

**Aus der Klinik für Orthopädie  
der Universität zu Lübeck  
Direktor: Prof. Dr. Andreas Paech**

**In Zusammenarbeit mit der**

**Klinik für Skoliose- und Wirbelsäulenchirurgie  
Schön Klinik Neustadt in Holstein  
Chefarzt: Prof. Dr. med. Markus Quante**

---

**Möglichkeiten und Grenzen der operativen Lordoskorrektur nach  
transforaminaler lumbaler interkorporeller Fusion.  
Eine Analyse anhand radiologischer und klinischer Parameter.**

---

Inauguraldissertation zur Erlangung der Doktorwürde  
der Universität zu Lübeck  
- Aus der Sektion Medizin -

vorgelegt von Carl Ferdinand Zang  
aus Siegen  
Lübeck 2024

1. Berichterstatter\*in: Prof. Dr. med. Markus Quante

2. Berichterstatter\*in: PD Dr. med. Dirk Rasche

Tag der mündlichen Prüfung: 27.03.2024

Zum Druck genehmigt: Lübeck, den 28.03.2024

-Promotionskommission der Sektion Medizin-

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Fragestellung</b>	<b>1</b>
1.1	Epidemiologie	1
1.2	Diagnostik, Lumbale Lordose und spinopelvine Parameter	1
1.2.1	Radiologische Indikationsbeispiele	3
1.3	Operatives Verfahren	4
1.3.1	Verwendete Implantate	4
1.4	Operationstechnik	4
1.5	Vorteile dieser Operationstechnik	5
1.6	Nachteile der Operationstechnik	6
1.7	Potentielle intraoperative Komplikationen	6
1.8	Potenzielle postoperative Komplikationen	7
1.9	Fragestellung	7
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>8</b>
2.1	Patientengut	8
2.2	Einschlusskriterien	8
2.3	Klinische Parameter	8
2.3.1	Patientenfragebögen	8
2.3.1.1	Oswestry disability index (ODI)	9
2.3.1.2	EuroQoL-Fragebogen (EQ-5D)	10
2.3.2	Erhebung Schmerzempfinden- Visuelle Analog Skala VAS	11
2.4	Risikoprofil des Patientenkollektives	11
2.5	Erfassung intraoperativer Komplikationen	12
2.6	Radiologische Parameter	12
2.7	Statistische Auswertung	13
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>14</b>
3.1	Auswertung standardisierter internationaler Patientenfragebögen und Schmerzskala	14
3.1.1	Auswertung ODI	14
3.1.2	Auswertung EQ5	15
3.1.3	Auswertung VAS	16
3.2	Auswertung Risikoprofil	18
3.2.1	Einfluss BMI	18
3.2.1.1	Einfluss BMI auf ODI	18
3.2.1.2	Einfluss BMI auf EQ5D	19
3.2.1.3	Einfluss BMI auf VAS Rückenschmerz	20

3.2.1.4	Einfluss BMI auf VAS Beinschmerz	21
3.2.2	Einfluss Nikotinkonsum	22
3.2.2.1	Einfluss Nikotinkonsum auf ODI	22
3.2.2.2	Einfluss Nikotinkonsum auf EQ5D.	23
3.2.2.3	Einfluss Nikotinkonsum auf VAS Rücken	24
3.2.2.4	Einfluss Nikotinkonsum auf VAS Beinschmerz	25
3.2.3	Einfluss Geschlecht	26
3.2.3.1	Einfluss Geschlecht auf ODI	26
3.2.3.2	Einfluss des Geschlechts auf EQ5D	27
3.2.3.3	Einfluss des Geschlechts auf VAS Rückenschmerz	28
3.2.3.4	Einfluss des Geschlechts auf VAS Beinschmerz	29
<b>3.3</b>	<b>Perioperative Komplikationen</b>	<b>30</b>
<b>3.4</b>	<b>Radiologisches Outcome</b>	<b>32</b>
3.4.1	Lordosekorrektur	32
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>43</b>
<b>6</b>	<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis</b>	<b>44</b>
6.1	Abbildungsverzeichnis	44
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>47</b>
<b>8</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>54</b>
<b>9</b>	<b>Danksagung</b>	<b>55</b>
<b>10.</b>	<b>Lebenslauf</b>	<b>56</b>
	<b>Persönliche Daten</b>	<b>56</b>
	<b>Schulischer Werdegang/ Wehrdienst</b>	<b>56</b>
	<b>Beruflicher Werdegang</b>	<b>57</b>
	<b>Studiumbezogener Werdegang</b>	<b>58</b>

# 1 Einleitung und Fragestellung

## 1.1 Epidemiologie

Rückenschmerzen gehören zu den fünf häufigsten Gesundheitsproblemen in westlichen Industrienationen und zunehmend auch in den Schwellenländern und zählen damit zu den wichtigsten Erkrankungen des muskuloskelettalen Systems (Fuchs et al. 2012). Studienergebnisse zeigen, dass während die Stichtagsprävalenz von Rückenschmerzen etwa 30 - 40 % beträgt, die 1-Jahresprävalenz bei über 60 % und die Lebenszeitprävalenz sogar 80 % überschreitet (Von Der Lippe u. a. 2021). Schmerzen des unteren Rückens sind dabei etwa doppelt so häufig wie Schmerzen des oberen Rückens und Frauen häufiger betroffen als Männer (Andersson 1999; Schumacher und Brähler 1999; Schmidt et al. 2007).

Rückenschmerzen können dabei in spezifische und unspezifische Schmerzen unterteilt werden. Die häufigeren, unspezifische Rückenschmerzen haben kein klares morphologisches Korrelat, treten häufig akut auf und verschwinden nach kurzem Verlauf spontan oder unter Therapie vollständig (Maher, Underwood, & Buchbinder, 2017). Bei spezifischen lumbalen Rückenschmerzen besteht eine Korrelation der klinischen Symptomatik mit pathoanatomischen Befunden, wie z.B. Kompression neuraler Strukturen durch Bandscheibenvorfälle und degenerativen Veränderungen mit möglicher Aktivierung oder struktureller Instabilität eines oder mehrerer Bewegungssegmente. Insgesamt liegen nur bei 15% aller akuten Rückenschmerzepisoden spezifische und relevante pathologische Befunde vor (Henschke et al., 2009). Bei diesen Erkrankungen ist nicht selten eine Operation die Therapie der Wahl, wenn konservative Maßnahmen wie Physiotherapie (Geneen u. a. 2017; Banerjee und McCormack 2019) und Schmerztherapien (Banerjee und Argáez 2019; Banerjee und McCormack 2019) scheitern.

## 1.2 Diagnostik, Lumbale Lordose und spinopelvine Parameter

Die lumbale Lordose ist definiert als der Winkel zwischen der Deckplatte LWK1 und SWK1. Sie korreliert mit der Kippung von Becken und Sacrum und stellt den Körper unter physiologischen Gegebenheiten balanciert im Raum ein. Die Erfassung der globalen Balance in der sagittalen Körperebene ist ein elementares Instrument zur

Beurteilung der Wirbelsäulenstatik. Die Schwerpunktklinie des Körpers einer freistehenden Person liegt zentriert über der Hüftgelenkachse und wird über den sogenannten Cone-of-economy, also einen konischen Bereich zwischen den Füßen balanciert. Unter idealen statischen Bedingungen ist die Wirbelsäule in der Sagittalen balanciert, wenn das Lot von C7 die Hüftgelenkachse schneidet.

Roussouly teilt diese Wirbelsäulenstatik, das sogenannte „Sagittale Alignement“, entsprechend der Kippung des Sacrums sowie der Konfiguration der Lendenwirbelsäule in 4 Typen ein. Nahezu 70% der asymptomatischen Europäer wurden als Typ 3 und 4 kategorisiert, während die übrigen 30% als Typ 1 (kurze Lordose) bzw. Typ 2 (Hypolordose) klassifiziert wurden. 2011 unterteilte er zudem die lumbale Lordose in zwei Abschnitte. Der obere Anteil der Lendenlordose ist in seiner Ausprägung dem unteren Bogen der Brustkyphose identisch, was bedeutet, dass ein Winkel vom anderen abhängt. Für eine ausgeglichene Wirbelsäule sind Brustkyphose und Lendenlordose untrennbar miteinander verbunden, reagieren entsprechend der Veränderung des anderen Anteils und Fehlstellungen müssen global analysiert werden. Der zweite und untere (distale) Lordosebogen entspricht dem Sacral slope (SS), also der Stellung des Sacrums, was bedeutet, dass diese eine wesentliche Bedeutung für die Bestimmung der globalen Lordose hat. Das segmentale Profil wird zudem maßgeblich vom jeweiligen Roussouly Typ des globalen Alignements bestimmt (Roussouly und Pinheiro-Franco 2011; Roussouly u. a. 2005).

Die Anpassungen des Körpers an ein pathologisches sagittales Profil erfolgen über die benachbarten Segmente, die angrenzenden Wirbelsäulenkrümmungen und die spinopelvinen Parameter. Jüngere Menschen haben aufgrund der beweglicheren benachbarten Wirbelsäulenabschnitte bessere Kompensationsmöglichkeiten, wohingegen fehlende Kompensationsmechanismen zur sagittalen Dysbalance und ventralen Lotabweichung führen können. So sind bei weniger muskelstarken bzw. älteren Patienten die Kompensationsmechanismen reduziert. Zusätzlich schränkt jede Fusion der mobilen Wirbelsäule die kompensatorischen Möglichkeiten hinsichtlich einer sagittalen Imbalance ein. Entsprechend ist das Bewahren bzw. Rekonstruieren einer regelrechten und gleichzeitig altersgerechten lumbalen Lordose eines der wichtigsten Ziele einer fusionierenden Operation, welches einer Evaluation der spezifischen und patientenindividuellen Parameter sowie der anatomischen Gegebenheiten bedarf.

## 1.2.1 Radiologische Indikationsbeispiele



Abbildung 1 Beispielhafte radiologische Indikation einer Osteochondrose im MRT (links) und Röntgen (rechts)

### **1.3 Operatives Verfahren**

Die kombiniert fusionierende und dekomprimierten Operation in TLIF-Technik stellt einen dorsalen Eingriff dar und ist als modifizierte und unilaterale Operationstechnik der PLIF zu verstehen. Das Verfahren wurde erstmals 1982 als Therapie der Spondylolisthese beschrieben und 1998 von Jürgen G. Harms und Jeszenszky (Harms und Jeszenszky 1998) publiziert.

Das Grundprinzip der Operation in „TLIF- Technik“ beruht auf der Dekompression nervaler Strukturen, der interkorporellen Fusion durch Einbringen eines Cages und der Stabilisierung mittels Schrauben-Stab-System.

Ziel der Operation ist es nicht nur Instabilitäten und Kompressionen der Nervenstrukturen zu beheben, sondern auch das Ergebnis dauerhaft zu erhalten. Aufgrund der positiven Entwicklungen in der Fusionschirurgie werden Pathologien der Wirbelsäule zunehmend ganzheitlicher betrachtet, anstatt den Hauptfokus auf den pathologischen Lokalbefund zu richten. Entsprechend des zunehmenden Verständnisses der spinopelvinen Parameter auf das Ergebnis von Wirbelsäulenoperationen wird das Augenmerk zunehmend auf die optimale Lordoseeinstellung des operierten Segmentes eines jeden Patienten gelegt. Hierbei wird bei der präoperativen Planung eine individuelle segmentale Lordose berechnet und diese intraoperativ umgesetzt.

#### **1.3.1 Verwendete Implantate**

Bei allen eingeschlossenen Patienten wurden polyaxiale Pedikelschrauben mit Doppelgewinde der Durchmesser 6mm und 7mm (Titanlegierung gemäß ASTM 136/ISO 5832-3) sowie intersomatische Cages (Titanlegierung Ti6Al4V ELI) in den Höhen 9mm-12mm mit 10° Lordose sowie 40mm Breite implantiert.

### **1.4 Operationstechnik**

Die Schnittführung erfolgt dorsal in der Mittellinie der Wirbelsäule über den Procc. spinosi L4/5. Nach Durchtrennen der Subcutis und Inzision der Fascie wird die paravertebrale Muskulatur subperiostal von der Dornfortsatzkontur bis auf Höhe der entsprechenden Querfortsätze abpräpariert. Es erfolgt das Aufmeisseln und Entknorpeln der Facettengelenke. Anhand anatomischer Landmarken werden

Pedikelschrauben unter Tast- und Röntgenkontrolle in die Wirbelkörper L4 und L5 eingebracht. Der interspinöse Bandapparat L4/5 wird reseziert und unter interlaminärer Aufspreizung erfolgt zunächst die Flavektomie und die Darstellung des Duralschlauches mit den entsprechenden Spinalnerven. Mit dem Stanzeninstrumentarium wird der Spinalkanal zentral, recessal sowie foraminal knöchern dekomprimiert. Nach Sichern des Duralschlauches und der foraminal austretenden Nervenwurzel L4 mit Nervenhooken wird das hintere Längsband des Bandscheibenfaches L4/5 eingeschnitten, das Bandscheibenfach ausgeräumt und sukzessive im Sinne einer Höhenrekonstruktion aufgespreizt.

Die jeweilige Grund- und Deckplatte der zu fusionierenden Wirbelkörper wird mit Küretten und scharfen Löffeln angefrischt, autolog gewonnene Knochenchips werden, gemischt mit Fremdspongiosa, ventral in das Bandscheibenfach eingepresst. Nach Größenbestimmung eines passgerechten Probecages wird der Originalcage, ebenfalls mit allogenen und autologen Knochengips gefüllt, transforaminal unter Schutz der nervalen Strukturen intersomatisch eingeschlagen.

Aus biomechanischen Gründen sollte das intersomatische Implantat im vorderen bis mittleren Drittel mittig im Bandscheibenfach eingebracht werden.

Nun Einsetzen lordotisch vorgebogener Titanstäbe, die in den Schraubenköpfen mittels Madenschrauben fixiert werden. Hierüber kann zudem eine Kompression des Segmentes und somit einer Veränderung der segmentalen Lordose erzielt werden.

Nach nochmaligem Austasten der nervalen Strukturen und Freigängigkeit dieser folgen die Einlage eines subfascialen Redons sowie der schichtweise Wundverschluss mittels Fasciennaht, Subcutannaht und Hautverschluss (Harms und Jeszenszky 1998; Derman und Albert 2017; Gum, Reddy, und Glassman 2016).

## **1.5 Vorteile dieser Operationstechnik**

Durch Verzicht auf ventrale trans- oder retroperitoneale Zugänge zum Bandscheibenfach besteht ein deutlich reduziertes Risiko von Verletzungen abdomineller Strukturen.

Zusätzlich bietet das Vorgehen den Vorteil einer direkten spinalen Dekompression im Rahmen des transforaminalen Zugangs, weshalb die Technik den Goldstandard bei Pathologien mit kombinierter lumbaler Instabilität und spinaler Stenose darstellt.

Das Operationsergebnis ist primär stabil, so dass eine Frühmobilisation bei erlaubter Vollbelastung erfolgen kann (Harms und Jeszenszky 1998; Derman und Albert 2017; Gum, Reddy, und Glassman 2016).

## **1.6 Nachteile der Operationstechnik**

Im Vergleich zu ventralen oder lateralen Zugängen zum Bandscheibenfach besteht nur eine begrenzte Möglichkeit zur Ausräumung des Bandscheibenfaches. Des Weiteren ist die Auflagefläche des Cages durch anatomische Zugangslimitationen vorgegeben und daher im Vergleich zu den ventralen Techniken klein und damit das Lordosierungspotential deutlich geringer. Zugangsbedingt besteht durch die anatomische Lagebeziehung zum Nerven im Foramen (transforaminaler Zugang) die Möglichkeit einer Nervenverletzung (Lan u. a. 2018).

## **1.7 Potentielle intraoperative Komplikationen**

Eine Komplikation stellt die Verletzung der Dura dar, zum einen bei der Präparation, zum anderen bei der Dekompression und Einbringen des Cages (Lan u. a. 2018; Derman und Albert 2017).

