)	14 (66,67%)	5 (23,81%)	2 (9,52%)
L5/S1 (Verlauf)	6 (28,57%)	10 (47,62%)	5 (23,81%)

Wendet man sich nun der Segmentlordose zu und analysiert die Verteilung auf Höhe L3/4, so weisen postoperativ 5 von 6 Patienten eine unveränderte Segmentlordose auf. Lediglich bei einem Patienten liegt eine Zunahme vor. Kein Patient zeigt postoperativ eine Abnahme. Eine ähnliche Verteilung findet sich im Verlauf. Hier haben 4 von 6 auf diesem Segment operierte Patienten eine gleichbleibende Segmentlordose im Vergleich mit den präoperativen Werten, während jeweils ein Patient eine Zunahme bzw. Abnahme der

Segmentlordose aufweist.

Auf Höhe L4/5 stellen die Gruppen mit gleichbleibender Segmentlordose (44%) und die Gruppe mit Zunahme (40%) die Größten dar. Der geringste Anteil zeigt eine Abnahme (16%). Nahezu gleich stellt sich die Verteilung im Verlauf auf Höhe L4/5 dar. Weiterhin ist der größte Anteil in der Gruppe mit gleicher (44%) oder zugenommener Segmentlordose (36%). Am geringsten ist folglich der Anteil mit abnehmender Segmentlordose (20%).

Bei der abschließenden Betrachtung des Segments L5/S1, befindet sich in der Gruppe mit gleichbleibender Segmentlordose sowohl postoperativ, als auch im Verlauf jeweils mehr als die Hälfte der Patienten (11 Personen, 52,38%). Während sich postoperativ der Anteil mit Zunahme der Lordose gegenüber dem Anteil mit Abnahme der Lordose als gering größer erweist (6 Patienten (28,57%) vs. 4 Patienten (19,05%)), kehrt sich dieses Verhältnis im Verlauf um (Zunahme 4 Patienten (19,05%) vs. Abnahme 6 Patienten (28,57%))

**Tab.4:** Veränderung der Segmentlordose unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit und des OP-Segments postoperativ und im weiteren Verlauf (n = Anzahl der Patienten, post: postoperativ, L: Lendenwirbelkörper, S: Sakralwirbelkörper).

<i>Segmentlordose</i>	Abnahme	Gleich	Zunahme
L3/4 (post)	0	5 (83,33%)	1 (16,67%)
L3/4 (Verlauf)	1 (16,67%)	4 (66,67%)	1 (16,67%)
L4/5 (post)	4 (16%)	11 (44%)	10 (40%)
L4/5 (Verlauf)	5 (20%)	11 (44%)	9 (36%)
L5/S1 (post)	4 (19,05%)	11 (52,38%)	6 (28,57%)
L5/S1 (Verlauf)	6 (28,57%)	11 (52,38%)	4 (19,05%)

### c) Veränderungen im Sagittalprofil in Abhängigkeit von der OP-Technik

Das Gesamtkollektiv wurde anhand der verwendeten OP-Technik in einen in TLIF-Technik und einen in PLIF-Technik operierten Anteil aufgeteilt. Betrachtet man die Gesamtlordose aller in TLIF-Technik operierten Patienten, so weißt postoperativ

mit 56% (14 Patienten) mehr als die Hälfte eine Abnahme gegenüber den präoperativen Werten auf. Während 28% (7 Patienten) eine gleichbleibende Gesamtlordose zeigen, weist mit 16% (4 Patienten) der geringste Teil eine Lordosezunahme auf. Im Verlauf jedoch besteht bei der mit 60% (15 Patienten) größten Gruppe kein Unterschied im Vergleich mit der präoperativen Gesamtlordose. Die restlichen Patienten verteilen sich gleichmäßig mit jeweils 20% (5 Patienten) auf die Gruppen mit Zunahme und Abnahme der Gesamtlordose.

Bei den in PLIF-Technik operierten Patienten zeigt sich postoperativ eine ähnliche Verteilung wie in der TLIF-Gruppe. Auch hier stellt sich postoperativ der Anteil mit abnehmender Lordose als mit 53,57% (15 Patienten) als der Größte heraus, gefolgt von dem Anteil mit gleichbleibender Lordose (32,14%, 9 Patienten). Mit lediglich 4 Patienten (14,29%) ist der Anteil mit zunehmender Lordose der Kleinste. Im Verlauf ist jedoch der Anteil mit abnehmender Lordose mit 17,86% (5 Patienten) der Kleinste. Ein vergleichsweise großer Anteil zeigt eine Zunahme der Gesamtlordose (32,14%, 9 Patienten). Trotzdem bildet die Gruppe mit gleichbleibender Lordose im Verlauf mit 50% (14 Patienten) den größten Anteil.

**Tab.5:** Veränderung der Gesamtlordose unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit und der OP-Technik postoperativ und im weiteren Verlauf (TLIF: transforaminale lumbale interkorporelle Fusion, PLIF: posteriore lumbale interkorporelle Fusion, post: postoperativ, n = Anzahl der Patienten).

<i>Gesamtlordose</i>	Abnahme	Gleich	Zunahme
TLIF (post)	14 (56%)	7 (28%)	4 (16%)
TLIF (Verlauf)	5 (20%)	15 (60%)	5 (20%)
PLIF (post)	15 (53,57%)	9 (32,14%)	4 (14,29%)
PLIF (Verlauf)	5 (17,86%)	14 (50%)	9 (32,14%)

Bei Betrachtung der postoperativen Segmentlordose im TLIF-Kollektiv, fällt das Patientengut mit gleichbleibender Segmentlordose als das mit 72% (18 Patienten) deutlich Größte auf, gefolgt mit großem Abstand vom Patientengut bei welchem die Lordose zugenommen hat (16%, 4 Patienten). Mit 12 % (3 Patienten) zeigen die wenigsten Patienten einen postoperativen Verlust der Segmentlordose. Im Verlauf weist erneut der Anteil mit gleichbleibender Lordose den größten Anteil mit 60 % (15 Patienten) auf,

während sich die restlichen Patienten zu gleichen Teilen von jeweils 20 % (5 Patienten) auf den abnehmenden und zunehmenden Anteil verteilt.

Bei der postoperativen Segmentlordose der in PLIF-Technik versorgten Patienten stellt sich mit 46,43% (13 Patienten) der Anteil mit Zunahme der Segmentlordose als der Größte heraus, mit 35,71% (10 Patienten) dicht gefolgt vom Anteil mit gleichbleibender Segmentlordose. Den geringsten Anteil stellt mit 17,86% (5 Patienten) der Anteil mit abnehmender Segmentlordose. Im Verlauf verteilen sich 42,86% (12 Patienten) auf den Anteil mit gleichbleibender Segmentlordose, 32,14% (9 Patienten) auf den Anteil mit Zunahme und 25% (7 Patienten) auf den Anteil mit Abnahme der Segmentlordose.

**Tab.6:** Veränderung der Segmentlordose unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit und der OP-Technik postoperativ und im weiteren Verlauf (TLIF: transforaminale lumbale interkorporelle Fusion, PLIF: posteriore lumbale interkorporelle Fusion, post: postoperativ, n = Anzahl der Patienten).

<i>Segmentlordose</i>	Abnahme	Gleich	Zunahme
TLIF (post)	3 (12%)	18 (72%)	4 (16%)
TLIF (Verlauf)	5 (20%)	15 (60%)	5 (20%)
PLIF (post)	5 (17,86%)	10 (35,71%)	13 (46,43%)
PLIF (Verlauf)	7 (25%)	12 (42,86%)	9 (32,14%)

#### **d) Veränderungen im Sagittalprofil in Abhängigkeit vom verwendeten Implantat**

Bei Betrachtung des Pezo-T Cage der Firma Ulrich zeigt sich postoperativ der größte Teil in der Gruppe mit abnehmender Gesamtlordose (50%, 6 Patienten) und ein Drittel (4 Patienten) in der Gruppe mit gleichbleibender Gesamtlordose, während lediglich 16,67% (2 Patienten) eine Zunahme der Gesamtlordose aufweisen. Im Verlauf zeigen jedoch nur 16,67% (2 Patienten) einen Verlust der Gesamtlordose, 50% (6 Patienten) eine unveränderte Lordose und 33,33% (4 Patienten) eine Zunahme.