Bei Verletzung des Ligamentum longitudinale anterior bei Ausräumung des Bandscheibenfaches und Anfrischen der Deckplatten mit scharfen Instrumenten sind Gefäßverletzungen im Abdominalbereich denkbar. Epidurale Gefäßblutungen sind zu berücksichtigen, diese sind jedoch durch bipolare Koagulation oder durch den Einsatz blutstillender Kollagenfleece oder Fibrin Klebern zu beherrschen (Sekhar u. a. 2007).

Bei osteopener Knochenstruktur ist neben einer unzureichenden Schraubenverankerung die Gefahr von Cageeinbrüchen in die entsprechende Grund- oder Deckplatte beschrieben (Pan u. a. 2019; Lee u. a. 2018).

Solimann et al bestätigten in ihrer Arbeit 2022 bis zu 50% Cageeinbrüche >2mm bei osteopener Knochenstruktur (Soliman u. a. 2022).

Trotz palpatorischer und radiologischer Kontrolle der korrekten Schraubenlage können Abweichungen nach medial und lateral auftreten (Parker u. a. 2011).

## **1.8 Potenzielle postoperative Komplikationen**

Allgemeine Operationsrisiken wie Wundinfektionen, tiefe Wundinfektionen mit Notwendigkeit einer Metallentfernung zur Infektbeherrschung sind in der Literatur zu finden (Fei u. a. 2016). Des Weiteren kann durch Nichteinheilen des Cages (Pseudarthrose) eine Auslockerung des Implantates möglich sein. Ein Einsinken des Cages in den Wirbelkörper bei Osteoporose oder bei Fraktur der Grund – oder Deckplatte wird ebenfalls beschrieben (Lee u. a. 2018; Soliman u. a. 2022; Palepu u. a. 2019; Lan u. a. 2018; Amorim-Barbosa u. a. 2021; Pisano u. a. 2020).

## **1.9 Fragestellung**

Die zu beantwortenden Fragestellungen lauten:

1. Was sind Prädiktionsfaktoren bei monosegmentalen lumbalen Fusionsoperationen in „TLIF-Technik“, um das segmentale Lordosierungspotential abzuschätzen?
2. Beeinflussen der BMI, Nikotinabusus oder das Geschlecht das operative Outcome trotz identischer OP- Durchführung?
3. Ist das postoperative Ergebnis, ausgedrückt in Patientenzufriedenheit, auch über den Zeitraum von 24 Monaten beständig?
4. Besteht eine Korrelation zwischen -nach den Kriterien des „sagittalen Alignements“- unzureichender Korrektur des Indexsegmentes (relative Entlordosierung) und klinischem Ergebnis?

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Patientengut**

Eingeschlossen wurden alle Patienten, die sich im Untersuchungszeitraum zwischen April 2014 und Dezember 2016 in der Schön Klinik Neustadt in Holstein einer TLIF- Fusion unterzogen. Aus insgesamt 454 in TLIF Technik fusionierten Patienten wurden 121 Patienten entsprechend der Einschlusskriterien selektiert und die Ergebnisse retrospektiv untersucht.

### **2.2 Einschlusskriterien**

Eingeschlossen wurden alle volljährigen Patienten, bei welchen aufgrund von degenerativen Veränderungen (Osteochondrosen und degenerative Spondylolisthesen Meyerding I°) die Indikation zur TLIF- Fusion L4/5 bestand und die eine entsprechende Einwilligungserklärung zur Verarbeitung der klinischen Daten erteilt haben. Eine Voroperation, wie eine Dekompression bzw. Sequestrektomie des Indexsegmentes stellte keine Kontraindikation dar. Ausgeschlossen wurden jedoch postinfektiöse und tumoröse Genesen sowie Frakturen.

### **2.3 Klinische Parameter**

#### **2.3.1 Patientenfragebögen**

Durch die Anwendung standardisierter Fragebögen im Rahmen von follow up Untersuchungen nach 3, 6, 12 und 24 Monaten soll der klinische Erfolg der Operation überprüft werden.

Erhoben wurden der „Oswestry disability index“ (ODI), der Lebensqualitätsfragebogen EQ5D sowie die Visuelle Analogskala (VAS) für die subjektiven Bein- und Rückenschmerzen der Patienten.

Die Fragebögen wurden zu Beginn des Untersuchungszeitraumes präoperativ in Papierform ausgehändigt, im follow up postalisch zugesandt und die Ergebnisse durch die Abteilung für interne Datenverarbeitung der Schön Klinik Prien erfasst.

Im weiteren Verlauf wurden die Daten zentral und digital über die Firma heartbeat erhoben, die als führender Anbieter in Deutschland zur Erfassung von

„Patient Reported Outcome Measures“ (PROs) mit großen deutschen Klinikketten und bedeutenden Universitätskliniken zusammenarbeitet. Innerklinisch wurden die Patienten in die Benutzung eines Tablets eingewiesen, im follow-up erfolgte die Erhebung online über einen individuellen und geschützten Internetzugang.

### **2.3.1.1 Oswestry disability index (ODI)**

Erstmalig beschrieben wurde der ODI 1980 von Fairbank et al. (Fairbank und Pynsent 2000). Die Entwicklung des Fragebogens wurde vorgenommen, um bei lumbalen Beschwerden eine objektive, reproduzierbare und vergleichbare Evaluation zu ermöglichen. Der Fragebogen soll Aufschluss darüber geben, wie Rückenschmerzen die Fähigkeit der Patienten zur Bewältigung von Alltagsaktivitäten beeinträchtigen.

Der Fragebogen gliedert sich in zehn Abschnitte, die sich auf den Schmerzzustand und die dadurch bedingten Einschränkungen der Alltagsaktivitäten beziehen. Jeder Abschnitt beinhaltet sechs Antwortmöglichkeiten, die mit Punkten von 0 bis 5 bewertet werden. Es werden 10 Dimensionen des täglichen Lebens berücksichtigt:

- Schmerz
- Körperpflege
- Heben
- Gehen
- Sitzen
- Stehen
- Schlafen
- Sexualleben
- Sozialleben
- Reisen

Der Patient soll in jedem Abschnitt die für ihn zutreffende Antwortmöglichkeit ankreuzen. Zusätzlich ist im Anhang des Fragebogens eine visuelle Analogskala von 1 bis 10 hinzugefügt, die die Gesamtschmerzbewertung des Patienten abbilden soll.

## Auswertung des ODI

Nach kompletter Ausfüllung des Fragebogens werden alle Punkte der einzelnen Abschnitte addiert. Die sich ergebende Punktzahl wird dann mit 100 multipliziert, um einen Prozentsatz zu erhalten, der als Gesamtpunktzahl bezeichnet wird und von 1 bis 100 % reicht, wobei höhere Punktzahlen eine schwerere Behinderung anzeigen

## Klinische Verwertung des ODI

In Anlehnung an Fairbank (Fairbank und Pynsent 2000) erfolgt folgende Einteilung der fünf Gruppen nach Berücksichtigung der Prozentwerte:

- Gruppe I 0 bis 20 %: minimale Einschränkung.
- Gruppe II 20 bis 40%: mäßige Einschränkung
- Gruppe III 40 bis 60%: schwere Einschränkung
- Gruppe IV 60 bis 80 %: Behinderung
- Gruppe V. 80 bis 100%: schwere Behinderung

### 2.3.1.2 EuroQoL-Fragebogen (EQ-5D)

Der EQ-5D ist ein standardisierter Fragebogen zur Messung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität in 5 Dimensionen:

- Mobilität
- Selbstversorgung
- Alltägliche Tätigkeiten (z.B. Arbeit, Studium, Hausarbeit, Familie, Freizeit)
- Schmerzen/ Beschwerden
- Angst/ Niedergeschlagenheit

Für die 5 Dimensionen ergeben sich jeweils 5 Antwortmöglichkeiten:

1. „keine Probleme, Ängste, Beschwerden“
2. „leichte Probleme, Ängste, Beschwerden“
3. „mäßige Probleme, Ängste, Beschwerden“
4. „große Probleme, Ängste, Beschwerden“
5. „extreme Probleme, Ängste, Beschwerden“

Anhand standardisierter Berechnungsvorgaben werden die Antworten in einen Indexwert umgerechnet. Der EQ-5D drückt den Gesundheitszustand der Befragten in einer Maßzahl von 0 (sehr schlecht) bis 1 (Bestmöglicher Gesundheitszustand) aus.

### 2.3.2 Erhebung Schmerzempfinden- Visuelle Analog Skala VAS

Die Visuelle Analog Skala VAS ist eine eindimensionale Skala zur standardisierten Erfassung der subjektiv empfundenen Schmerzintensität, von 1-10 in aufsteigender Reihenfolge. Hierbei bezeichnet die Angabe „0“ „keinen Schmerz“, „10“ den „größtmöglich vorstellbaren Schmerz“.

Anhand der Visuellen Analogskala (VAS) wurden die Patienten präoperativ, postoperativ vor Entlassung sowie im follow up nach 3, 12 und 24 Monaten zur Intensität der Rückenschmerzen (VAS Rückenschmerz) und Beinschmerzen (VAS Beinschmerz) befragt.

## 2.4 Risikoprofil des Patientenkollektives

Bei den Patienten wurden Geschlecht, Alter, Gewicht und Größe erfragt und der Body-Mass-Index (BMI) berechnet. Der BMI ist eine Größe zur Bewertung des Körpergewichtes in Relation zur Größe.

Dieser berechnet sich wie folgt:

$$\text{BMI} = \frac{\text{Körpergewicht in Kilogramm}}{(\text{Körpergröße in Meter})^2}$$

Körpergewicht (in kg) geteilt durch Größe (in m) zum Quadrat (Goh u. a. 2019). Zudem wurden alle Patienten zu Nikotinkonsum befragt. Hierbei wurde der regelmäßige Konsum von mindestens einer Zigarette am Tag als „Nikotinkonsum“ definiert.

Weitere Risikofaktoren wie Diabetes mellitus Typ 2, vorangegangene Dekompressionsoperation in der zu operierenden Etage und rheumatoide Erkrankungen wurden erfasst.

## **2.5 Erfassung intraoperativer Komplikationen**

Perioperative Komplikationen wurden bei allen Patienten erfasst und in folgende Subgruppen gegliedert:

- Wundinfekt mit Notwendigkeit einer chirurgischen Revision
- Verbliebene Beinschmerzkomponente mit Notwendigkeit einer Re-Dekompression
- Hämatombildung mit Notwendigkeit einer chirurgischen Revision
- Neurologische Komplikationen
- Pedikelfraktur
- Iatrogene Duraläsion
- Schraubenfehlage

## **2.6 Radiologische Parameter**

Alle Patienten erhielten ein Röntgen der LWS im Stehen in anterior- posteriorer und lateraler Ebene präoperativ sowie 3-5 Tage postoperativ; im Rahmen des follow up dann erneut nach 24 Monaten.

Neben der segmentalen Lordose L4/5 wurde die Gesamtlordose L1-S1 auf Grundlage der Röntgenbilder mittels einer Bildbearbeitungssoftware SURGIMAP bestimmt.

SURGIMAP ist eine digitale Planungssoftware der Firma Nemaris Inc, mit der anhand eingelesener Röntgenbilder skelettale Parameter ausgemessen und operative Korrekturen geplant werden können (Akbar u. a. 2013; Langella u. a. 2017).

Definierte Bezugspunkte der Messungen waren die Deckplatte LWK 4 und die Grundplatte LWK 5 für das Segment L4/5, die Deckplatte L1 und die Deckplatte S1 für die Gesamtlordose L1-S1. Alle Messungen wurden eigenständig durchgeführt.

Mittels folgender Gleichung wurde die Veränderung der Lordose ermittelt, positive Werte (+) zeigen hierbei einen Lordosegewinn, negative Werte (-) weisen auf eine Abnahme der Lordose hin:

Lordose postoperativ° - Lordose präoperativ ° = Korrektur zu präoperativ

Lordose 2yFU° - Lordose präoperativ° = Korrektur nach 2 Jahren zu präoperativ.

## **2.7 Statistische Auswertung**

Die Daten wurden mit Microsoft Excel® 2018 dokumentiert.

Alle Daten wurden auf Konsistenz und Vorliegen von Normalverteilungen mit dem Kolmogorov-Smirnov Test geprüft.

Einfaktorielle Untersuchungen wurden mit der Varianzanalyse ANOVA, paarweise Mittelwertvergleiche mit dem LSD Test (geringste signifikante Differenz) untersucht. In Abhängigkeit der Forschungsfrage wurden einfaktorielle und zweifaktorielle Modelle mit Interaktionseffekten verwendet.

Veranschaulicht wurden die Mittelwerte als Kastengraphik im Sinne von whiskerplots mit Konfidenzintervallen zum Niveau 95%.

Die berechneten Korrelationen wurden graphisch als Streudiagramm dargestellt.

Alle angewendeten Tests sind zweiseitig, p-Werte < 0,05 wurden als statistisch signifikante Ergebnisse definiert.

Alle Berechnungen wurden mit der Statistiksoftware NCSS (NCSS 10, NCSS, LLC. Kaysville, UT) und STATISTICA 13 (Hill, T. & Lewicki, P. Statistics: Methods and Applications. StatSoft, Tulsa, OK) durchgeführt.

Die Auswertung und Überprüfung von Signifikanzen des ODI erfolgte mit Hilfe des T-Tests (nach Student) für verbundene, bzw. über unverbundene Stichproben. Die Überprüfung der Mittelwerte auf Normalverteilung wurde mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Test (K-S-Test) durchgeführt.

Es wurden alle Probandengruppen in ihren möglichen Konstellationen auf Normalverteilung geprüft. Bei allen Gruppen lag eine Normalverteilung vor und die weitere Auswertung konnte mit dem T-Test erfolgen.

### **3 Ergebnisse**

Das Kollektiv bildeten 85 Frauen und 36 Männer.

Das mittlere Alter der Patienten betrug  $60,7 \pm 11,8$  Jahre (max. 87 Jahre, min. 32 Jahre). Der BMI betrug im Mittel  $28,5 \pm 5,7$  kg/m<sup>2</sup> (max. 46 kg/m<sup>2</sup>, min. 19,5 kg/m<sup>2</sup>). 26 Patienten gaben regelmäßigen Nikotinkonsum an.

Von den 121 Patienten erschienen 50 zur Röntgen-Kontrolle nach mindestens 24 Monaten (41,3%).

47 Patienten beantworteten die Fragebögen ODI und EQ5 sowie die Angaben VAS nach 24 Monaten (38,8%).

Die vollständigen Daten (Patientenfragebögen und Röntgen Kontrollen) nach 24 Monaten liegen bei 47 Patienten vor, dies wurde als Mindestfollow up definiert.

#### **3.1 Auswertung standardisierter internationaler Patientenfragebögen und Schmerzskala**

##### **3.1.1 Auswertung ODI**

Der verwendete Fragebogen Oswestry-Disability-Index (ODI) wurde von den Patienten präoperativ, drei, sechs, zwölf und vierundzwanzig Monate sowie maximal bis zu vier Jahre postoperativ ausgefüllt. Der durchschnittliche Nachuntersuchungszeitraum betrug 36 Monate. Aufgrund der Streuung der Operationsdaten konnten im Nachuntersuchungszeitraum nicht alle Patienten evaluiert werden. Das Mindestfollow up liegt bei 47 Patienten vor.

Der durchschnittliche ODI lag präoperativ bei 45,7% ( $\pm 14,7$ ).

In der Einteilung nach Fairbanks sind dies Patienten mit „schweren Einschränkungen“ (Fairbank und Pynsent 2000). Postoperativ zeigte sich eine signifikante Verbesserung des ODI über den gesamten Nachuntersuchungszeitraum ( $p \leq 0,01$ ). Drei Monate postoperativ lag der ODI bei 28,9% ( $\pm 17,3$ ), was einer Verbesserung zu präoperativ von 16,34% ( $\pm 17$ ) und nach 12 Monaten postoperativ einer Verbesserung von 25,0% ( $\pm 18,1$ ) entspricht. Zum Zeitpunkt 24 Monate nach Operation betrug der ODI 25,9% ( $\pm 17,1$ ), dies ergibt eine Verbesserung zu präoperativ von 19,95% ( $\pm 19,78$ ).

Nach Fairbank zeigte sich im Langzeitergebnis nach 2 Jahren eine Verbesserung der Lebensqualität von Gruppe III in Gruppe II, was „mäßige Einschränkungen“ im Alltag bedeutet. Es ergab sich eine hoch signifikante Reduktion des ODI im Vergleich präoperativ zu allen postoperativen Zeitpunkten (jeweils  $p < 0,01$ ) ohne dass ein Unterschied zwischen den einzelnen Zeitpunkten auftrat.

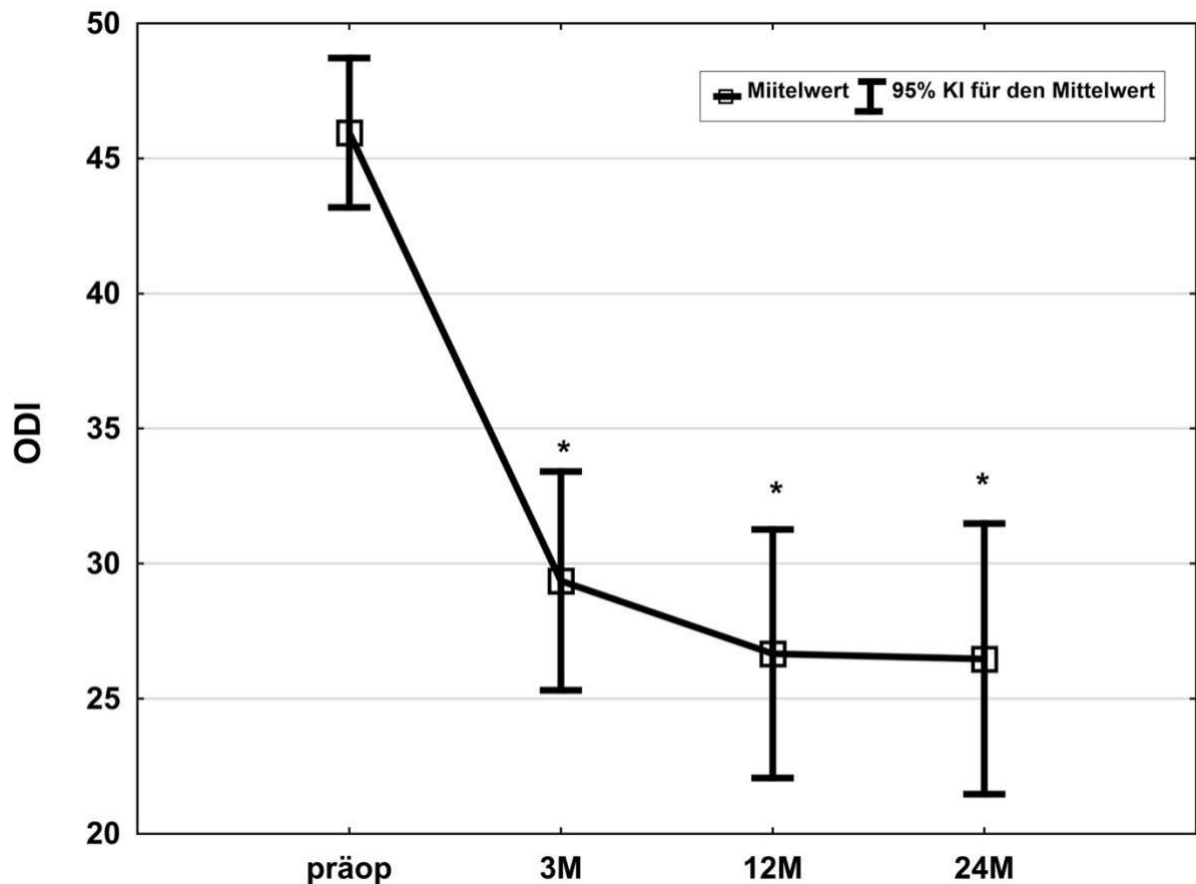


Abbildung 2 Entwicklung ODI über den Untersuchungszeitraum mit Mittelwerten, Konfidenzintervall sowie Signifikanzen (\*).

### 3.1.2 Auswertung EQ5

Zeitpunkte der Datenerfassung

Der verwendete Fragebogen EQ5 wurde von den Patienten präoperativ, drei, sechs, zwölf und vierundzwanzig Monate sowie maximal bis zu vier Jahren postoperativ ausgefüllt. Der durchschnittliche Nachuntersuchungszeitraum betrug 36 Monate. Aufgrund der Streuung der Operationsdaten konnten im

Nachuntersuchungszeitraum nicht alle Patienten evaluiert werden. Das Mindestfollow up von 24 Monaten liegt bei 47 Patienten vor.

Der EQ5D betrug präoperativ im Mittel 0,35 ( $\pm 0,33$ ), nach 3 Monaten 0,64 ( $\pm 0,31$ ), verbesserte sich auf einen Wert von 0,72 ( $\pm 0,26$ ) nach 12 Monaten, um dann im Verlauf nach 24 Monaten wieder leicht auf 0,62 ( $\pm 0,30$ ) zu sinken. Es zeigte sich eine signifikante Verbesserung im Vergleich präoperativ zu allen postoperativen Untersuchungszeitpunkten (jeweils  $p < 0,01$ ), ohne dass ein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen postoperativen Zeitpunkten auftrat.

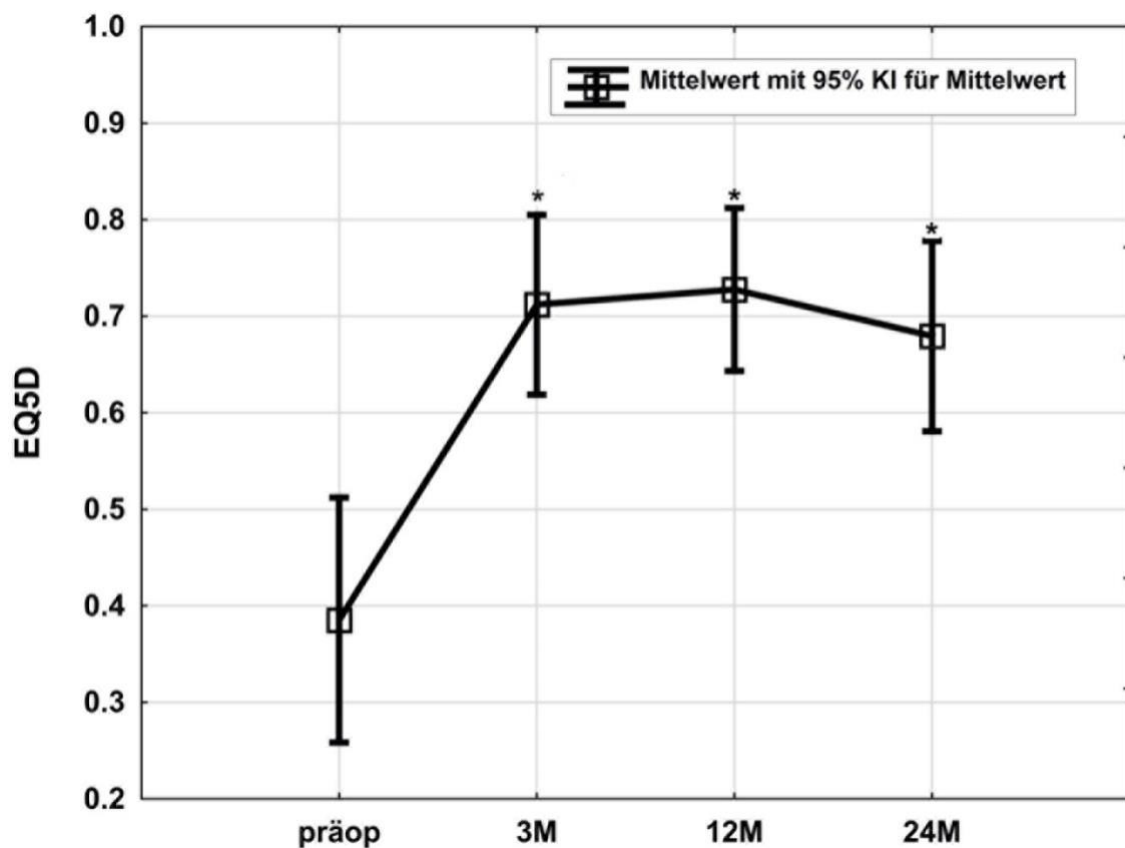


Abbildung 3 Entwicklung EQ5D über den Untersuchungszeitraum mit Mittelwerten, Konfidenzintervall sowie Signifikanzen (\*).

### 3.1.3 Auswertung VAS

VAS Rückenschmerz

Der mittlere VAS-Rücken Wert betrug präoperativ 57,99 ( $\pm 24,85$ ), nach 3 Monaten 28,50 ( $\pm 24,46$ ), 28,94 ( $\pm 24,57$ ) nach 12 Monaten und nach 24 Monaten 28,71 ( $\pm 24,60$ ). Es zeigte sich eine signifikante Reduktion im Vergleich präoperativ zu allen postoperativen Untersuchungszeitpunkten (jeweils  $p < 0,01$ ), ohne dass ein Unterschied zwischen den einzelnen postoperativen Untersuchungszeitpunkten auftrat.

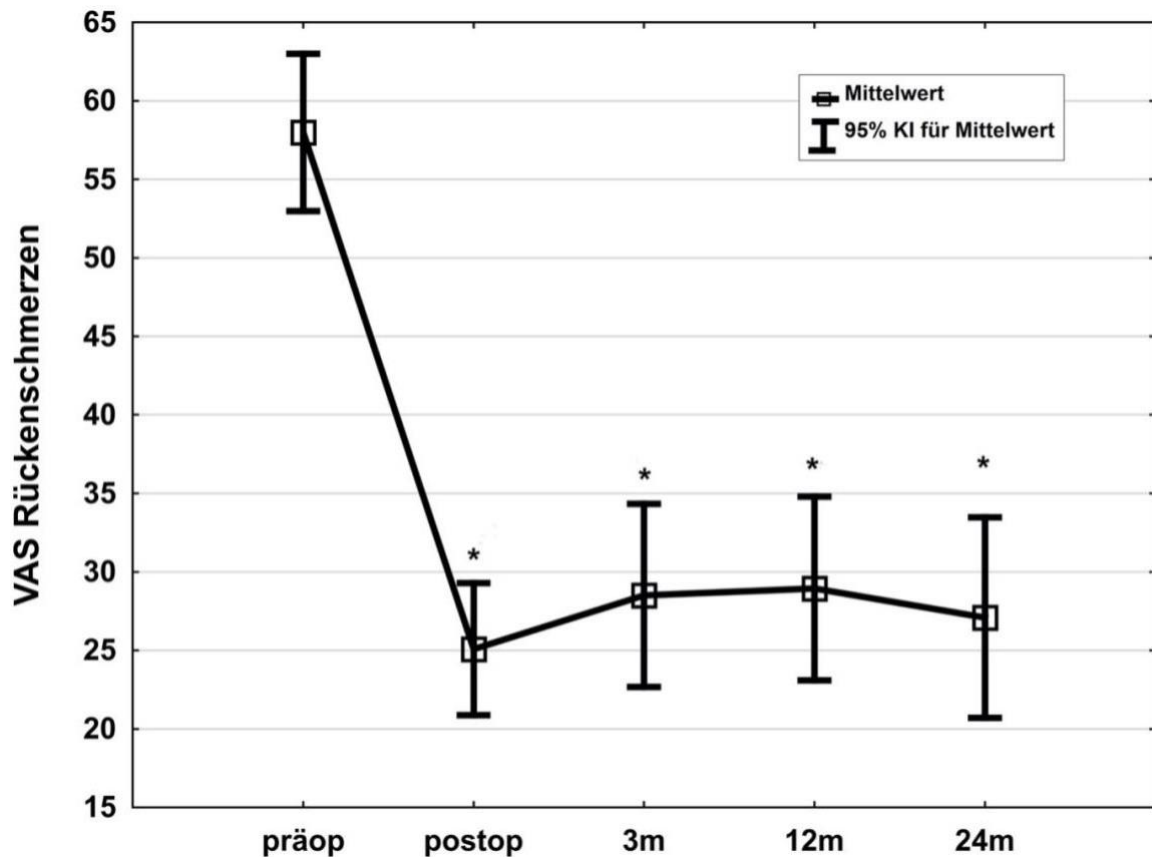


Abbildung 4 Entwicklung VAS Rückenschmerz über den Untersuchungszeitraum mit Mittelwerten, Konfidenzintervall sowie Signifikanzen (\*).

#### VAS Beinschmerz

Der mittlere VAS-Wert für den Beinschmerz betrug präoperativ 55,96 ( $\pm 25,29$ ), postoperativ 15,71 ( $\pm 19,40$ ), stieg dann nach 3 Monaten auf 24,64 ( $\pm 27,11$ ). Nach 12 Monaten betrug er 31,03 ( $\pm 29,33$ ) und nach 24 Monaten 28,04 ( $\pm 29,67$ ). Es zeigte sich eine hoch signifikante Reduktion im Vergleich präoperativ zu allen postoperativen Untersuchungszeitpunkten (jeweils  $p < 0,01$ ). Außerdem fanden sich

signifikante Unterschiede im Vergleich postoperativ zum Untersuchungszeitpunkt nach 3 Monaten ( $p < 0,49$ ), im Vergleich postoperativ zum Zeitpunkt 12 Monate ( $p < 0,01$ ) sowie zum Zeitpunkt nach 24 Monaten ( $p < 0,01$ ).

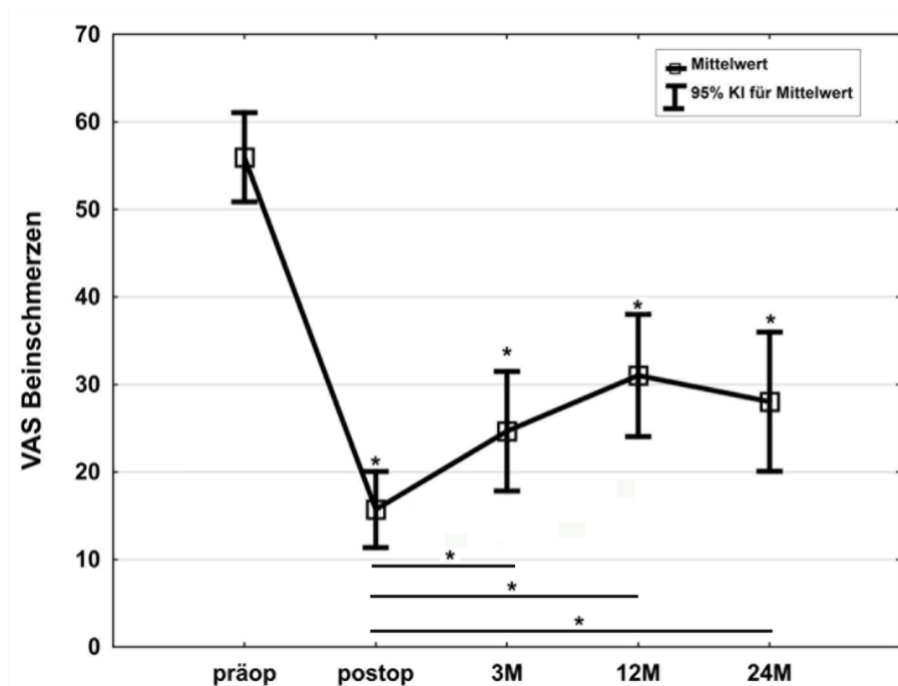


Abbildung 5 Entwicklung VAS Beinschmerz über den Untersuchungszeitraum mit Mittelwerten, Konfidenzintervall sowie Signifikanzen (\*).

## 3.2 Auswertung Risikoprofil

### 3.2.1 Einfluss BMI

#### 3.2.1.1 Einfluss BMI auf ODI

Patienten mit einem höheren BMI ( $> 30$ ) hatten bereits präoperativ einen höheren ODI, welcher sich auch postoperativ nicht im gleichen Ausmaß reduzierte, wie der der normalgewichtigen Patienten. In der Gruppe mit einem BMI  $< 30$  zeigte sich eine signifikante Reduktion des ODI nach 3 Monaten, 12 und 24 Monaten mit einem Signifikanzniveau von  $p < 0,05$ .