Im mit dem Capstone Cage der Firma Medtronic in TLIF-Technik operierten Kollektiv

zeigt sich postoperativ der Anteil mit Abnahme der Gesamtlordose mit 61,54% (8 Patienten) als der größte Anteil. Lediglich 3 Patienten (23,08%) zeigen eine unveränderte und 2 Patienten (15,38%) eine Zunahme der Gesamtlordose. Diese Verteilung stellt sich im Verlauf anders dar. Hier dominiert mit 69,23% (9 Patienten) der Anteil mit unveränderter Gesamtlordose. Drei Patienten (23,08%) weisen eine reduzierte und nur ein Patient (7,69%) eine gestiegene Lordose auf.

Wendet man sich dem Pezo-P Cage der Firma Ulrich zu, so zeigt sich postoperativ mit 57,89% (11 Patienten) größtenteils eine Abnahme der Gesamtlordose, während 31,58% (6 Patienten) eine gleichbleibende und 10,53% (2 Patienten) eine zunehmende Gesamtlordose aufweisen. Im Verlauf jedoch stellt die Gruppe mit gleichbleibender Lordose mit 57,89% (11 Patienten) den größten Anteil. 26,32% (5 Patienten) zeigen eine Zunahme und lediglich 15,79% (3 Patienten) eine Abnahme der Gesamtlordose.

Misst man die postoperative Gesamtlordose im mit TM 500 der Firma Zimmer versorgten Kollektiv und vergleicht man diese mit den präoperativen Aufnahmen, so verteilen sich die Patienten folgendermaßen auf die einzelnen Gruppen. 4 Patienten (44,44%) weisen eine reduzierte Gesamtlordose, 3 (33,33%) Patienten eine unveränderte und 2 Patienten (22,22%) eine gestiegene Gesamtlordose auf. Im Verlauf dreht sich dieses Verhältnis zugunsten des Anteils mit steigender Gesamtlordose um. Im Verlauf zeigen 4 (44,44%) Patienten eine gestiegene, 3 Patienten (33,33%) eine gleichbleibende und 2 Patienten (22,22%) eine reduzierte Gesamtlordose.

**Tab.7:** Veränderung der Gesamtlordose unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit und des verwendeten Implantats postoperativ und im weiteren Verlauf (TLIF: transforaminale lumbale interkorporelle Fusion, PLIF: posteriore lumbale interkorporelle Fusion, n = Anzahl der Patienten, Pezo-T Cage der Firma Ulrich, Capstone Cage der Firma Medtronic, Pezo-P der Firma Ulrich, TM 500 Cage der Firma Zimmer).

<i>Gesamtlordose</i>	Abnahme	Gleich	Zunahme
Pezo-T postoperativ	6 (50%)	4 (33,33%)	2 (16,67%)
Pezo-T im Verlauf	2 (16,67%)	6 (50%)	4 (33,33%)
Capstone postoperativ	8 (61,54%)	3 (23,08%)	2 (15,38%)
Capstone im Verlauf	3 (23,08%)	9 (69,23%)	1 (7,69%)
Pezo-P postoperativ	11 (57,89%)	6 (31,58%)	2 (10,53%)
Pezo-P im Verlauf	3 (15,79%)	11 (57,89%)	5 (26,32%)
TM 500 postoperativ	4 (44,44%)	3 (33,33%)	2 (22,22%)
TM 500 im Verlauf	2 (22,22%)	3 (33,33%)	4 (44,44%)

Wendet man sich der Segmentlordose und den einzelnen Cages zu, so zeigt sich im mit Pezo-T Cage der Firma Ulrich operierten kollektiv postoperativ bei 75% (9 Patienten) eine unveränderte Segmentlordose. 25 % (3 Patienten) weisen eine gestiegene Segmentlordose auf, während kein Patient eine Abnahme aufweist. Diese Verteilung ändert sich nur geringfügig im Verlauf. Hier weisen 58,33% (7 Patienten) eine unveränderte, 25 % (3 Patienten) eine gestiegene und 16,67% (2 Patienten) eine gesunkene Segmentlordose auf.

Betrachtet man die postoperative Segmentlordose der mit dem Capstone Cage der Firma Medtronic operierten Patienten, so besteht bei 69,23% (9 Patienten) eine gleichbleibende, bei 23,08% (3 Patienten) eine sinkende und bei einem Patient (7,69%) eine steigende Segmentlordose. Die Verteilung dieser 13 Patienten ändert sich nur minimal im Verlauf. Während der Anteil mit Abnahme der Segmentlordose bei 23,08% (3 Patienten) bleibt, steigt der Anteil mit Zunahme der Segmentlordose auf 15,38% (2 Patienten) an. Dafür reduziert sich der Anteil mit gleichbleibender Segmentlordose auf 61,54% (8 Patienten).

Das mit Pezo-P Cage der Firma Ulrich operierte Kollektiv zeigt in der postoperativen Untersuchung der Segmentlordose in 47,37% (8 Patienten) eine gleichbleibende, in 42,11% (8 Patienten) eine zunehmende und nur in 10,53% (2 Patienten) eine abnehmende Segmentlordose. Diese Verteilung zeigt sich im Verlauf nur geringfügig verändert. Im Verlauf weisen 42,11% (8 Patienten) eine unveränderte, 36,84% (7 Patienten) eine im

Vergleich zu den präoperativen Aufnahmen gestiegene und 21,05% (4 Patienten) eine gesunkene Segmentlordose auf.

Die Verteilung der mit TM 500 Cage der Firma Zimmer versorgten Patienten stellt sich wie folgt dar: 3 Patienten (33,33%) zeigen postoperativ eine Abnahme, 1 Patient (11,11%) eine unveränderte und 5 Patienten (55,55%) eine Zunahme der Segmentlordose. Diese Verteilung ändert sich folgendermaßen im Verlauf. Während weiterhin 3 Patienten (33,33%) eine Abnahme der Segmentlordose aufzeigen, zeigen 4 Patienten (44,44%) eine unveränderte und lediglich noch 2 Patienten (22,22%) eine vergrößerte Segmentlordose.

**Tab.8:** Veränderung der Segmentlordose unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit und des verwendeten Implantats postoperativ und im weiteren Verlauf (TLIF: transforaminale lumbale interkorporelle Fusion, PLIF: posteriore lumbale interkorporelle Fusion, n = Anzahl der Patienten, Pezo-T Cage der Firma Ulrich, Capstone Cage der Firma Medtronic, Pezo-P der Firma Ulrich, TM 500 Cage der Firma Zimmer).