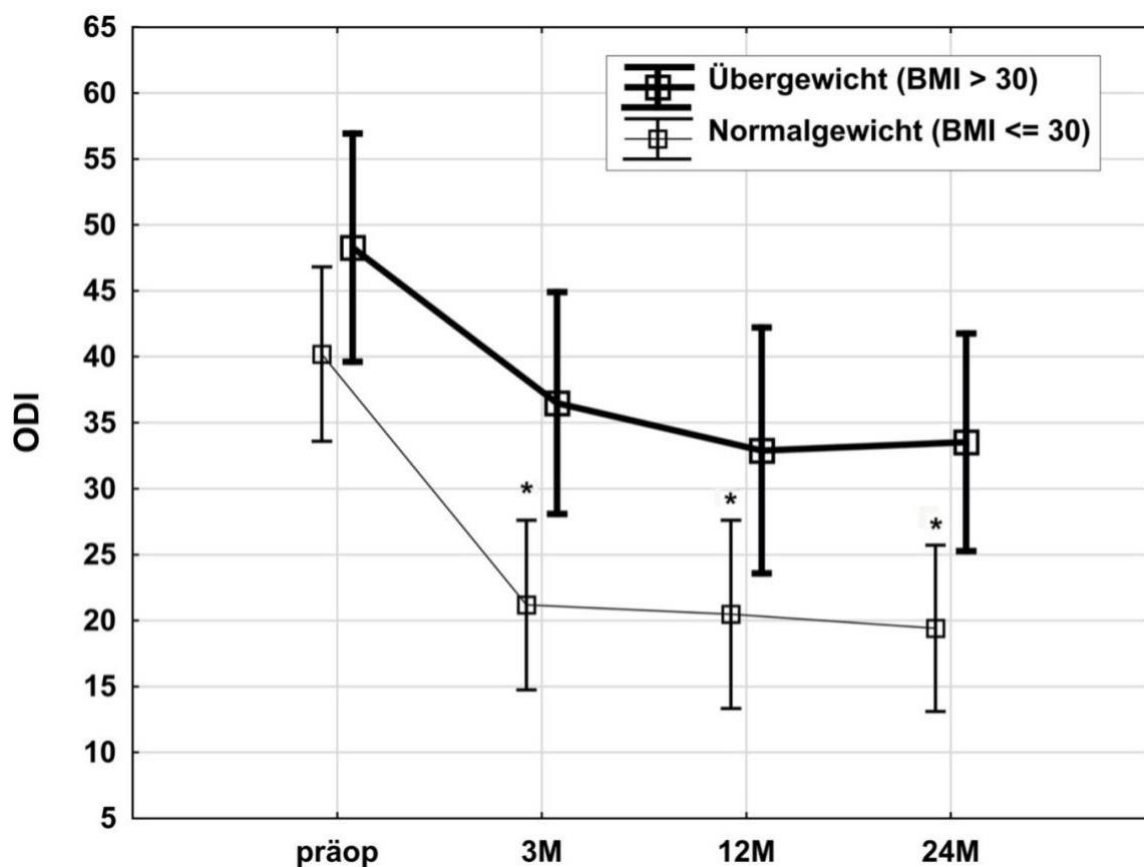


Abbildung 6 Entwicklung ODI über den Untersuchungszeitraum, differenziert nach BMI > 30 und BMI < 30 mit Mittelwerten, Konfidenzintervall sowie Signifikanzen (\*).

### 3.2.1.2 Einfluss BMI auf EQ5D

Im Rahmen der Auswertung zeigte sich keine Auswirkung des BMI auf die Entwicklung des EQ5D. Patienten mit einem BMI (>30) hatten präoperativ einen höheren Ausgangswert, welcher auch nach 3 und 24 Monaten sichtbar war, jedoch näherten sich die Werte zwischen den Gruppen während des Untersuchungszeitraumes an.

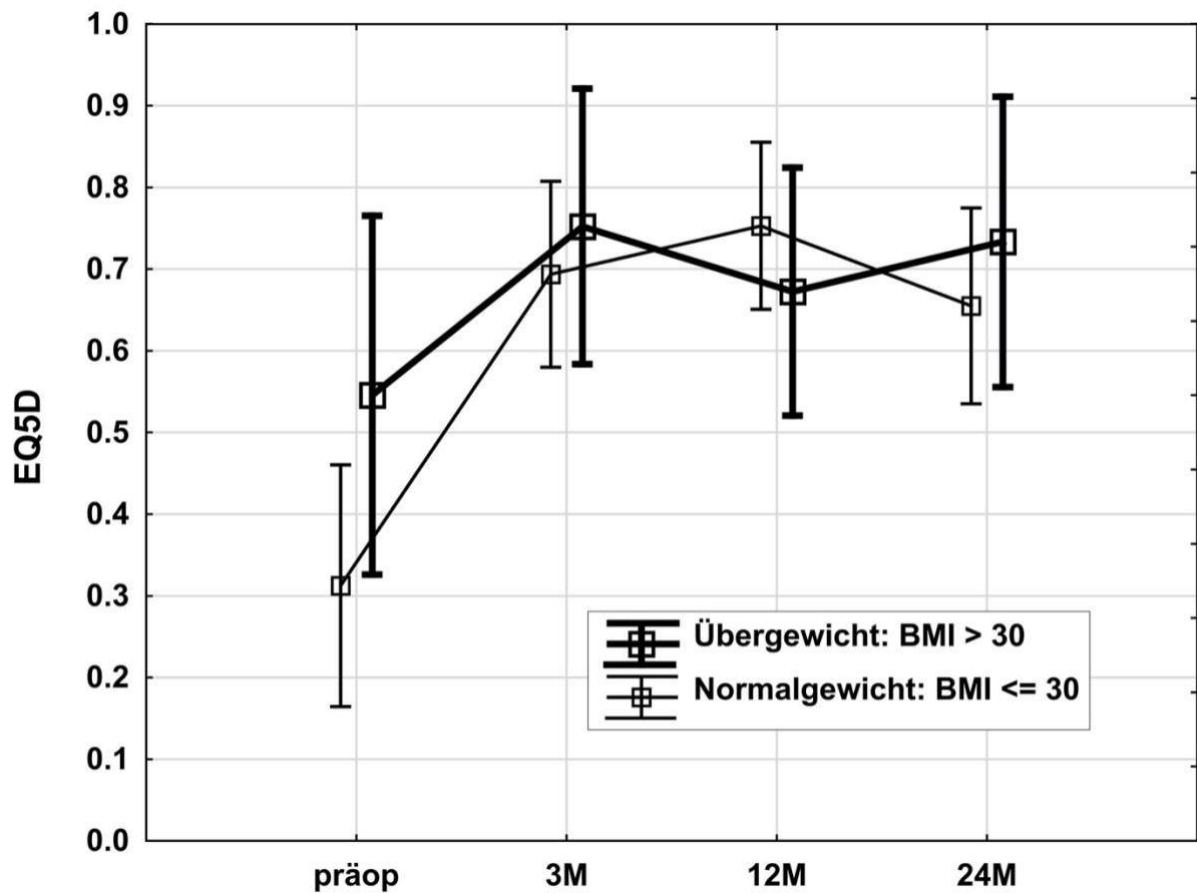


Abbildung 7 Entwicklung EQ5D über den Untersuchungszeitraum, differenziert nach BMI > 30 und BMI < 30 mit Mittelwerten und Konfidenzintervall.

### 3.2.1.3 Einfluss BMI auf VAS Rückenschmerz

Der BMI hatte einen signifikanten Einfluss auf den VAS Rückenschmerz, dies zeigt sich zum Untersuchungszeitpunkt nach 3 Monaten ( $p < 0,01$ ) und nach 24 Monaten ( $p < 0,01$ ). Nach 12 Monaten zeigen sich keine signifikanten Unterschiede.

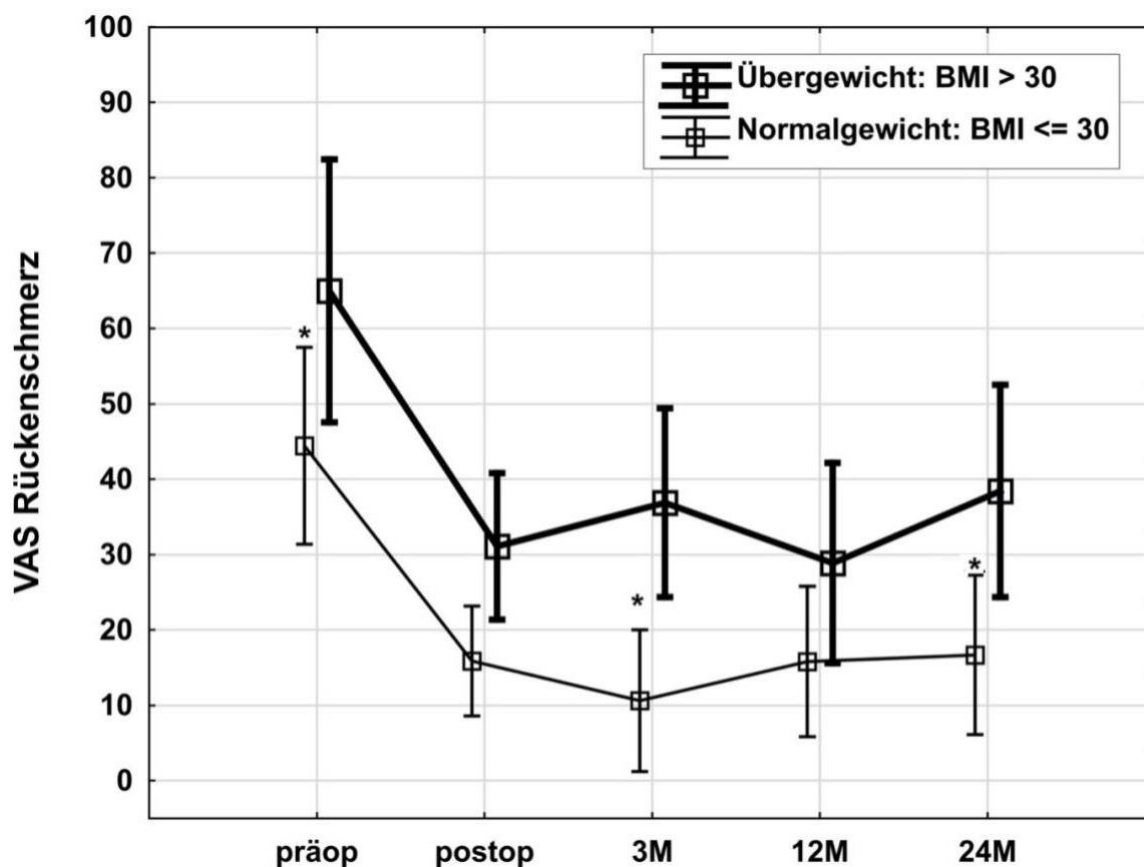


Abbildung 8 Entwicklung VAS Rückenschmerz über den Untersuchungszeitraum, differenziert nach BMI > 30 und BMI < 30 mit Mittelwerten, Konfidenzintervall sowie Signifikanzen (\*).

### 3.2.1.4 Einfluss BMI auf VAS Beinschmerz

Eine signifikante Korrelation zwischen BMI und VAS Beinschmerz zeigte sich nicht, jedoch findet sich bei nahezu identischen Werten präoperativ sowie direkt und 3 Monate postoperativ nach 12 Monaten eine Tendenz zu mehr Schmerzen in der Gruppe mit BMI > 30.

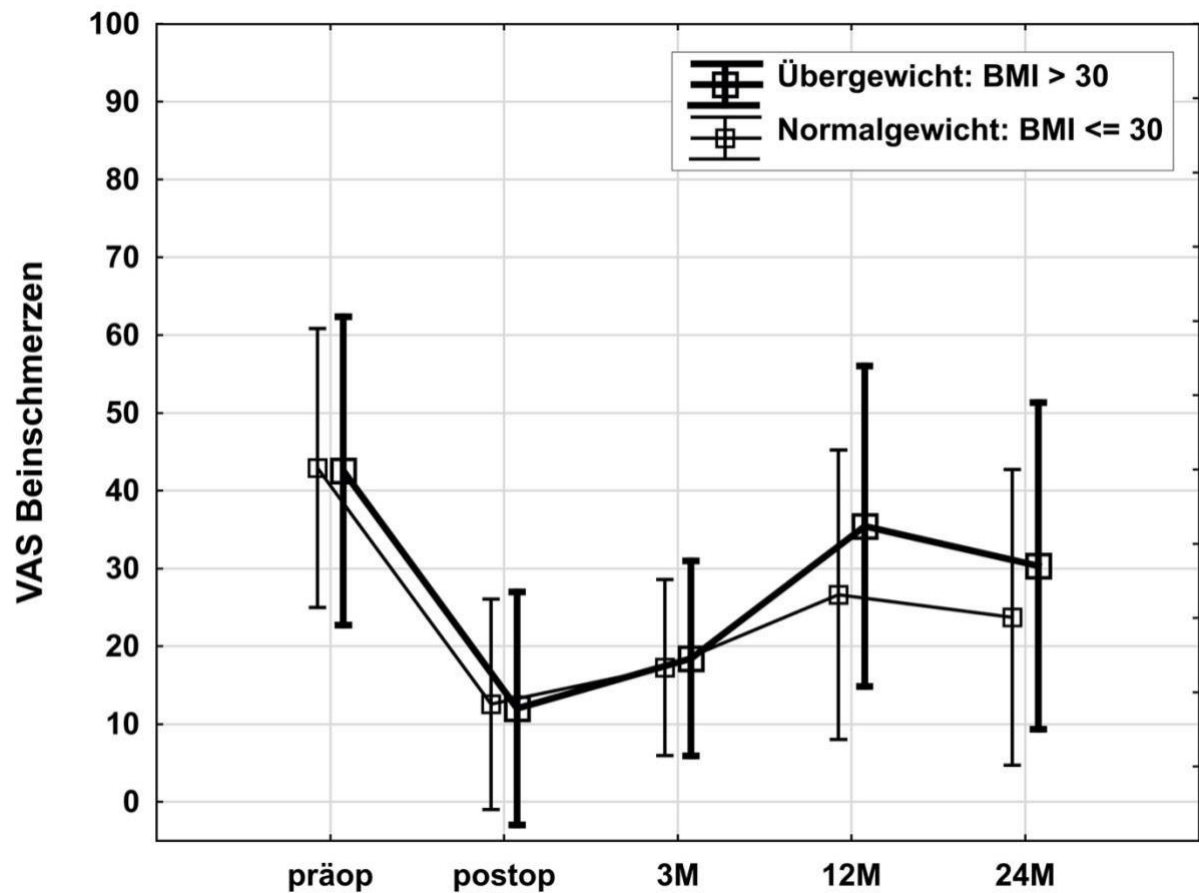


Abbildung 9 Entwicklung VAS Beinschmerz über den Untersuchungszeitraum, differenziert nach BMI > 30 und BMI < 30 mit Mittelwerten und Konfidenzintervall.

### 3.2.2 Einfluss Nikotinkonsum

#### 3.2.2.1 Einfluss Nikotinkonsum auf ODI

Eine signifikante Korrelation zwischen Nikotinkonsum und ODI ergab sich nicht, jedoch zeigte sich der ODI insgesamt in der Gruppe der Raucher erhöht, was auch über alle Nachuntersuchungszeitpunkte nachvollzogen werden konnte.

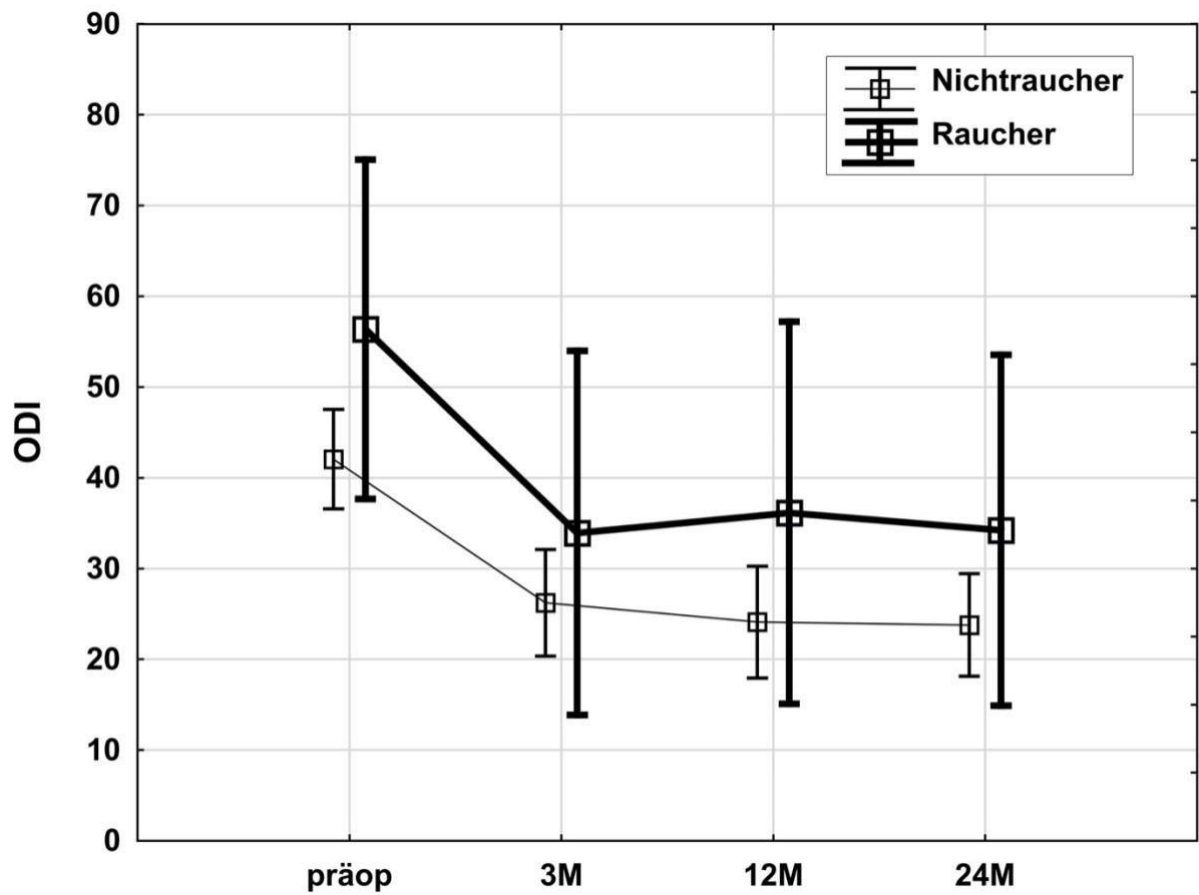


Abbildung 10 Entwicklung ODI über den Untersuchungszeitraum, differenziert nach Nichtraucher und Raucher mit Mittelwerten und Konfidenzintervall.

### 3.2.2.2 Einfluss Nikotinkonsum auf EQ5D.

Eine signifikante Korrelation zwischen Rauchen und EQ5D zeigt sich nicht.

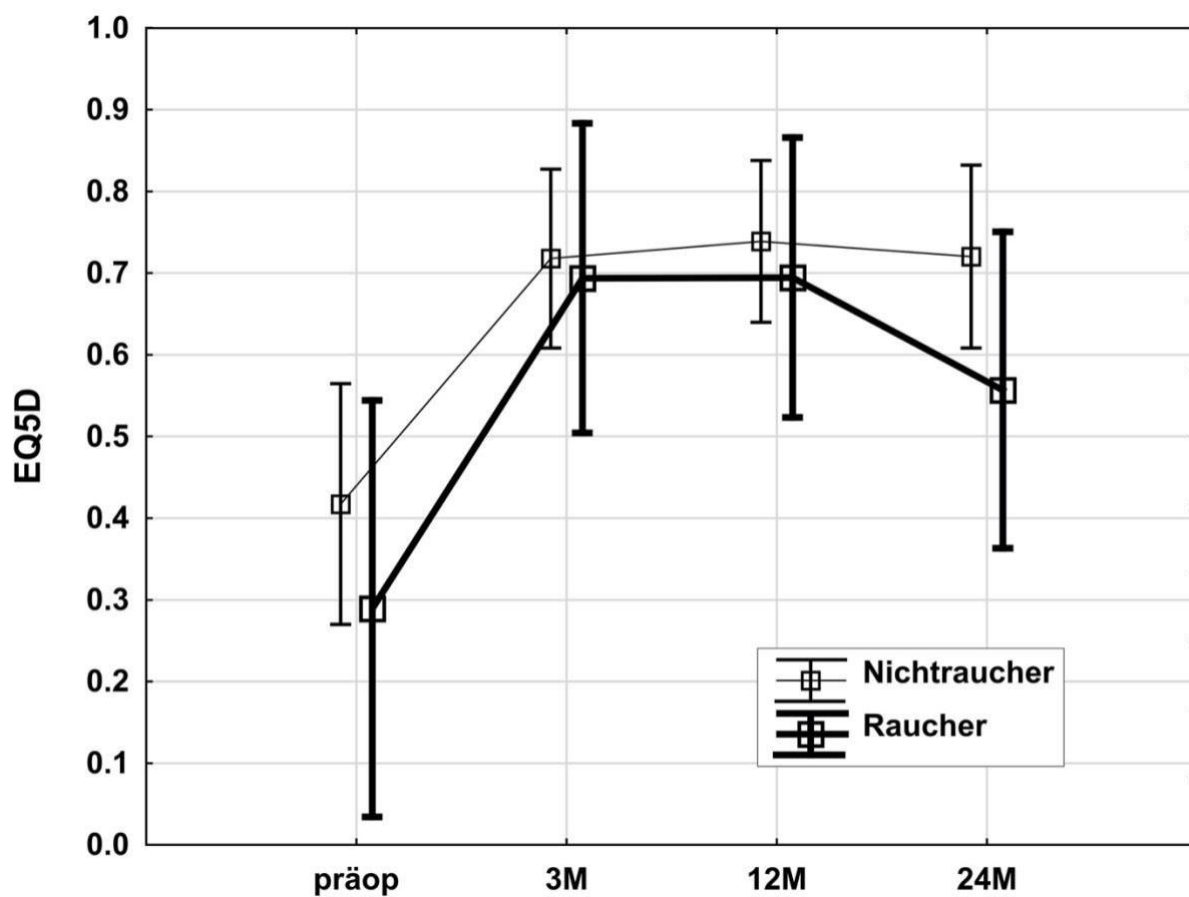


Abbildung 11 Entwicklung EQ5D über den Untersuchungszeitraum, differenziert nach Nichtraucher und Raucher mit Mittelwerten und Konfidenzintervall.

### 3.2.2.3 Einfluss Nikotinkonsum auf VAS Rücken

Eine signifikante Korrelation zwischen Rauchen und VAS Rückenschmerz zeigt sich nicht.

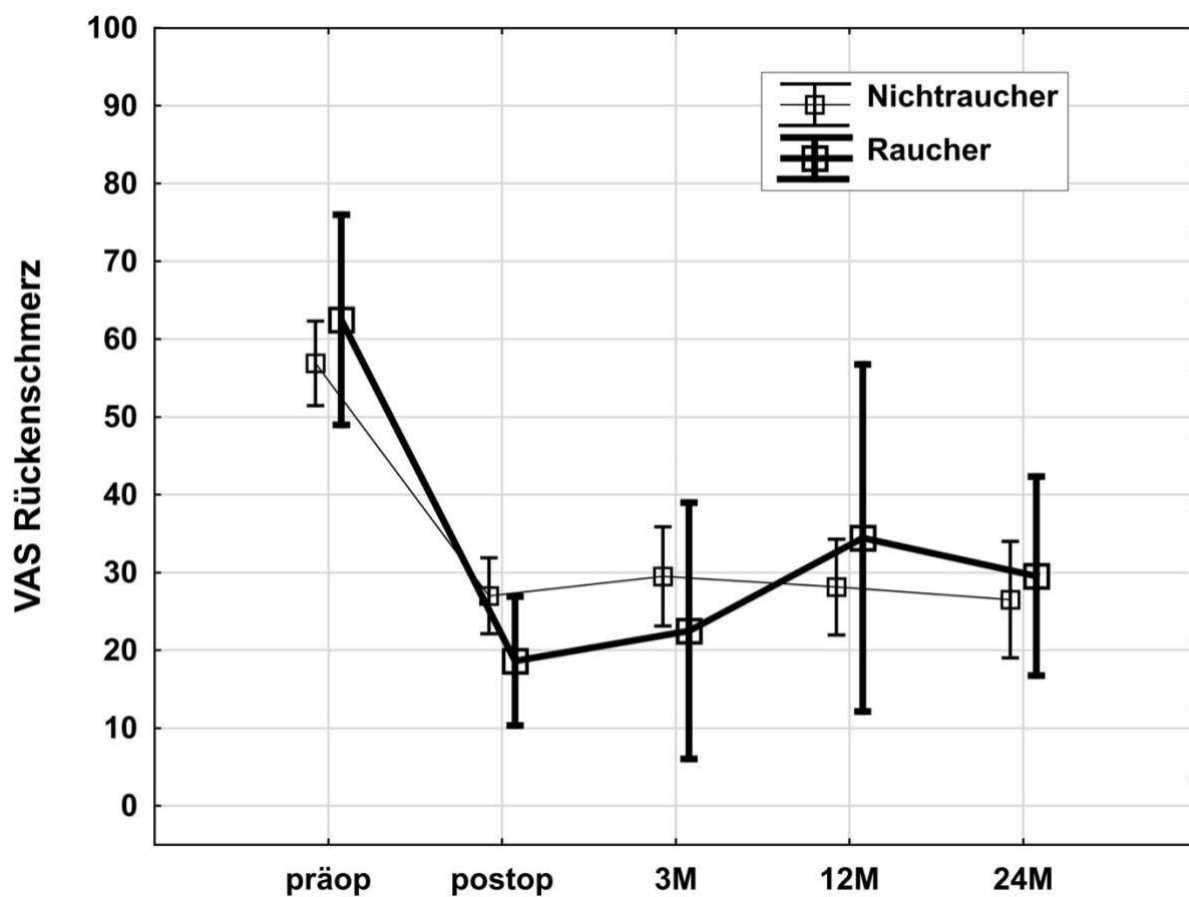


Abbildung 12 Entwicklung VAS Rückenschmerz über den Untersuchungszeitraum, differenziert nach Nichtraucher und Raucher mit Mittelwerten und Konfidenzintervall.

### 3.2.2.4 Einfluss Nikotinkonsum auf VAS Beinschmerz

Eine signifikante Korrelation zwischen Rauchen und VAS Beinschmerz zeigt sich nicht, jedoch zeigt sich bei nahezu identischen Ausgangswerten präoperativ direkt postoperativ eine Tendenz zu mehr Beinschmerz in der Gruppe der Raucher.

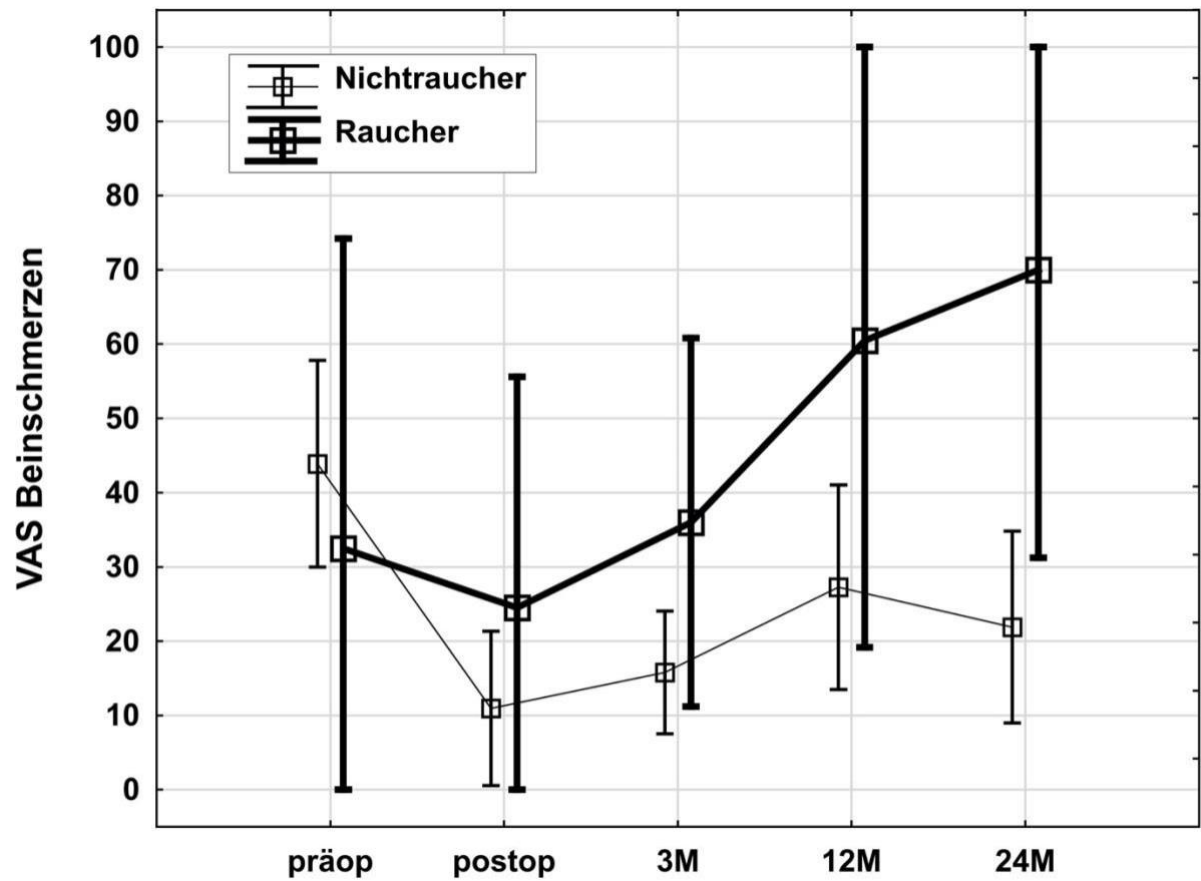


Abbildung 13 Entwicklung Beinschmerz über den Untersuchungszeitraum, differenziert nach Nichteinraucher und Raucher mit Mittelwerten und Konfidenzintervall.

### 3.2.3 Einfluss Geschlecht

#### 3.2.3.1 Einfluss Geschlecht auf ODI

Signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede in Bezug auf den ODI ergeben sich nicht.