<i>Segmentlordose</i>	Abnahme	Gleich	Zunahme
Pezo-T postoperativ	0	9 (75%)	3 (25%)
Pezo-T im Verlauf	2 (16,67%)	7 (58,33%)	3 (25%)
Capstone postoperativ	3 (23,08%)	9 (69,23%)	1 (7,69%)
Capstone im Verlauf	3 (23,08%)	8 (61,54%)	2 (15,38%)
Pezo-P postoperativ	2 (10,53%)	9 (47,37%)	8 (42,11%)
Pezo-P im Verlauf	4 (21,05%)	8 (42,11%)	7 (36,84%)
TM 500 postoperativ	3 (33,33%)	1 (11,11%)	5 (55,56%)
TM 500 im Verlauf	3 (33,33%)	4 (44,44%)	2 (22,22%)

## 4 Diskussion

### 4.1 Methodik

Die in dieser retrospektiven Arbeit untersuchte Gesamtlordose und Segmentlordose wurde auf standardisiert durchgeführten seitlichen Röntgenbildern der LWS im Stehen, welche postoperativ und bei Nachuntersuchungen im Verlauf durchgeführt wurden, nach der Cobb Methode gemessen. Bei der Cobb Methode handelt es sich um eine vielfältig angewandte und anerkannte Methode zur Messung des sagittalen Alignements, welche schon häufig Gegenstand von Untersuchungen bezüglich der Reliabilität war [17, 50].

Die Messgenauigkeit in der vorliegenden Arbeit betrug  $4,24^\circ$ . Um festzustellen, ob ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen zwei Messungen vorliegt, wurde der 95%-Konfidenzintervall verwendet. Der 95%-Konfidenzintervall stellt eine vielfältig verwendete und etablierte Methode zur Bestimmung von Signifikanzen dar [10, 35].

Einfluss auf die Messgenauigkeit haben verschiedene Faktoren wie zum Beispiel die Qualität der Bilder (abhängig z.B. von Belichtungszeit, Konstitution des Patienten) oder Fehlhaltung des Patienten bzw. Achsabweichungen in der Koronarebene (dadurch keine Parallelität der Grund- und Deckplatten). Eine besondere Herausforderung stellt die Messung nach Cobb im Segment L5/S1 dar. Hier ist die Grundplatte von S1 nicht immer problemlos abgrenzbar. Dies sorgt für eine weitere Fehlerquelle im untersten Segment. Trotz dieser Fehlerquellen stellt die durchgeführte Methode die Methode der Wahl zur Bestimmung der lumbalen Lordose und Segmentlordose dar.

## 4.2 Radiologische Ergebnisse

Kim et al. [38] untersuchte durchschnittlich über einen Zeitraum von 12 Monaten 26 Patienten mit monosegmentaler Spondylodese mit interkorporeller Fusion in TLIF-Technik radiologisch nach. Verwendet wurde der Capstone TLIF-Cage der Firma Medtronic. Mit 19 Patienten wurde der größte Teil auf Höhe L4/5 versorgt. Bei dieser Untersuchung ließ sich eine statistisch signifikante Erhöhung der lumbalen Lordose beim Vergleich der präoperativen Werte ( $39,10^\circ$ ) mit den Werten im Verlauf ( $42,55^\circ$ ) nachweisen ( $p=0,000$ ). Diese Erhöhung war jedoch direkt postoperativ nicht vorhanden ( $39,01^\circ$ ;  $p=0,935$ ). Bei der Segmentlordose konnte Kim et al. [38] eine postoperativ signifikante Zunahme von durchschnittlich  $14,59^\circ$  auf  $18,21^\circ$  ( $p=0,000$ ) nachweisen. Im weiteren Verlauf zeigte sich bis zur letzten Untersuchung jedoch ein signifikanter Verlust auf durchschnittlich  $16,22^\circ$  ( $p=0,005$ ), wodurch im Vergleich zu den präoperativ gemessenen Werten abschließend keine signifikante Änderung mehr nachweisbar war ( $p=0,069$ ), jedoch eine tendenzielle Steigerung. Vergleicht man diese Ergebnisse mit der vorliegenden Untersuchung, so zeigt sich ein ähnliches Verhalten bei der Segmentlordose, auch wenn die bei Kim et al. [38] bestehende Tendenz zur Vergrößerung nicht in der vorliegenden Arbeit nachweisbar war. Unterschiede zeigen sich bei Betrachtung der Gesamtlordose. Während sowohl in der vorliegenden Arbeit und bei der Untersuchung von Kim et al. [38] es zu einer signifikanten Steigerung der Gesamtlordose beim Vergleich der postoperativen Werte mit denen im Verlauf kam, zeigt sich bei Kim et al. [38] direkt postoperativ eine zu den präoperativen Werten nahezu unveränderte Gesamtlordose. Der in der vorliegenden Arbeit aufgetretene signifikante Verlust war hier nicht nachweisbar. Zusätzlich untersuchte Kim et al. [38] den Zusammenhang zwischen radiologischem und klinischem Ergebnis mithilfe des Oswestry Disability Index (ODI) und der Visual Analog Skala (VAS). Hier zeigten die Patienten ohne Verlust an Segmentlordose im Indexsegment ein tendenziell besseres Ergebnis ohne jedoch statistisch signifikant zu sein ( $p=0,422$ ).

Hsieh et al. [33] verglich in ALIF-Technik operierte Patienten mit in TLIF-Technik operierten Patienten über einen Nachbeobachtungszeitraum von 2 Jahren. Betrachtet man die Ergebnisse im TLIF-Kollektiv (25 Patienten), so zeigte sich keine wesentliche Änderung in der durchschnittlichen Segmentlordose (Verlust von  $0,1^\circ$ ) und bei der durchschnittlichen Gesamtlordose sogar ein Verlust von  $2,1^\circ$  im Vergleich mit den präoperativen Werten. Weiterhin zeigte sich in dieser Arbeit bei den 32 in ALIF-Technik

operierten Patienten eine Zunahme der durchschnittlichen Segmentlordose um  $8,3^\circ$  und der Gesamtlordose von  $6,2^\circ$ . Folglich zeigte sich in der Arbeit von Hsieh et al. [33] ALIF gegenüber TLIF bezüglich der Wiederherstellung des Sagittalprofils überlegen.

Fujimori et al. [26] verglich in seiner Untersuchung Spondylodesen mit und ohne interkorporeller Fusion miteinander (TLIF vs. nur posterolaterale lumbale Fusion (PLF)). In der TLIF-Gruppe wurden 24 Patienten über  $1,8 \pm 1,3$  Jahre klinisch und radiologisch nachuntersucht, wobei 29 Segmente versorgt wurden. Eine signifikante Veränderung der Segment- oder Gesamtlordose konnte auch hier nicht nachgewiesen werden (Segmentlordose:  $6,0 \pm 4,3^\circ$  präoperativ vs.  $6,0 \pm 3,9^\circ$  im Verlauf,  $p=0,2$ ; Gesamtlordose  $50 \pm 14^\circ$  präoperativ vs.  $52 \pm 12^\circ$  im Verlauf,  $p=0,9$ ). 32 Patienten wurden in der PLF-Gruppe auf 51 Segmenten versorgt und über einen Zeitraum von  $2,0 \pm 1,0$  Jahre nachuntersucht. Auch hier konnte eine signifikante Veränderung der Segment- oder Gesamtlordose nicht nachgewiesen werden (Segmentlordose:  $4,2 \pm 3,5^\circ$  präoperativ vs.  $4,5 \pm 2,6^\circ$  im Verlauf,  $p=0,2$ ; Gesamtlordose  $51 \pm 13^\circ$  präoperativ vs.  $52 \pm 12^\circ$  im Verlauf,  $p=0,9$ ). Weder bei der Veränderung der Segmentlordose, noch bei der Veränderung der Gesamtlordose gab es einen Unterschied beim Vergleich TLIF mit PLF (jeweils  $p=0,9$ ).

Auch Watkins et al. [74] konnte bei den 39 in TLIF-Technik operierten Patienten bei der Untersuchung der Lordose über einen Zeitraum von durchschnittlich 19,2 Monaten keine signifikante Zunahme nachweisen ( $+0,8^\circ$ ).

Ould-Slimane et al. [55] wiederum konnte bei 45 in TLIF-Technik operierten Patienten, bei einem Nachbeobachtungszeitraum von  $35,1 \pm 4,1$  Monaten, eine signifikante Steigerung sowohl von Segmentlordose, als auch Gesamtlordose nachweisen. Die Segmentlordose steigerte sich von präoperativ  $7,9 \pm 6,6^\circ$  auf  $17,2 \pm 7,4^\circ$  im Verlauf ( $p < 0,0001$ ). Bei der Gesamtlordose veränderten sich die präoperativen Werte von  $29,6^\circ \pm 6,3^\circ$  auf  $40,1 \pm 4,3^\circ$  ( $p < 0,01$ ). Die präoperativen Werte wurden in der Arbeit von Ould-Slimane et al. [55] mit den Werten 3 Monate postoperativ und im Verlauf verglichen. Direkt postoperativ wurden keine Werte erhoben. Damit lässt sich nicht zeigen, ob die Gesamtlordose schon direkt postoperativ zunahm, oder ob dieser Gewinn wie bei Kim et al. [38] und in der vorliegenden Arbeit durch eine Steigerung im frühen postoperativen Verlauf (zwischen 0-3 Monate) entstand. Bemerkenswert ist auch, dass bei der Segmentlordose es in der Arbeit von Ould-Slimane et al. [55] zu keinem Korrekturverlust im Vergleich der Werte nach 3 Monaten (Segmentlordose  $16 \pm 6,5^\circ$ , Gesamtlordose  $40,7 \pm 11,7^\circ$ ) und im Verlauf kam (Segmentlordose  $17,2 \pm 7,4^\circ$ , Gesamtlordose  $40,1 \pm 4,3^\circ$ ), welcher in der vorliegenden Arbeit und in der Untersuchung von Kim et al. [38] auftrat. Verwendet wurde in der Arbeit von

Ould-Slimae et al. [55] der ROI-T Cage der Firma LDR Medical.

Yson et al. [80] untersuchte die radiologischen Ergebnisse bei 42 Patienten (57 Segmente). Es wurde hier jedoch eine bilaterale Versorgung in TLIF-Technik vorgenommen, wodurch beide Facettengelenke zur Einbringung des Cages entfernt wurden, was technisch und biomechanisch der PLIF-Technik entspricht. Die radiologische Untersuchung bezog sich auf den Vergleich der präoperativen Werte mit einer 6 Wochen postoperativ durchgeführten Untersuchung. Hierbei verbesserte sich die Segmentlordose von einem präoperativen Cobb-Winkel von  $8,1^\circ$  auf  $15,3^\circ$  im Verlauf signifikant ( $p < 0,001$ ). Inwiefern die Ursache dieses Ergebnisses in der beidseitigen Entfernung der Facettengelenke und damit eines Repositionshindernisses liegt, kann nicht abschließend beurteilt werden. Im Vergleich zu den Ergebnissen der PLIF-Gruppe in der vorliegenden Arbeit, zeigt sich postoperativ ein analoges Verhalten. Jedoch betrachtet man die Ergebnisse beim Vergleich der präoperativen Werte der Segmentlordose mit denen im Verlauf, so zeigt sich im Vergleich mit den Ergebnissen von Yson et al. [80] eine erhebliche Diskrepanz. Inwiefern die Ergebnisse von Yson et al. [80] auch bei längerer Nachuntersuchungsdauer Bestand haben bleibt ungeklärt. Basierend auf den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit, wäre es nicht ausgeschlossen, dass sich die Werte bei längeren Nachuntersuchungszeiten verändern könnten.

Zusammenfassend lässt sich die aktuelle Literatur bezüglich der radiologischen Ergebnisse der Gesamt- und Segmentlordose bei in TLIF-Technik operierten Patienten als sehr uneinheitlich bezeichnen.

Sears [62] konnte bei 34 Patienten mit degenerativer Spondylolisthese über einen Zeitraum von durchschnittlich 21,2 Monate eine signifikante Verbesserung des klinischen Ergebnis mit Hilfe der Visual Analog Skala, dem Low Back Outcome Score und dem Short Form-12, nach monosegmentaler Spondylodese mit interkorporeller Fusion in PLIF-Technik, nachweisen. Zusätzlich wurde bei 17 Patienten, bei welchen präoperative Röntgenaufnahmen und welche im Verlauf vorlagen, eine Messung der Segmentlordose durchgeführt. Hier konnte Sears [62] eine signifikante Steigerung der segmentalen Lordose von  $13,1^\circ$  auf  $16,1^\circ$  ( $p < 0,01$ ) nachweisen. Auf die Bestimmung der Messgenauigkeit wurde in der Arbeit von Sears [62] verzichtet. Somit müssen die Ergebnisse unter Berücksichtigung der fehlenden Messgenauigkeit interpretiert werden.

Lee et al. [45] untersuchte 160 Patienten mit monosegmentaler Spondylodese in PLIF-Technik klinisch und radiologisch nach. Es wurde der OIC-PEEK-Cage der Firma Stryker

verwendet mit Lordosewinkel  $4^\circ$  (99 Patienten) und  $8^\circ$  (61 Patienten). Die untersuchten Zeitpunkte waren präoperativ, 2 Wochen postoperativ, 6 Monate postoperativ und nach 1 Jahr. Bei der Segmentlordose zeigte sich in beiden Gruppen ( $4^\circ$  und  $8^\circ$ ) jeweils kein signifikanter Unterschied zu irgendeinem gemessenen Zeitpunkt. So betrug die präoperative Segmentlordose in der  $4^\circ$ -Gruppe  $12,9 \pm 7,6^\circ$  und in der  $8^\circ$ -Gruppe  $12,0 \pm 7,0^\circ$  und nach einem Jahr in der  $4^\circ$ -Gruppe  $12,6 \pm 6,7^\circ$  und in der  $8^\circ$ -Gruppe  $12,0 \pm 5,6^\circ$ . Ähnlich verhielt sich die Gesamtlordose in der  $4^\circ$ -Gruppe. Hier kam es ebenfalls zu keinen signifikanten Veränderungen (Präoperativ  $38,9 \pm 15,2^\circ$  vs.  $39,6 \pm 14,5^\circ$  nach 1 Jahr). Ein anderes Verhalten zeigte die Gesamtlordose in der  $8^\circ$ -Gruppe. Zwar zeigte sich post-operativ ( $39,1 \pm 12,9^\circ$ ) kein signifikanter Unterschied im Vergleich mit den präoperativen Werten ( $39,7 \pm 14,5^\circ$ ), jedoch kam es im Anschluss zu einer signifikanten Steigerung ( $p=0,002$ ) im Vergleich mit der Gesamtlordose nach 6 Monaten ( $43,0 \pm 13,7^\circ$ ). Der daraufhin folgende Verlust in der 1-Jahresuntersuchung auf  $41,0 \pm 14,0^\circ$  war nicht signifikant, jedoch zeigte sich dadurch auch die Veränderung nach 1 Jahr gegenüber der präoperativen Gesamtlordose als nicht signifikant. Vergleicht man die Ergebnisse mit der vorliegenden Arbeit, so zeigt sich im Verlauf ein ähnliches Bild mit letztlich keinem signifikanten Einfluss auf die Lordose. Besonders hervorzuheben ist das Verhalten der Gesamtlordose bei der  $8^\circ$ -Gruppe in der Untersuchung von Lee et al. [45]. Auch wenn es im Gegensatz zur vorliegenden Arbeit hier zu keinem signifikanten post-operativen Verlust kam, so zeigte sich eine im weiteren Verlauf signifikante Zunahme entsprechend den Ergebnissen in der vorliegenden Arbeit, so dass es abschließend jedoch zu einer nicht signifikanten, tendenziellen Zunahme in der Gesamtlordose im Vergleich mit den präoperativen Werten kam.