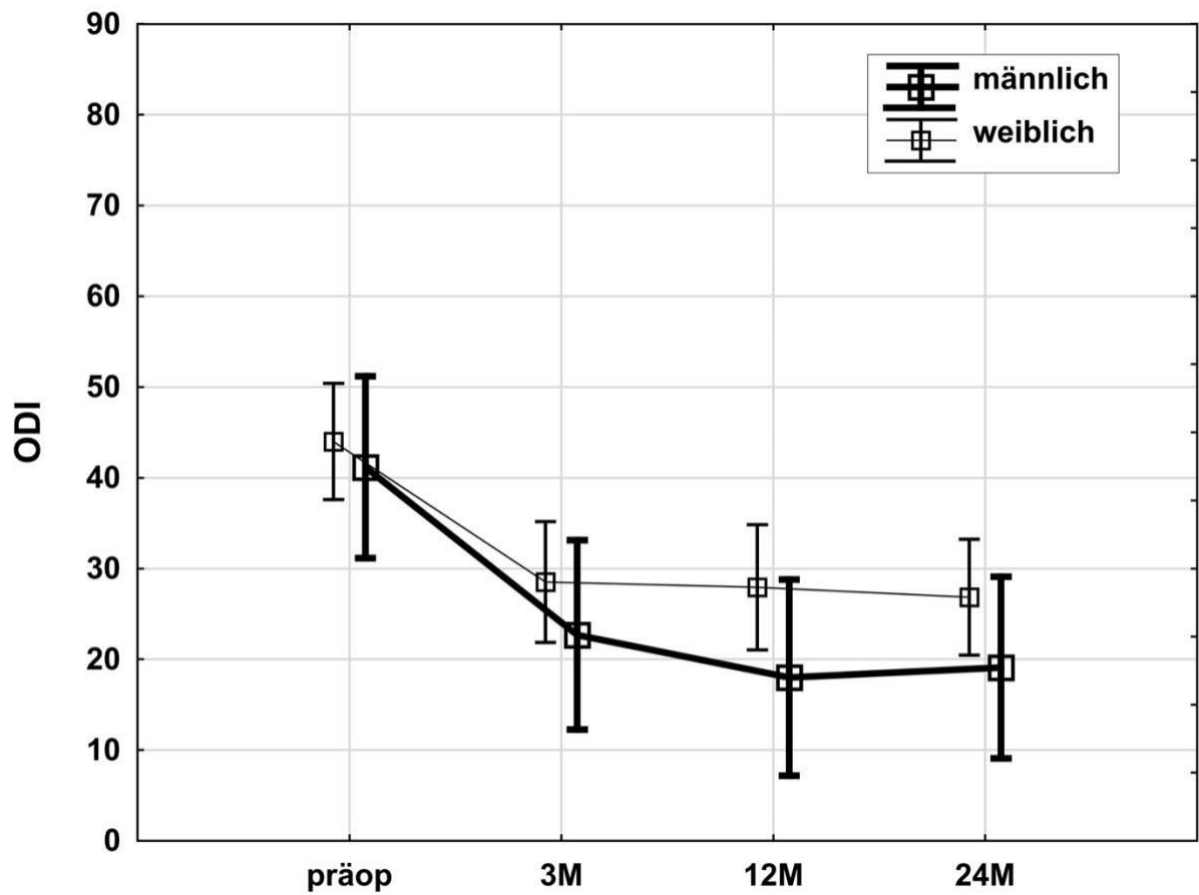


Abbildung 14 Entwicklung ODI über den Untersuchungszeitraum, differenziert nach Geschlecht mit Mittelwerten und Konfidenzintervall.

### 3.2.3.2 Einfluss des Geschlechts auf EQ5D

Signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede in Bezug auf den EQ5D ergeben sich nicht.

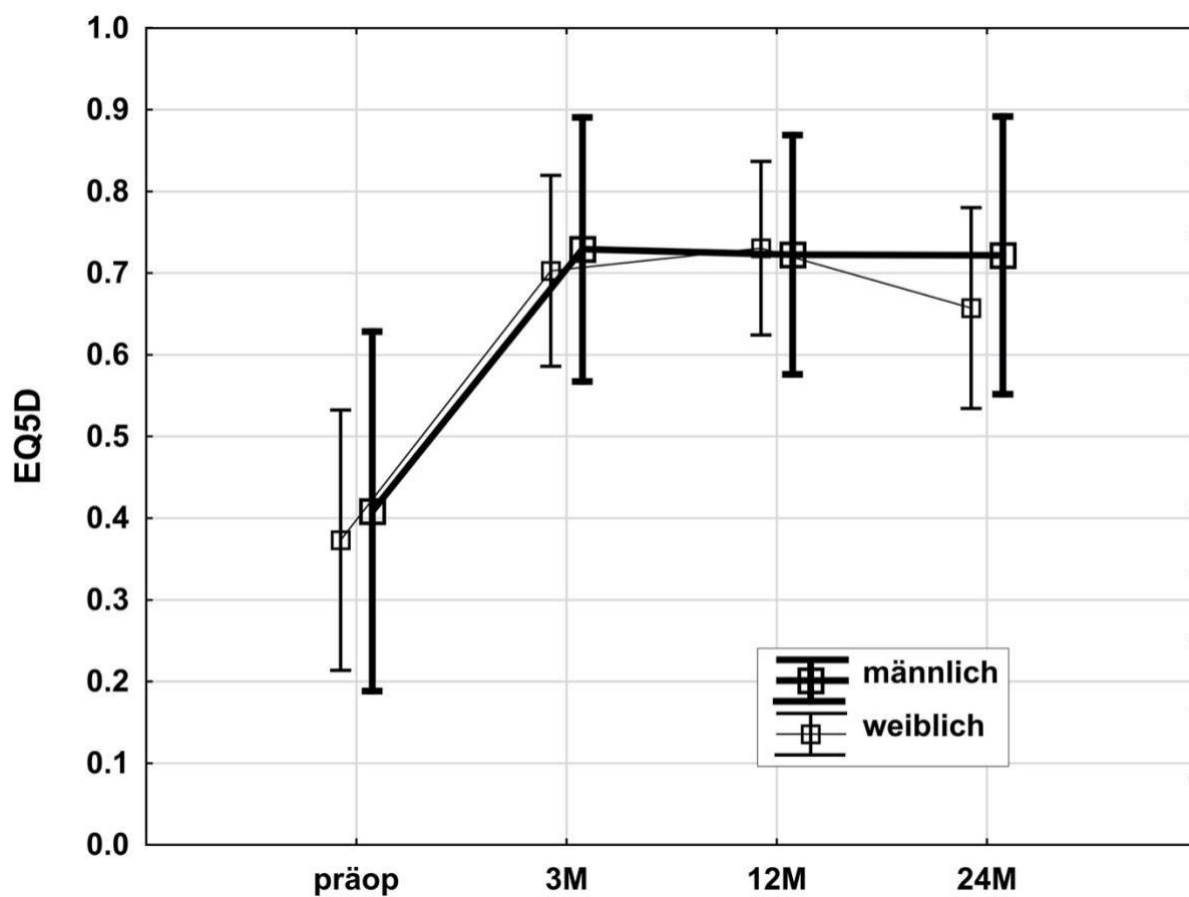


Abbildung 15 Entwicklung EQ5D über den Untersuchungszeitraum, differenziert nach Geschlecht mit Mittelwerten und Konfidenzintervall.

### 3.2.3.3 Einfluss des Geschlechts auf VAS Rückenschmerz

Signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede in Bezug auf den VAS Rückenschmerz ergaben sich nicht.

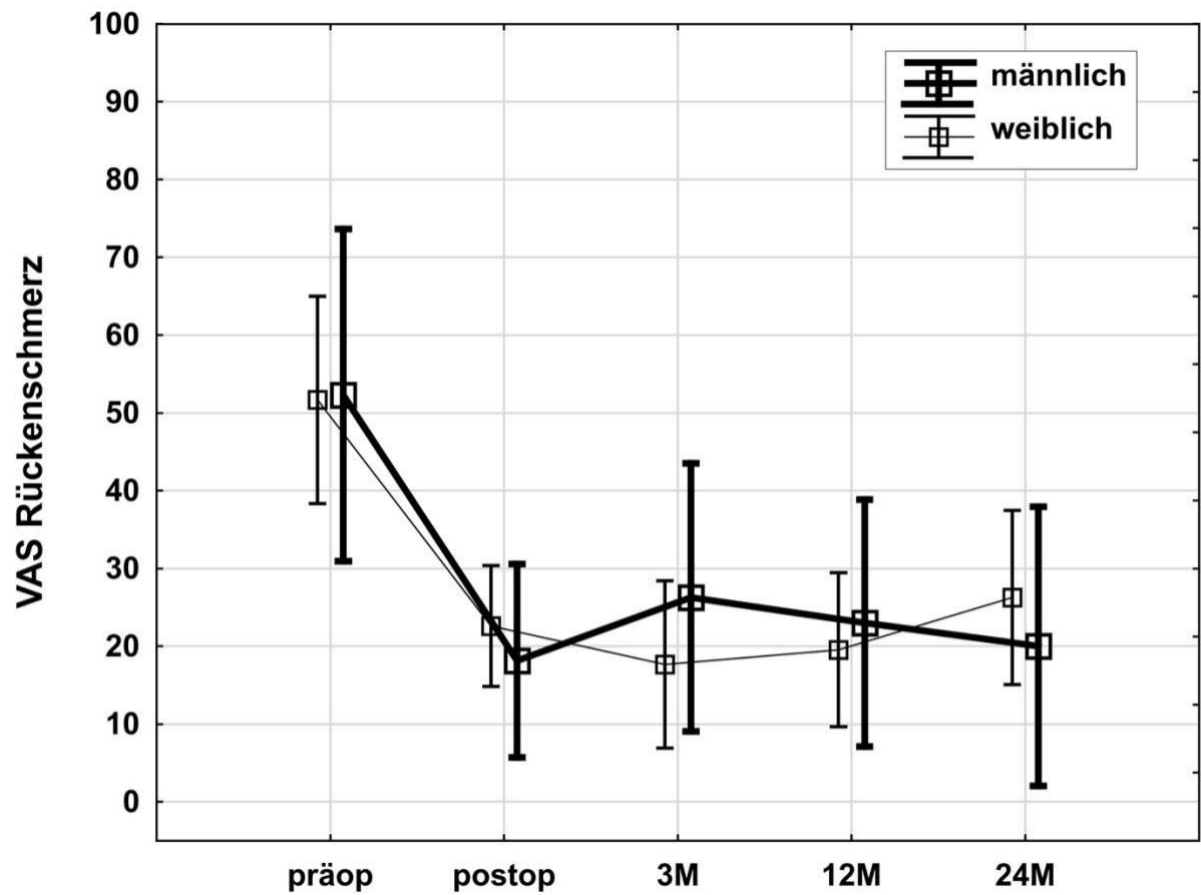


Abbildung 16 Entwicklung VAS Rückenschmerz über den Untersuchungszeitraum, differenziert nach Geschlecht mit Mittelwerten und Konfidenzintervall.

### 3.2.3.4 Einfluss des Geschlechts auf VAS Beinschmerz

Signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede in Bezug auf VAS Beinschmerz ergaben sich nicht.

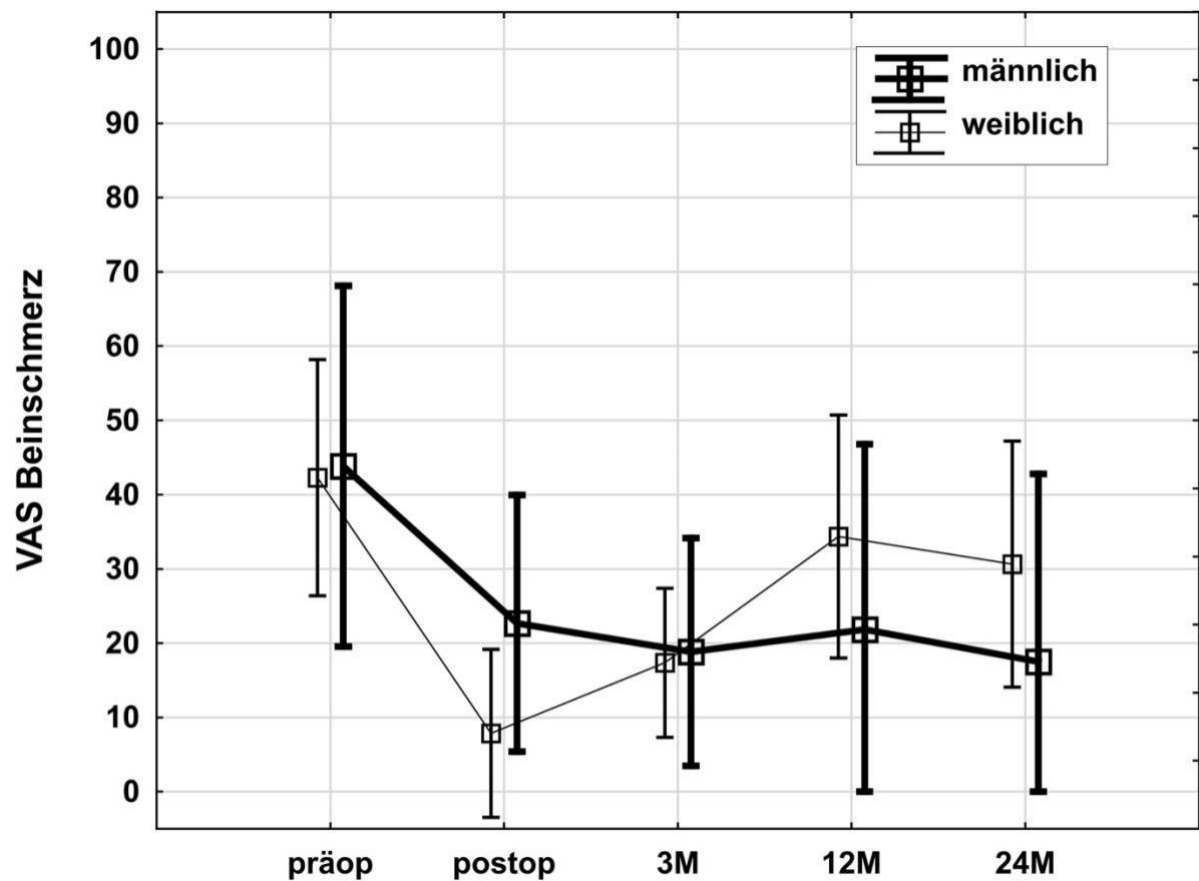


Abbildung 17 Entwicklung VAS Beinschmerz über den Untersuchungszeitraum, differenziert nach Geschlecht mit Mittelwerten und Konfidenzintervall.

### 3.3 Perioperative Komplikationen

Perioperative Komplikationen traten bei 17 Patienten auf.

Bei acht Patienten trat ein Wundinfekt auf, der chirurgisch saniert werden musste. Zwei der Patienten beklagten postoperativ fortbestehende oder neu aufgetretene radikuläre Beinschmerzen, die eine Nachdekompression zur Folge hatten. Ein revisionsbedürftiges Hämatom fand sich bei zwei Patienten. Manifeste neurologische Komplikationen traten bei zwei der Fälle in Form einer Fußheberparese auf, die mit dem erwähnten Hämatom in Verbindung stand. Ebenfalls bei zwei aller operierten Patienten wurde eine Pedikelfraktur diagnostiziert, die eine Verlängerung der Instrumentationsspondylodese um ein Segment zur Folge hatte.

Bei einer der Operationen kam es zu einer iatrogenen akzidentiellen Duraläsion, die direkt chirurgisch versorgt wurde (Primäre Naht und Patchversorgung).

Im Rahmen der postoperativen konventionellen radiologischen Kontrolle war keine relevante Schraubenfehlage erkennbar.