### 4.3 Schlussfolgerungen

Betrachtet man in der vorliegenden Arbeit die Gesamtlordose, so zeigt sich generell ein postoperativer Verlust unabhängig von OP-Technik oder operiertem Segment. Selbst wenn dieser Verlust nicht signifikant ist, so ist die Tendenz überall erkennbar. Es kommt jedoch im Verlauf bei der vorliegenden Arbeit immer zu einer Erholung, so dass sich keine signifikante Differenz zwischen den präoperativen Werten und den Werten im Verlauf erkennen lässt. Letztlich lässt sich kein eindeutiger Einfluss auf die Gesamtlordose durch eine monosegmentale Spondylodese mit interkorporeller Fusion erkennen. Als Ursache für den postoperativen Lordoseverlust können noch bestehende Schmerzen durch den operativen Eingriff angesehen werden. Zusätzlich entsteht durch den Zugangsweg ein signifikantes Trauma im Bereich des Rückenstreckers. Durch den Heilungsverlauf kann es zu einer Normalisierung der Funktion im Verlauf kommen, weshalb sich der postoperative Verlust im Bereich der Gesamtlordose wieder korrigieren könnte, so dass präoperativ und postoperativ kein signifikanter Unterschied erkennbar ist. Weiterhin sind präoperativ bestehende Kompensationsmechanismen nach erfolgreicher Therapie eines pathologischen Segments nicht mehr in dem Umfang notwendig, so dass eine verbesserte Situation nicht anhand von Werten bei der Messung der lumbalen Lordose erkennbar ist.

Kong et al. [39] konnte in seiner Untersuchung einen Zusammenhang zwischen bestehenden Schmerzen und dem Sagittalprofil nachweisen. Hier zeigten Patienten mit einer durch einen operativen Eingriff erreichten Schmerzreduktion  $<3$  in der VAS eine geringere lumbale Lordose, als Patienten mit einer Schmerzreduktion  $>3$  in der VAS.

Einzig bei der Untergruppe der mit dem TM 500 Cage der Firma Zimmer operierten Patienten kommt es zu einer Verbesserung der Gesamtlordose. Man muss jedoch einschränkend erwähnen, dass es sich hierbei um das mit 9 Patienten kleinste Kollektiv handelt. Hier wären Untersuchungen an größeren Fallzahlen notwendig um das Ergebnis zu bestätigen.

In der Literatur kommen uneinheitliche Ergebnisse bei der Untersuchung der lumbalen Lordose zum Vorschein. So gibt es Studien, die ebenfalls keine Zunahme der Gesamtlordose nachweisen konnten [33, 74]. Aber es existieren auch Studien, welche von einer Zunahme der lumbalen Lordose berichten [23, 39, 55]. Dies kann, wie oben erwähnt, auch durch einen Zusammenhang zwischen Schmerz und Lordose verursacht sein. Daher sind weitere Untersuchungen dieses Zusammenhangs empfehlenswert.

Bei der segmentalen Lordose verhält es sich umgekehrt wie bei der Gesamtlordose. Hier kommt es zu einer postoperativ signifikanten Erhöhung, welche jedoch im Verlauf nicht gehalten werden kann. Deshalb kommt es insgesamt zu einer positiven Tendenz, ohne letztlich im Verlauf signifikant zu sein. Betrachtet man die in TLIF-Technik operierten Patienten, so lässt sich keine relevante Verbesserung der Segmentlordose in der vorliegenden Arbeit erzielen. Das gilt für beide verwendete TLIF-Cages (Pezo-T, Firma Ulrich; Capstone, Firma Medtronic).

Ein besseres Ergebnis zeigt sich bei in PLIF-Technik operierten Patienten. Hier kommt es postoperativ zu einem signifikanten Anstieg der Segmentlordose, weshalb sich trotz eines Korrekturverlustes im Verlauf eine zwar nicht signifikante, aber dennoch deutliche Tendenz zur Erhöhung der segmentalen Lordose zeigt. Hier kam es bei Verwendung des Pezo-P Cages der Firma Ulrich zu besseren Ergebnissen, als bei Verwendung des TM 500 Cages der Firma Zimmer. Auch hier muss jedoch einschränkend erwähnt werden, dass es sich bei dem Kollektiv, bei welchem der TM 500 Cage verwendet wurde, um das Kleinste handelt.

Eine theoretische Erklärung für diese tendenzielle Überlegenheit von PLIF gegenüber TLIF wäre, dass bei der PLIF-Technik es durch den beidseitigen Zugang zum Bandscheibenfach zu einem besseren Release in dem zu operierenden Segment kommt, wodurch sich eventuell mehr Segmentlordose gewinnen lässt. Bei der TLIF-Technik kann das kontralaterale Facettengelenk sich als Repositionshindernis erweisen. Diese These müsste jedoch durch biomechanische Untersuchungen überprüft werden. Jedoch zeigt das Ergebnis von Yson et al. [80] nach bilateralem TLIF, erste darauf schließende Hinweise. Zusätzlich wird die maximal erreichbare Korrektur bei beiden Techniken durch das vordere Längsband begrenzt. Die Relevanz des vorderen Längsbandes bei der erreichbaren Segmentlordose konnte Schmidt et al. [61] bei über von ventral eingebrachten Implantaten (Bandscheibenprothesen) nachweisen. Dabei zeigte sich, dass sich durch die komplette Resektion des vorderen Längsbandes eine tendenziell größere Segmentlordose erreichen lässt.

Ein Ansatz zur Erklärung des Korrekturverlustes, welcher im Verlauf bei der Segmentlordose auftritt, stellt folgende These dar: Möglicherweise besteht direkt postoperativ eine ungleiche Kraftverteilung zwischen der vorderen Säule (mit den unter Distraction eingebrachten Cages) und der dorsalen Instrumentierung. Dies könnte einen relativen Verlust an segmentaler Lordose durch eine partielle Migration des Cages in die

Terminalplatten bis zum Erreichen eines Gleichgewichts bei der Belastungsverteilung erklären. Diesbezügliche Untersuchungen sind zum aktuellen Zeitpunkt nicht bekannt. Jedoch ist für die operativ maximal erreichbare Segmentlordose auch die Größe des verwendeten Cages relevant. Hier bestehen jedoch bei der PLIF- und TLIF-Technik größere Einschränkungen durch den verwendeten Zugang, als durch einen in ALIF-Technik eingebrachten Cage.

Vergleicht man die Ergebnisse der Segmentlordose auf den verschiedenen Höhen miteinander, so zeigt sich, dass auf Höhe L5/S1 keine Korrektur gehalten werden kann. Während auf Höhe L3/4 eine leichte Korrektur erreicht wurde, zeigt sich das größte Korrekturpotential auf Höhe L4/5. Auch wenn hier der postoperativ signifikante Lordosezuwachs nicht vollständig im Verlauf gehalten werden konnte, lässt sich doch eine deutliche Tendenz erkennen. Eine potentielle Erklärung liegt darin, dass von den untersten 2 Segmenten der größte Anteil an lumbaler Lordose herrührt. Dementsprechend ist hier die physiologische Segmentlordose am größten. Kommt es aufgrund von Pathologien zum Verlust an Segmentlordose, so entsteht hier das größte Korrekturpotential. Jedoch lässt sich aufgrund der Stellung der Grund- und Deckplatte auf Höhe L5/S1, durch einen dorsalen Zugang, nur eine geringere Distraction erreichen als auf Höhe L4/5.

## 5 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden 53 Patienten (37 Frauen, 16 Männer, Durchschnittsalter 57,4 Jahre), welche im Zeitraum zwischen April 2007 und Januar 2013 an der Orthopädischen Klinik des Universitätsklinikums Ulm eine monosegmentale, dorsal instrumentierte Spondylodese mit interkorporeller Fusion erhalten haben, radiologisch über einen Zeitraum von durchschnittlich 15,1 Monate nachuntersucht. Bei einem Patienten erfolgte der Eingriff auf Höhe L2/3, bei 6 Patienten auf Höhe L3/4, bei 26 Patienten auf Höhe L4/5 und bei 20 Patienten auf Höhe L5/S1. 25 Patienten wurden in TLIF (Transforaminale Lumbale Interkorporelle Fusion)-Technik (12 mit Pezo-T Cage der Firma Ulrich, 13 mit Capstone Cage der Firma Medtronic), 28 Patienten in PLIF (Posteriore Lumbale Interkorporelle Fusion)-Technik (9 mit TM 500 Cage der Firma Zimmer, 19 mit Pezo-P Cage der Firma Ulrich) operiert. Bei der radiologischen Untersuchung wurde das Augenmerk auf die segmentale Lordose im Indexsegment und auf die Gesamtlordose gerichtet. Die radiologische Messung erfolgte an seitlichen Röntgenbildern nach der Cobb Methode. Hauptzielkriterium war eine Veränderung im sagittalen Profil durch den operativen Eingriff. Weiterhin sollte ein Vergleich zwischen den radiologischen Ergebnissen in Abhängigkeit von der OP-Technik hergestellt werden. Als Zusatz sollten die Ergebnisse auf Abhängigkeit von dem operierten Segment oder dem verwendeten Cage untersucht werden.

Bei Betrachtung des gesamten Kollektivs zeigten sich weder bei der Gesamtlordose (präoperativ  $56,18^\circ \pm 13,11^\circ$ , Verlauf  $57,13^\circ \pm 12,73^\circ$ ;  $p=0,3582$ ), noch bei der Segmentlordose (präoperativ  $18,34^\circ \pm 10,74^\circ$ , Verlauf  $19,15^\circ \pm 9,71^\circ$ ;  $p=0,3255$ ) signifikante Veränderungen. Lediglich direkt postoperativ kam es zu statistisch signifikanten Veränderungen, welche jedoch keinen Bestand hatten. Während die lumbale Lordose sich auf  $51,84^\circ \pm 12,98^\circ$  ( $p=0,0003$ ) verringerte, kam es zu einer Steigerung der Segmentlordose auf  $20,67^\circ \pm 9,27^\circ$  ( $p=0,0076$ ).

Wendet man sich den in TLIF-Technik operierten Patienten zu, so folgte bei der Gesamtlordose auf einen postoperativ signifikanten Verlust von  $53,82^\circ \pm 13,41^\circ$  auf  $48,87^\circ \pm 12,23^\circ$  ( $p=0,0122$ ) ein signifikanter Zuwachs im Verlauf auf  $53,73^\circ \pm 12,19^\circ$  ( $p=0,0076$ ). Dies bedeutete letztlich keinen Unterschied zwischen präoperativen Werte und den Werten der Gesamtlordose im Verlauf ( $p=0,9485$ ). Bei der Segmentlordose kam es zu keinem Zeitpunkt zu einer signifikanten Änderung (präoperativ  $17,67^\circ \pm 11,20^\circ$ , postoperativ

18,71° ±10,21°, Verlauf 17,97° ±11,51°; Vergleich präoperativ mit Verlauf p=0,7734). Bei den mit in PLIF-Technik operierten Patienten zeigte sich bei der Gesamtlordose das gleiche Verhalten wie bei den in TLIF-Technik operierten Patienten. Nach einem signifikanten postoperativen Verlust von 58,29° ±12,70° auf 54,50° ±13,26° (p=0,0082) kam es zu einem signifikantem Lordosegewinn auf 60,17° (p=0,0001). Gegenüber der präoperativen Gesamtlordose zeigte sich letztlich im Verlauf ein nicht signifikanter Zuwachs (p=0,2265). Bei der Segmentlordose kam es post-operativ zu einer signifikanten Steigerung von 18,93° ±10,49° auf 22,43° ±8,12° (p=0,0162). Anschließend folgte ein signifikanter Verlust auf 20,20° ±7,83° (p=0,0405). Der gemessene Zuwachs zwischen präoperativer Lordose im OP-Segment und im Verlauf erwies sich als nicht signifikant (p=0,3216). Bei den verwendeten Cages kam es zum gleichen Verhalten, wie bei der entsprechenden OP-Technik. Lediglich zeigte sich bei den mit dem TM 500 PLIF Cage der Firma Zimmer eine signifikant verbesserte lumbale Lordose im Verlauf (64,58° ±14,72°) gegenüber den postoperativen Werten (58,70° ±13,43°; p=0,0091), jedoch nicht gegenüber den präoperativen Werten (59,68° ±14,76°; p=0,2373). Bei Betrachtung des OP-Segments zeigte das Segment L4/5 bei längerfristiger Betrachtung das tendenziell beste Ergebnis, jedoch ohne dass es statistisch signifikant war. Letztlich zeigte sich keine signifikante Korrektur des Sagittalprofils bei monsegmentaler Versorgung bei Segment- und Gesamtlordose in dieser Untersuchung. Die Verwendung der PLIF-Technik scheint der TLIF-Technik jedoch tendenziell überlegen zu sein. Auch scheint das Segment L4/5 gegenüber dem Segment L5/S1 langfristig das größere Korrekturpotenzial zu haben, auch wenn es hierfür keine statistische Signifikanz gab.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Adams MA, Dolan P, Hutton WC, Porter RW: Diurnal changes in spinal mechanics and their clinical significance. *J Bone Joint Surg Br* 72: 266-270 (1990)
2. Adams MA, McNally DS, Dolan P: 'Stress' distributions inside intervertebral discs. The effects of age and degeneration. *J Bone Joint Surg Br* 78: 965-972 (1996)
3. Albee FH: Transplantation of a portion of the tibia into the spine for Pott's disease - A preliminary report. *JAMA* 57: 885 (1911)
4. Ames CP, Acosta FL Jr, Chi J, Ivengar J, Muir W, Acaroglu E, Puttlitz CM: Biomechanical comparison of posterior lumbar interbody fusion and transforaminal lumbar interbody fusion performed at 1 and 2 levels. *Spine* 30: 562-566 (2005)
5. Anderhuber Friedrich: Zur Anatomie der Wirbelsäule.  
[http://www.unfallchirurgen.at/download/agenda/29\\_anderhuber.pdf](http://www.unfallchirurgen.at/download/agenda/29_anderhuber.pdf) (13.4.2014)
6. Anjarwalla NK, Morcom RK, Fraser RD: Supplementary Stabilization with Anterior Lumbar Intervertebral Fusion - A Radiologic Review. *Spine* 31: 1281-1287 (2006)
7. Antonacci MD, Mody DR, Heggeness MH: Innervation of the human vertebral body: a histologic study. *J Spinal Disord.* 11: 526-531 (1998)
8. Bagby GW: Arthrodesis by the distraction-compression method using a stainless steel implant. *Orthopedics* 11: 931-934 (1988)
9. Bagby GW: Cages métalliques intersomantiques filitées pour arthodèsis rachidiennes. Instabilités vertébrales lombaires. Expansion Scientifique Francaise, Paris: 199-213 (1995)
10. Bland JM, Altman DG: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1: 307-310 (1986)
11. Bobyn JD, Pillar RM, Cameron HU, et al: The optimum pore size for the fixation of porous surfaced metal implants by the ingrowth on bone. *Clin Orthop Rel Res* 150: 263-270 (1980)
12. Boden SD, Davis DO, Dina TS, Petronas NJ, Wiesel SW: Abnormal magnetic-resonance scans of the lumbar spine in asymptomatic subjects. A prospective investigation. *J Bone Joint Surg Am* 72: 403-408 (1990)
13. Boos N, Nerlich AG, Wiest I, von der Mark K, Aebi M: Immunolocalization of type X collagen in human lumbar intervertebral discs during ageing and degeneration. *Histochem Cell Biol* 108: 471-480 (1997)