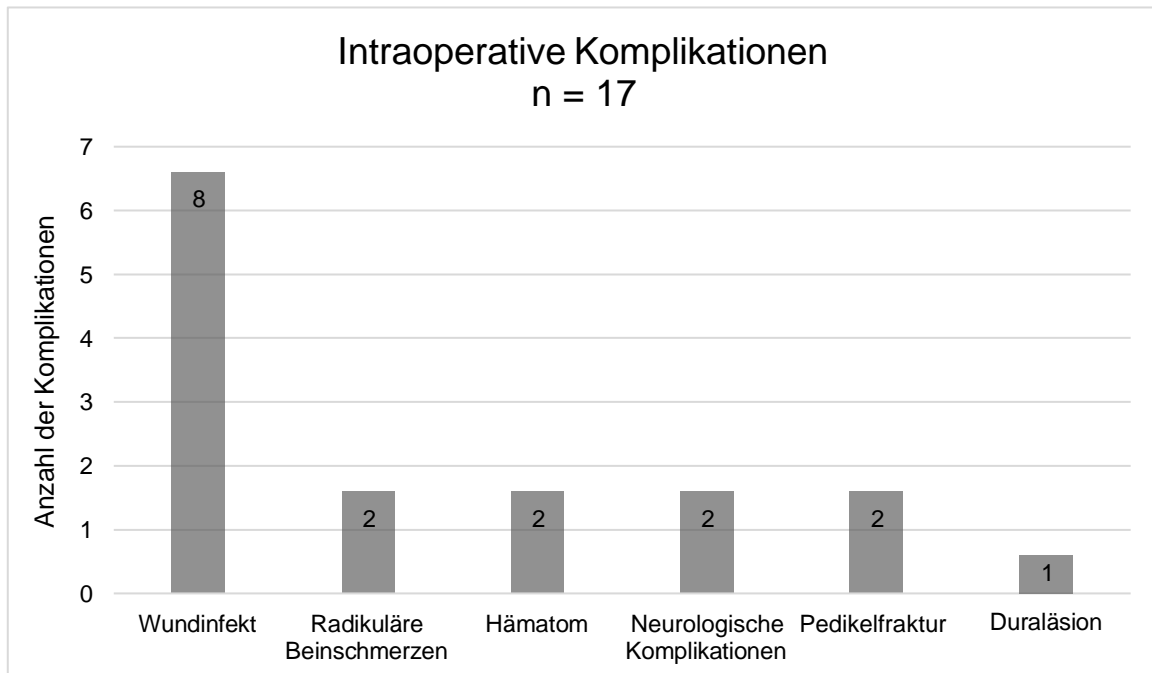


Abbildung 18 Häufigkeit der intraoperativen Komplikationen

### 3.4 Radiologisches Outcome

#### 3.4.1 Lordoskorrektur

Die durchschnittliche Lordose im Segment L4/5 betrug präoperativ  $21,0 \pm 7,2^\circ$ , postoperativ hingegen  $25,8 \pm 6,0^\circ$ .

Die Gesamtlordose L1-S1 betrug präoperativ im Mittel  $50,4 \pm 11,9^\circ$  und postoperativ  $52,0 \pm 9,7^\circ$ .

Es zeigt sich somit ein statistisch signifikanter segmentaler Lordosegewinn L4/5 von  $4,9 \pm 5,7^\circ$  ( $p < 0,01$ ), wohingegen sich bei der Gesamtlordose L1-S1 mit  $1,6 \pm 8,0^\circ$  ( $p = 0,3$ ) keine signifikante Veränderung im Vergleich prä- zu postoperativ verzeichnen ließ.

			Präop.	Postop.	Korrelation (postop. gegenüber präop.)	p-Wert (präop. vs. postop.)
<b>Gesamtes Kollektiv n = 121</b>	Lordose L1- S1 [°]	MW	50,4	52,0	1,6	0,3
		SD	11,9	9,7	8,0	
	Lordose L4/5 [°]	MW	21,0	25,8	4,8	<b>&lt; 0,01</b>
		SD	7,2	6,0	5,7	

Abbildung 19 Vergleich der gemessenen Lordose im Gesamtkollektiv. MW = Mittelwert, SD = Standard Abweichung, **fett** gedruckt die statistisch signifikanten Werte (Signifikanzniveau  $< 0,01$ )

Bei Betrachtung der Verteilung der absoluten individuellen Lordoskorrektur im Gesamtkollektiv zeigt sich eine erhebliche Streuung der Werte. Bei 30 Patienten (25% des Gesamtkollektivs) wurde postoperativ ein relativer Lordoseverlust ( $\text{Korrektur}_{L4/5} \leq 0^\circ$ ) festgestellt. Hier ergibt die Korrelationsfunktion der präoperativen Lordose und der Lordoskorrektur L4/5 einen Korrelations- Koeffizienten von  $r = -0,6$ .

## Grad der Korrektur L4/5 pro Patient

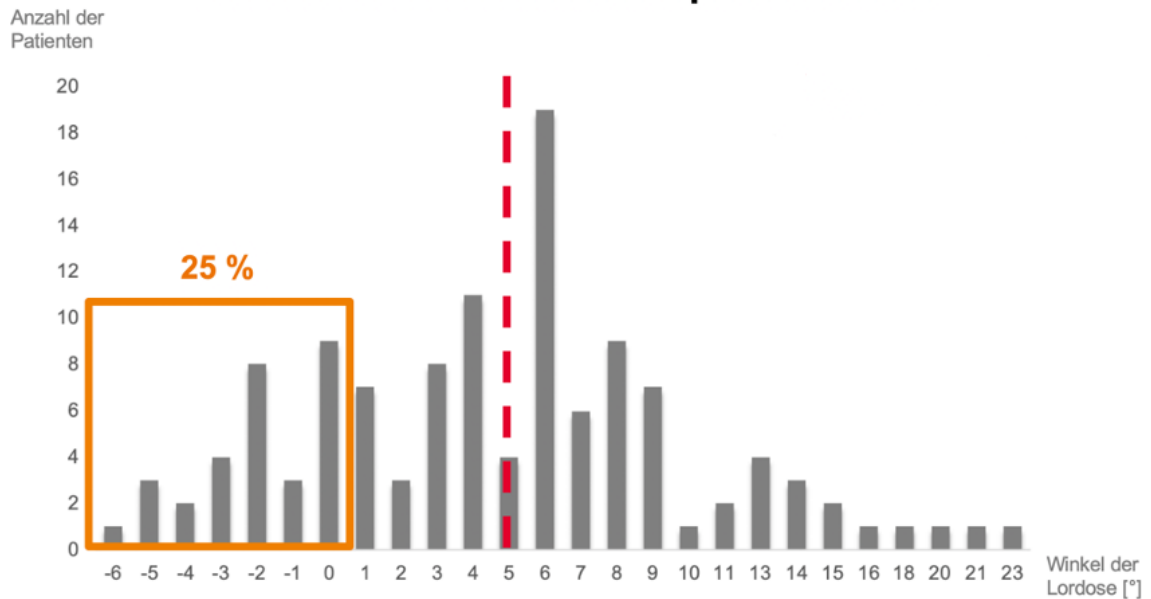


Abbildung 20 Verteilung der Lordosekorrektur L4/5 [°] . Die gestrichelte Linie verdeutlicht den Mittelwert der Lordosekorrektur von  $4,8 \pm 5,7^\circ$

Anhand der Korrekturwerte der Lordose prä- zu postoperativ kristallisierten sich zwei Gruppen heraus:

30 Patienten mit postoperativem Lordoseverlust (-L) ( $\text{Korrektur}_{L4/5} \leq 0^\circ$ ) und 91 Patienten mit Lordosegewinn (+L) ( $\text{Korrektur}_{L4/5} > 0^\circ$ ). Die Patienten in der -L Gruppe hatten im Mittel einen Lordoseverlust von  $-2 \pm 1,8^\circ$ , die Patienten in der +L Gruppe im Mittel einen Lordosegewinn von  $7,1 \pm 4,6^\circ$ .

In der näheren Evaluation der +L- und -L- Gruppe zeigte sich überraschenderweise ein signifikant unterschiedlicher präoperativer Lordosewinkel. ( $p < 0,01$ ).

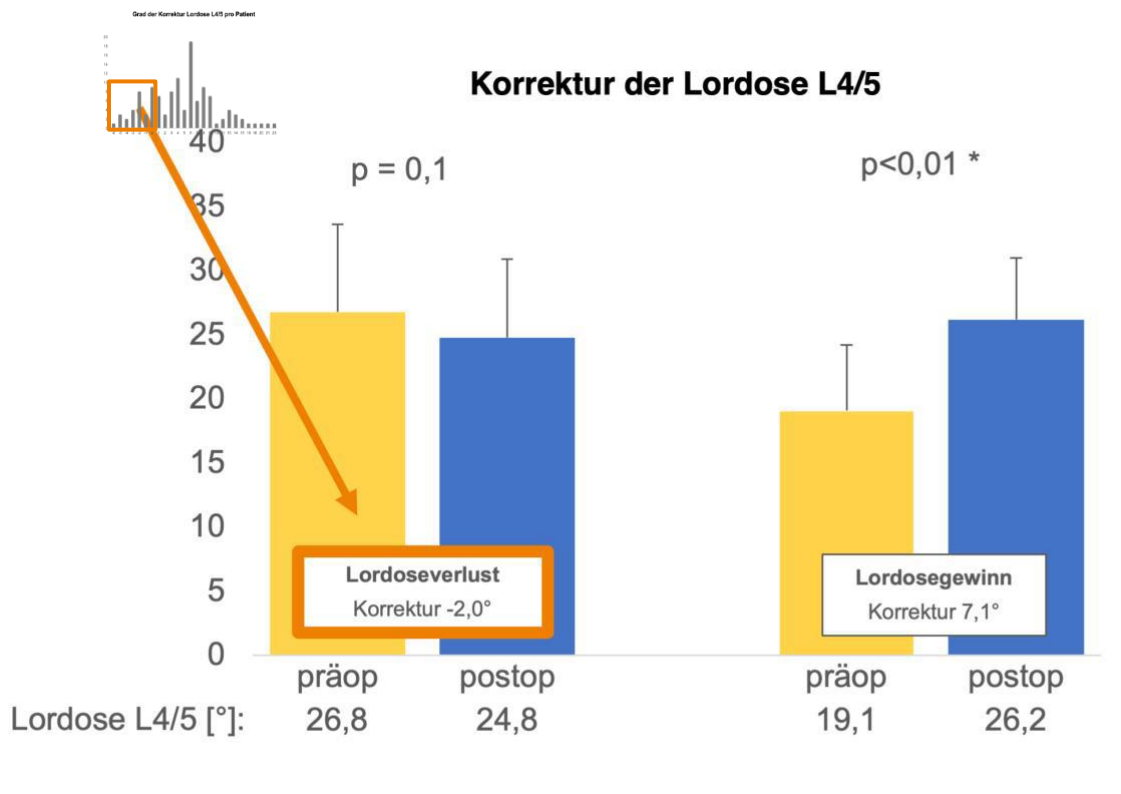


Abbildung 21 Gruppen unterteilt nach Lordosekorrektur: Patienten mit Lordoseverlust **-L** nach TLIF L4/5 (n=30), Patienten mit Lordosegewinn **+L** (n=91). Gelb: Mittelwert der Lordose L4/5 präoperativ; Blau: Mittelwert der Lordose L4/5 postoperativ. Statistische Unterschiede sind mit entsprechenden p-Werten versehen. Statistisch signifikante Werte sind mit \* gekennzeichnet (Signifikanzniveau  $\alpha=0,05$ )

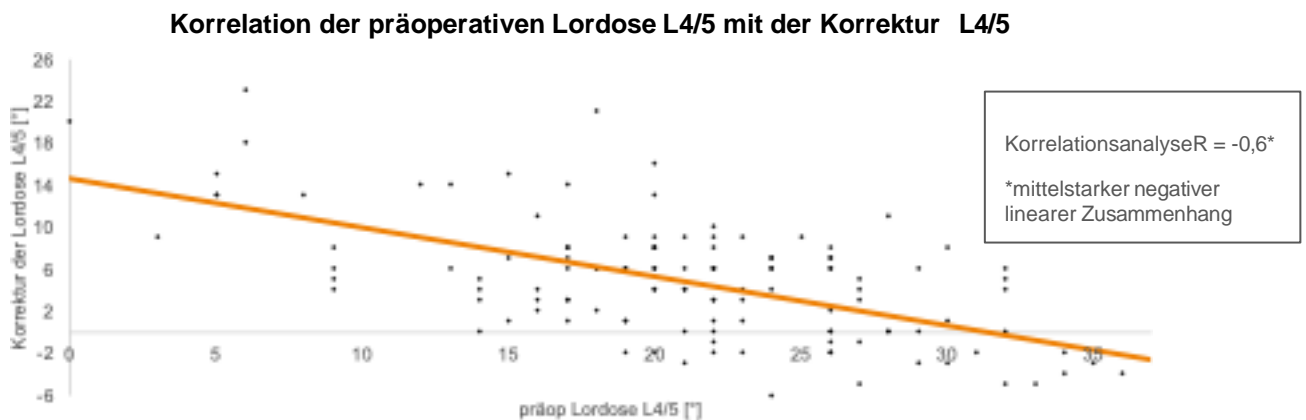


Abbildung 22 Korrelation der präoperativen Lordose L4/5 [°] mit der Lordosekorrektur L4/5 [°]

Bei Betrachtung der Verteilungsmuster der präoperativen Lordose beider Gruppen (+L vs. -L), abhängig von der erzielten Lordoskorrektur, ist zu erkennen, dass bei einem präoperativen Lordosewinkel  $\geq 23^\circ$  und Verwendung des o.g. operativen Verfahrens mit einem  $10^\circ$ - Cage die Häufigkeit eines postoperativen Lordoseverlustes ( $\leq 0^\circ$ ) zunimmt. Entsprechend ist ein statistischer Zusammenhang zwischen der präoperativen segmentalen Lordose und einem intraoperativen Lordosegewinn gegeben.

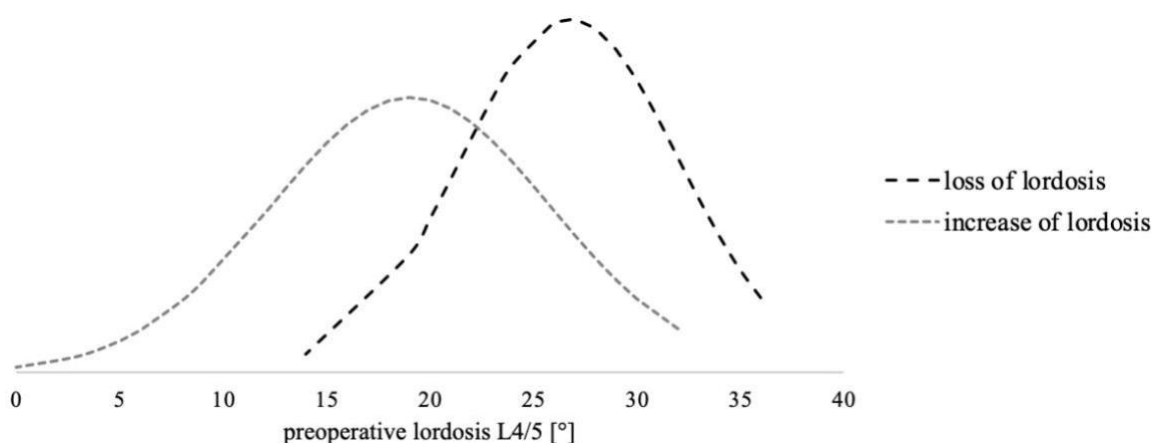


Abbildung 23 Verteilungskurve der präoperativen Lordose. Bei einer präoperativen Lordose L4/5 von  $\geq 23^\circ$  nimmt die Wahrscheinlichkeit eines Lordoseverlustes ( $\leq 0^\circ$ ) durch eine TLIF-Operation mit  $10^\circ$  Cage zu.

Im radiologischen follow-up der Patienten zeigte sich eine Lordoskorrektur von präoperativ im Mittel  $20,1 \pm 7,4^\circ$  auf postoperativ  $25,4 \pm 5,9^\circ$ . Die segmentale Lordose verbesserte sich von prä- zu postoperativ um  $5,4 \pm 5,4^\circ$  (Korrektur<sub>L4/5</sub>), was statistisch signifikant war ( $p < 0,01$ ).

Im Vergleich postoperativ zum 2 Jahres follow up ergab sich ein geringer Lordoseverlust  $1,5 \pm 4,9^\circ$ , jedoch blieb dieser ohne statistische Signifikanz ( $p = 0,2$ ). Die Gesamtlordose L1-S1 erfuhr durch die Operation direkt postoperativ eine geringgradige Korrektur von  $1,0 \pm 7,0^\circ$ , die nicht signifikant war. ( $p = 0,6$ ).