14. Boos N, Weissbach S, Rohrbach H, Weiler C, Spratt KF, Nerlich AG: Classification of age-related changes in lumbar intervertebral discs. *Spine* 27: 2631-2644 (2002)
15. Branch C Jr, Foley K, Salerni A: CAPSTONE PEEK Spinal System PLIF and TLIF. [http://www.arcos.com.uy/pdf/productos/65/563\\_capstone\\_peek\\_st.pdf](http://www.arcos.com.uy/pdf/productos/65/563_capstone_peek_st.pdf) (11.4.2014)
16. Brislin B, Vaccaro AR: Advances in posterior lumbar interbody fusion. *Orthop Clin North Am* 33: 367-374 (2002)
17. Carman DL, Browns RH, Birch JG: Measurement of scoliosis and kyphosis radiographs. Intraobserver and interobserver validation. *J Bone Joint Surg Am* 72: 328-333 (1990)
18. Cloward RB: Spondylolisthesis: treatment by laminectomy and posterior interbody fusion. *Clin Orthop* 154: 74-82 (1982)
19. Cloward RB: The treatment of ruptured lumbar intervertebral discs; criteria for spinal fusion. *Am J Surg* 86: 145-151 (1953)
20. Crandall DG, Revella J: Transforaminal lumbar interbody fusion versus anterior lumbar interbody fusion as an adjunct to posterior instrumented correction of degenerative lumbar scoliosis: three year clinical and radiographic outcomes. *Spine* 34: 2126-2133 (2009)
21. Deyo RA, Gray DT, Kreutzer W, Mirza S, Martin BI: United States Trends in lumbar Fusion surgery for degenerative conditions. *Spine* 30: 1441-1445 (2005)
22. Duparc Jacques: *Chirurgische Techniken in Orthopädie und Traumatologie. Band 2*, Elsevier, München Jena: 615-626 (2005)
23. Feng Y, Chen L, Gu Y, Zhang ZM, Yang HL, Tang TS: Influence of the posterior lumbar interbody fusion on the sagittal spino-pelvic parameters in isthmic L5-S1 spondylolisthesis. *J Spinal Disord Tech* 27: 20-25 (2014)
24. Ferraris L, Koller H, Meier O, Hempfing A: Die Bedeutung der sagittalen Balance in der Wirbelsäulen Chirurgie. *Orthopädische und Unfallchirurgische Praxis* 1: 502-508 (2012)
25. Fritzell P, Hägg O, Nordwall A, Swedish Lumbar Spine Study Group: Complications in lumbar fusion surgery for chronic low back pain: comparison of three surgical techniques used in a prospective randomized study. A report from the Swedish Lumbar Spine Study Group. *Eur Spine* 12: 178-189 (2003)
26. Fujimori T, Le H, Schairer WW, Berven SH, Qamirani E, Hu SS: Does Transforaminal Lumbar Interbody Fusion Have Advantages over Posterolateral Lumbar Fusion for Degenerative Spondylolisthesis? *Global Spine J* 5: 102-109 (2015)

27. Ha Y, Zhao H, Shao N, Lu SB, Yang JC, Liu YZ: Relationship between low back pain and lumbar sagittal alignment after lumbar fusion. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi* 93: 1129-1132 (2013)
28. Hackenberg L, Halm L, Bullmann V, Vieth V, Schneider M, Liljenqvist U: Transforaminal lumbar interbody fusion: a safe technique with satisfactory three to five year results. *Eur Spine* 14: 551-558 (2005)
29. Haer 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* 19: 2667-2671 (1994)
30. Harris BM, Hilibrand AS, Savas PE, Pellegrino A, Vaccaro AR, Siegler S, Alber TJ: Transforaminal lumbar interbody fusion: the effect of various instrumentation techniques on the flexibility of the lumbar spine. *Spine* 29: 65-70 (2004)
31. Hibbs RA: An operation for progressive spinal deformities - A preliminary report of three cases from the service of the Orthopaedic Hospital. *New York State Med J* 93: 1013 (1911)
32. Hohmann F, Stürtz H: Indication for lumbosacral fusion and reduction in spondylolisthesis. *Der Orthopäde* 26: 781-789 (1997)
33. Hsieh PC, Koski TR, O'Shaughnessy BA, Sugrue P, Salehi S, Ondra S, Liu JC: Anterior lumbar interbody fusion in comparison with transforaminal lumbar interbody fusion: implications for the restoration of foraminal height, local disc angle, lumbar lordosis, and sagittal balance. *J Neurosurg Spine* 7: 379-386 (2007)
34. Humphreys SC, Hodges SD, Padwardhan AG, Eck JC, Murphy RB, Covington LA: Comparison of posterior and transforaminal approaches to lumbar interbody fusion. *Spine* 26: 567-571 (2001)
35. Hüsler J, Zimmermann H: *Statistische Prinzipien für medizinische Projekte*. 5. Auflage, Hans Huber, Bern Göttingen Toronto, S. 105-109 (2010)
36. Jang JS, Lee SH: Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion with ipsilateral pedicle screw and contralateral facet screw fixation. *J Neurosurg Spine* 3: 218-223 (2005)
37. Juniper M, Le TK, Mladsi D: The epidemiology, economic burden and pharmacological treatment of chronic low back Pain in France, Germany, Italy, Spain and the UK: a literature-based review. *Expert Opin Pharmacother* 10: 2581-2592 (2009)
38. Kim SB, Jeon TS, Heo YM, Lee WS, Yi JW, Kim TK, Hwang CM: Radiographic

- results of single level transforaminal lumbar interbody fusion in degenerative lumbar spine disease: focusing on changes of segmental lordosis fusion segment. *Clin Orthop Surg* 1: 207-213 (2009)
39. Kong LD, Zhang YZ, Wang F, Kong FL, Ding WY, Shen Y: Radiographic restoration of sagittal spinopelvic alignment after posterior lumbar interbody fusion in degenerative spondylolisthesis. *Clin Spine Surg* 29: 87-92 (2016)
  40. Krygier JJ, Bobyn JD, Poggie RA, et al: Mechanical characterization of a new porous tantalum for orthopaedic reconstruction. *Proc SIROT (International Research Society of Orthopaedic Surgery and Traumatology)*. Sydney Australia, 1999
  41. Kumar MN, Baklanov A, Chopin D: Correlation between sagittal plane changes and adjacent segment degeneration following lumbar spine fusion. *Eur. Spine J* 10: 314-319 (2001)
  42. Kuslich S, Ulstrom C, Griffith S, Ahern J, Dowdle J: The Bagby and Kuslich method of lumbar interbody fusion. *Spine* 23: 1267-1279 (1998)
  43. 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* 31: 1693-1698 (2006)
  44. Lazenner JY, Ramaré S, Arafati N, Laudet CG, Gorin M, Roger B, Hansen S, Saillant G, Maurs L, Trabelsi R: Sagittal alignment in lumbosacral fusion: relations between radiological parameters and pain. *Eur. Spine J* 9: 47-55 (2000)
  45. Lee JH, Lee DO, Lee JH, Shim HJ: Effects of lordotic angle of a cage on sagittal alignment and clinical outcome in one level posterior lumbar interbody fusion with pedicle screw fixation. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4317641/> (07.5.2015)
  46. Lemcke J, Klötzer S, Klötzer R, Meier U: PLIF and ALIF for the degenerative spondylolisthesis of the lumbar spine. *Orthop und Ihre Grenzgebiete* 145: 48-54 (2007)
  47. Li L, Sui H, Yu X, Jiang B: Correlation of clinical outcome and spinopelvic sagittal alignment after surgical posterior intervertebral fusion combined with pedicle screw fixation. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi* 27: 1338-1344 (2013)
  48. Lowe TG, Tahernia AD: Unilateral Transforaminal Posterior Lumbar Interbody Fusion. *Clin Orthop Rel Res* 394: 64-72 (2002)
  49. Maetzel A, Li L: The economic burden of low back pain: a review of studies published between 1996 and 2001. *Best Pract Res Clin Rheumatol* 16: 23-30 (2002)
  50. Morissy RT, Goldsmith GS, Hall EC, Kehl D, Cowie GH: Measurement of the Cobb

- angle on radiographs of patients who have scoliosis. Evaluation of intrinsic error. *J Bone Joint Surg Am* 72: 320-327 (1990)
51. Moskowitz A: Transforaminal lumbar interbody fusion. *The Orthopedic clinics of North America*; 33: 359-366
  52. Mummaneni PV, Haid RW, Rodts GE: Lumbar interbody fusion: state-of-the-art technical advances. Invited submission from the Joint Section Meeting on Disorders of the Spine and Peripheral Nerves. *J Neurosurg Spine* 72: 24-30 (2004)
  53. Nerlich AG, Boos N, Wiest I, Aebi M: Immunolocalization of major interstitial collagen types in human lumbar intervertebral discs of various ages. *Virchows Arch* 432: 67-76 (1998)
  54. Nerlich AG, Schleicher ED, Boos N: Immunohistologic markers for age-related changes of human lumbar intervertebral discs. *Spine* 22: 2781-2795 (1997)
  55. Ould-Slimane M, Lenoir T, Dauzac C, Rillardon L, Hoffmann E, Guigui P, Ilharreborde B: Influence of transforaminal lumbar interbody fusion procedures on spinal and pelvic parameters of sagittal balance. *Eur Spine J* 21: 1200-1206 (2012)
  56. Okuyama K, Abe E, Suzuki T, Tamura Y, Chiba M, Sato K: Posterior lumbar interbody fusion: a retrospective study of complications after facet joint excision and pedicle screw fixation in 148 cases. *Acta Orthop Scand* 70: 329-334 (1999)
  57. Panjabi MM: Clinical spinal instability and low back pain. *Electromyogr Kinesiol* 13: 371-379 (2003)
  58. Ray CD: Threaded titanium cages for lumbar interbody fusions. *Spine* 22: 667-679 (1997)
  59. Scaduto AA, Gamradt SC, Yu WD, Huang J, Delamarter RB, Wang JC: Perioperative complications of threaded cylindrical lumbar interbody fusion devices: anterior versus posterior approach. *J Spinal Disord Tech* 16: 502-507 (2003)
  60. Schmidt CO, Raspe H, Pflingsten M, Hasenbring M, Basler HD, Kohlmann T, Eich W: Back Pain in German adult Population: prevalence, severity and sociodemographic correlates in a multiregional survey. *Spine* 32: 2005-2011 (2007)
  61. Schmidt R, Obertacke U, Northwang J, Ulrich C, Nowicki J, Reichel H, Cakir B: The Impact of implantation technique on frontal and sagittal alignment in total lumbar disc replacement: a comparison of anterior versus oblique implantation. *Eur. Spine J* 19: 1534-1539 (2010)
  62. Sears W: Posterior lumbar interbody fusion for degenerative spondylolisthesis: restoration of sagittal balance using insert-and-rotate interbody spacers. *Spine* 5: 170-

- 179 (2005)
63. Shin MH, Ryu KS, Hur JW, Kim JS, Park Ck: Comparative study of lumbopelvic sagittal alignment between patients with and without sacroiliac joint pain after lumbar interbody fusion. *Spine* 38: 1334-1341 (2013)
  64. Skowronski J, Wojnar J, Bielecki M: Interbody fusion and transpedicular fixation in the treatment of spondylolisthesis. *Orthop Traumatol Rehabil* 9: 149-155 (2007)
  65. Szpalski M, Gunzburg R: The role in the management of low back pain. *Bailieres Clin Rheumatol* 12: 141-159 (1998)
  66. 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)
  67. Tanzer M, Harvey E, Kay A, et al: Effect of noninvasive low intensity ultrasound on bone growth into porous coated implants. *Orthop Res* 14: 901-906 (1996)
  68. Twomey LT, Taylor JR: Age changes in lumbar vertebrae and intervertebral discs. *Clin Orthop Relat Res* 224: 97-104 (1987)
  69. Ulrich GmbH & Co KG: Pezo – PEEK Cage Family.  
[http://www.ulrichmedical.com/sites/default/files/downloads/pezo\\_F\\_DE\\_EN\\_R3\\_2015-03.pdf](http://www.ulrichmedical.com/sites/default/files/downloads/pezo_F_DE_EN_R3_2015-03.pdf) (19.4.2015)
  70. Urban J, Roberts S: Degeneration of the intervertebral disc. *Arthritis Research & Therapy* 5: 120-130 (2003)
  71. Urban JP, McMullin JF: Swelling pressure of the lumbar intervertebral discs: influence of age, spinal level, composition and degeneration. *Spine* 13: 179-187 (1988)
  72. Vagas-Soto HA, Mehbod A, Mullaney KJ, Dykes D, Schwender J, Transfeldt E, Akesen B, Wroblewski J: Salvage Procedures for Pseudarthrosis After Transforaminal Lumbar Interbody Fusion (TLIF) - Anterior only versus Anterior-Posterior Surgery: A Clinical and Radiological Outcome Study. *Surg Orthop Adv* 18: 200-204 (2009)
  73. Walker BF, Muller R, Grant WD: Low back pain in Australian adults: the economic burden. *Asia Pac J Public Health* 15: 79-87 (2003)
  74. Watkins RG 4<sup>th</sup>, Hanna R, Chang D, Watkins RG 3<sup>rd</sup>: Sagittal alignment after lumbar interbody fusion: comparing anterior, lateral, and transforaminal approaches. *J Spinal Disord Tech* 27: 253-256 (2014)
  75. Weiler C, Nerlich AG, Bachmeier BE, Boos N: Expression and Distribution of tumor necrosis factor alpha in human lumbar intervertebral discs: a study in surgical specimen

- and autopsy controls. *Spine* 30: 44-53 (2005)
76. Weiner BK, Fraser RD: Spine update lumbar interbody cages. *Spine* 23: 634-640 (1998)
77. Winker KH, Käfer W, Reichel H: *Facharzt Orthopädie Unfallchirurgie*. Elsevier, München Jena, 415-419 (2011)
78. Wirth CJ, Mutschler W, Gossé F, Metz-Stavenhagen P: *Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie*. 2. Auflage, Thieme, Stuttgart New York, S.440-443 (2009)
79. Zimmer. <http://www.zimmer-finland.com/fi-FI/hcp/spine/product/trabecular-metal-tm.jsp> (26.7.2015)
80. Yson SC, Santos ER, Sembrano JN, Polly DW Jr: Segmental lumbar sagittal correction after bilateral transforaminal lumbar interbody fusion. *J Neurosurg Spine* 17: 37-42 (2012)

## **Anhang**

Der Ethikantrag wurde aus Datenschutzgründen entfernt.

## **Danksagung**

Ich danke herzlich Herrn Prof. Dr. med. H. Reichel für die Möglichkeit, die Dissertation in seiner Abteilung durchführen zu können.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr. med. Balkan Cakir für die Überlassung des Themas und die Unterstützung während der gesamten Arbeit.

Des Weiteren möchte ich mich ganz herzlich bei meiner Frau Lena, meinen Eltern Petra und Rolf sowie meiner ganzen Familie und meinem Freundeskreis für ihren Rückhalt und Unterstützung bedanken.

## **Lebenslauf**

Der Lebenslauf wurde aus Gründen des Datenschutzes entfernt.