Im Langzeitergebnis nach 2 Jahren betrug die Korrektur der Gesamtlordose im Vergleich zu den postoperativen Werten  $-0,4^\circ$ , was ebenfalls nicht signifikant war ( $p=0,9$ )

			Prä- operativ	Post- operativ	Korrektur (post vs prä)	p-Wert (prä vs. post)	2JFU	Korrektur (2JFU vs post)	p- Wert (2JFU vs. post)
Follow- up (n=50)	Lordose	MW	46,7	49,7	1,0	0,6	49,3	-0,4	0,9
	L1-S1 [°]	SD	12,2	10,0	7,1		13,4	9,5	
	Lordose	MW	20,1	25,4	5,4	<b>&lt;0,01</b>	23,9	-1,5	0,2
	L4/5 [°]	SD	7,4	5,9	5,4		6,5	4,9	

Abbildung 24 Vergleich der gemessenen Lordose im follow-up Kollektiv nach 12 Monaten (2JFU)  
MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, **fett** gedruckt die statistisch signifikanten Werte  
(Signifikanzniveau  $\alpha=0,05$ )

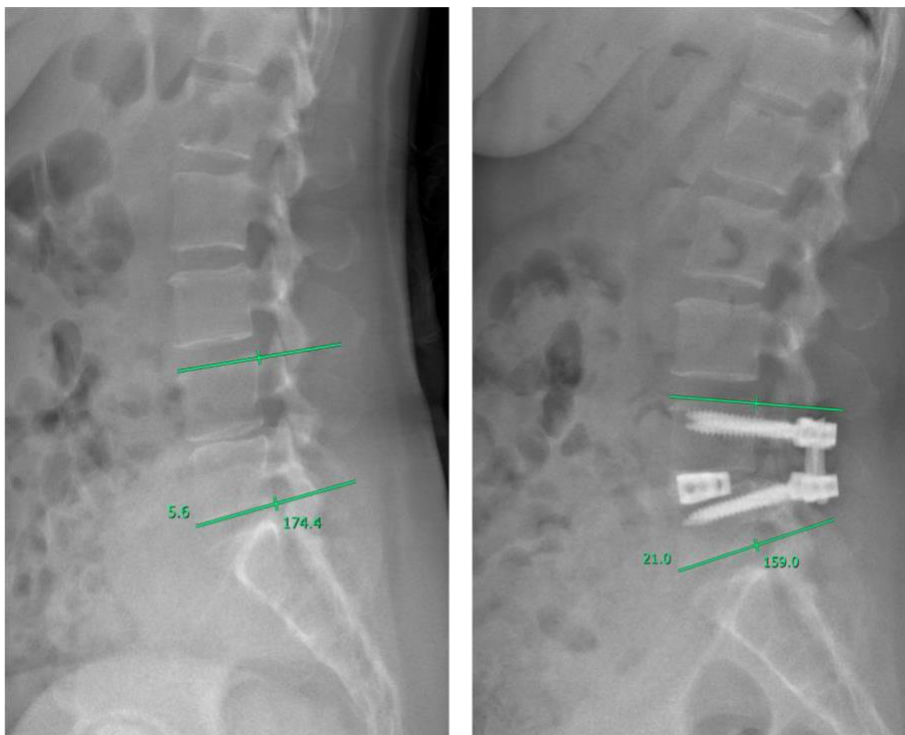


Abbildung 25 Röntgen der LWS in seitlicher Projektion. Links: gemessene Lordose im Segment L4/5, rechts nach operativer Versorgung

## 4 Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurde ein sehr homogenes Kollektiv von Patienten untersucht, die sich einer lumbalen Fusionsoperation auf Höhe L4/5 unterzogen. Alle Patienten erhielten in diesem Segment neben der dorsal instrumentierten Spondylodese eine interkorporelle Abstützung in TLIF-Technik mit einem 10° Cage. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit dieser OP-Technik eine klinische Verbesserung erzielt werden konnte, die auch über einen Zeitraum von 2 Jahren bestehen bleibt, was den Ergebnissen vorangegangener Arbeiten entspricht (Quante u. a. 2012; Kim u. a. 2010; Ajiboye u. a. 2018).

Im Rahmen der klinischen Evaluation konnte sowohl eine Schmerzreduktion als auch der Verbesserung der Lebensqualität gezeigt werden. Die Einschränkungen im ODI von präoperativ Gruppe III auf postoperativ Gruppe II entsprechen einer Lebensqualitätsverbesserung von „schwerwiegenden Einschränkungen“ zu „moderaten Einschränkungen“ (Fairbank und Pynsent 2000). Insgesamt konnten Patienten mit einem niedrigen BMI (<30) deutlich besser profitieren, was sich mit der Studienlage deckt (Goh u. a. 2019; Gokcen und Ozturk 2018).

Überraschenderweise konnte allerdings nur für den ODI und den VAS Rückenschmerz eine signifikante Korrelation zum BMI nachgewiesen werden, ein Zusammenhang mit dem Beinschmerz ergab sich nicht eindeutig, wobei nach 12 Monaten eine negative Korrelation zu sehen war. Dies deckt sich mit Ergebnissen einer Metaanalyse von Weinstein et al von 2014, welche Ergebnisse nach Dekompressionen und Fusionen bei normalgewichtigen, übergewichtigen und extrem übergewichtigen Patienten verglichen und nur in den ersten Monaten einen positiven Effekt bei den Patienten mit einem BMI >30 bestätigen konnten.

Hier muss jedoch zusätzlich auch die Tatsache diskutiert werden, dass der Ausgangs-ODI bei den übergewichtigen Patienten bereits erhöht war, was sich wiederum mit der Literatur deckt.

Insgesamt zeichnet sich in der Literatur ein Trend zur operativen Versorgung von Patienten mit lumbalen Schmerzen bei einem ODI von >40 ab.

Sharma et al wiederum zeigten in einer aktuellen Studie aus 2021, dass der BMI keinen negativen Einfluss auf das klinische Outcome nach minimalinvasivem TLIF

hat (Sharma 2021). Inwieweit diese Ergebnisse auf die OP- Technik zurückzuführen sind, bleibt Gegenstand weiterer Untersuchungen.

Nikotinkonsum verblieb in unserer Studie ohne signifikante Auswirkungen auf ODI, EQ5, Rücken- und Beinschmerz, wobei auch hier eine Tendenz zu einem schlechteren Ergebnis zu sehen waren. Dies würde die 2011 von Sanden et al. durchgeführte Studie unterstützen, welche ein schlechteres 2 Jahres- Outcome bei Rauchern aufzeigen konnte (Sandén, Försth, und Michaëlsson 2011). Im Gegensatz hierzu konnten Gatot et al in einer kürzlich veröffentlichten Studie nachweisen, dass Rauchen keinen negativen Prädiktionsfaktor für TLIF Operationen darstellt, da auch nach 2 Jahren Patientenzufriedenheit, funktionelles und radiologisches Outcome ohne signifikanten Unterschied zur nicht rauchenden Patientengruppe blieb (Gatot u. a. 2022).

Insgesamt erscheint Rauchen wie auch Übergewicht mit einer erhöhten Gefahr an peri- und postoperativen Komplikationen wie Wundinfekten, Wundheilungsstörungen und Pseudarthrosen einherzugehen, jedoch keinen unmittelbaren Einfluss auf die messbare Patientenzufriedenheit zu haben (Berman u. a. 2017; Khurana 2021).

Geschlechtsspezifische Unterschiede konnten in keinem der untersuchten Parametern nachgewiesen werden, was der Studienlage entspricht (Schoenfeld u. a. 2015; Lim u. a. 2020).

Seit Einführung der TLIF- Technik im Jahr 1982 wurde der TLIF, insbesondere auch in der minimal-invasiven Form, aufgrund seiner limitierten Lordosierungsfähigkeit bzw. partiell kyphosierenden Eigenschaften in Frage gestellt. Kausal wurden die beschriebenen Einschränkungen unter anderem mit der Lagerung, variablen Operationstechniken und unterschiedlichen Cage-Designs in Verbindung gebracht (Carlson et al., 2019; Chang et al., 2020), konnten jedoch nie eindeutig bestätigt werden. Im Gegensatz konnte in multiplen Studien gezeigt werden, dass die Technik in adäquater Ausführung, unabhängig von der Art der Operationsdurchführung (MIS oder offene Technik) vor allem segmental eine Lordoseverbesserung bewirken kann (Dibble et al., 2022; Hammad, Wirries, Ardeshiri, Nikiforov, & Geiger, 2019; Jagannathan, Sansur, Oskouian, Fu, & Shaffrey, 2009; Le et al., 2021).

Im Rahmen der zunehmenden Beachtung der spinopelvinen Parameter sowie des sagittalen Alignments geriet die postoperative Lordoskorrektur bei Fusionsoperationen weiter in den Fokus. Während Kim et al. 2009 bei gleicher OP Technik zunächst einen möglichen Lordosegewinn von 1,9° (Kim u. a. 2009) und in einer weiteren Studie 2010 2,5° (Kim u. a. 2010) postulierten, beschrieben Dorward et al. 2013 einen Lordoseverlust von 1,6°. (Dorward u. a. 2013) durch die TLIF-Fusion.

Die in unserem Kollektiv erhobene durchschnittliche Lordoskorrektur von +4,8° ist im Vergleich zu den meisten existenten Studien signifikant höher. (Kim u. a. 2010; Dorward u. a. 2013; Carlson u. a. 2019; Dibble u. a. 2022). Allein in einer Metaanalyse von Uribe et al 2016 finden sich ähnliche Ergebnisse bei Verwendung eines MIS-TLIF mit einem mittleren Lordosegewinn von ca. 4°.

Die positiven Ergebnisse unserer Arbeitsgruppe sind bei Verwendung identischer Cages (10°) aus unserer Sicht durch die modifizierte Operationstechnik mit beidseitiger Eröffnung der Facetten und Kombination mit einer bilateralen Schwab 2- Osteotomie bedingt.

Dies wird durch Studien bestätigt, die nachwiesen, dass vor allem durch die operative Technik eine segmentale Re-Lordosierung zu erreichen ist und nicht durch eine Veränderung des Cagedesigns oder der – höhe (Walter u. a. 2021; DiMaria u. a. 2022).

Nahezu deckungsgleich mit der Literatur zeigten sich unsere Daten für die geringere Auswirkung der Korrektur auf die Gesamtlordose der Lendenwirbelsäule (Kim u. a. 2010; Dorward u. a. 2013).

Die Schwäche aller genannten Studien besteht darin, dass lediglich die Mittelwerte der Lordoskorrektur betrachtet wurden. Eine genauere Analyse von Prädiktoren der Lordoskorrektur erschien aber aufgrund klinischer Erfahrungen mit hoher Variabilität des Lordosierungspotentials bedeutsam.

Die Erkenntnis, dass das segmentale Potential zur Lordosierung maßgeblich von der segmentalen Ausgangslordose abhängt, ist insofern neu.

Spezifisch konnte in unserem Kollektiv bei 75% der Patienten neben der Höhenrekonstruktion und Reposition des Wirbelgleitens eine Lordoskorrektur im Indexsegment erreicht werden. Der Einfluß auf die Gesamtlordose ist aufgrund von Kompensationsmechanismen jedoch nicht abzuschätzen, da eine segmentale

Fehlstellung durch eine Kompensation der übrigen lumbalen Segmente ausgeglichen wird. Folge ist eine erhaltene Gesamtlordose bei potentiell beschleunigter Degeneration der Anschlußsegmente.

Entsprechend besteht kein nennenswerter Einfluss der monosegmentalen Korrektur auf die Gesamtlordose. Bei genauerer Evaluation der Patienten mit segmentalem Lordoseverlust zeigte sich, dass alle Patienten präoperativ eine segmentale Lordose von  $> 23^\circ$  aufwiesen.

Somit kann postuliert werden, dass bei einer präoperativ bestehenden segmentalen Lordose von mehr als  $23^\circ$  auch durch eine Operation mit einem  $10^\circ$  Cage und Kombination mit einer bilateralen Schwab 2 Osteotomie nicht mehr mit einem Lordosegewinn gerechnet werden kann.

In einer kürzlich publizierten Studie von Kim et al. wurde eine ähnliche Beobachtung beim MIS- TLIF beschrieben. Auch hier zeigte sich in der Gruppe mit postoperativ segmentalem Lordoseverlust eine präoperativ höhere segmentale Lordose als in der Vergleichsgruppe mit Lordosegewinn (Kim, Hahn, & Park, 2022).

Die Kollegen konnten diese Ergebnisse entsprechend vor allem im Segment L4/5 und weniger im Segment L3/4 bestätigen. Dies wird wiederum von der Studie von Ricciardi gestützt, welche ebenso eine höhere präoperative segmentale Lordose L4/5 als L3/4 feststellen konnten (Ricciardi et al., 2018).

Im Rahmen dieser Erkenntnisse bleibt jedoch zu diskutieren, dass die Lordose sowie deren Apex bei jedem Patienten individuell ist. Roussouly beschrieb 2005 4 Lordose-Typen. Bei Typ 1 liegt der Lordoseapex auf Höhe des Wirbels L5. Die distale Lordose ist minimal und der sacral slope nahezu horizontal. Bei Typ 2 ist der Apex an der Grundplatte von LWK 4 lokalisiert. Die distale Lordose ist flach, der Umschlagspunkt jedoch höher und weiter anterior, so dass die Anzahl an lordotisch eingestellten Wirbelkörpern erhöht ist. Der Apex von Typ 3 liegt auf Höhe des Wirbelkörpers LWK 4, so dass die distale Lordose prominenter wird. Der Umschlagspunkt liegt bereits deutlich kranialer auf Höhe des thorakolumbalen Übergangs. Typ 4 ist gekennzeichnet durch einen Apex auf Höhe der Grundplatte LWK 3 und eine ausgeprägte distale Lordose. Häufig sind mehr als 5 Wirbel lordotisch eingestellt.

Dies bedeutet, dass umso mehr Sorgfalt auf die präoperative Evaluation der segmentalen Lordose, des Lordoseapex sowie der Gesamtlordose und des

globalen Alignments verwendet werden muss, um ein gutes postoperatives Ergebnis zu erzielen.

In einigen Studien der vergangenen Jahre wurde zudem eine Erhöhung des pelvic tilt im Rahmen des TLIF- Verfahrens diskutiert (Champagne et al., 2019).

Eine Bestätigung dieser Beobachtung war in unserer Studie nicht möglich, da nicht alle Patienten eine EOS- Untersuchung erhielten. Im Rahmen der Möglichkeiten konnten wir jedoch Übereinstimmungen erkennen. Dies wäre ein Ansatz für eine weitere Studie.

Übereinstimmend mit vorliegenden Daten und Studien zeigt dies die große Bedeutung der Berücksichtigung des sagittalen Profiles der gesamten Wirbelsäule (ESSG European Spine Study Group u. a. 2020; Roussouly und Pinheiro-Franco 2011; Passias u. a. 2021; Hong u. a. 2017).

Für die Autoren ergab sich aus den Daten die Konsequenz, dass bei der Wahl der Fusionstechnik (ventrales Vorgehen versus dorsales Vorgehen) die Effekte der segmentalen Lordose noch mehr Bedeutung zugemessen werden muss. Die Operationsplanung findet inzwischen konsequent unter Einbeziehung der Gesamtstatik anhand von Ganzwirbelsäulenröntgenaufnahmen (EOS, (McKenna u. a. 2012)) statt.

Zudem könnte entsprechend unserer initialen Fragestellung bei Patienten mit einer hohen präoperativen segmentalen Lordose ( $>23^\circ$ ) und Lordosescheitel im Indexsegment ein alternatives Vorgehen diskutiert werden. Eine vergleichende Studie der vorliegenden ALIF- und XLIF- Daten eines vergleichbaren Patientengutes unseres Hauses wäre von Interesse, um festzustellen, ob ein ähnlicher Effekt zu verzeichnen ist, da Studien gezeigt haben, dass eine Fusion der Etage L4/5 in ALIF- oder XLIF-Technik ein größeres Lordosierungspotential aufweist (Ajiboye u. a. 2018; Hsieh u. a. 2007; Dorward u. a. 2013).

Identisch zu Hsieh et al sowie anderen Arbeitsgruppen konnten Platz et al. 2021 auch in den hausinternen Ergebnissen nachweisen, dass eine Fusion in ventraler ALIF Technik das größtmögliche Relordosierungspotential hat (Platz u. a. 2021).

Zum Verständnis der Kompensationsmechanismen des sagittalen Profiles bedarf es weiterer Studien. Besonders der Einfluß einer monosegmentalen Fusion auf das

sagittale Profil und die Auswirkungen auf die patientenspezifischen Outcomeparameter der Wirbelsäule wird Gegenstand weiterer Untersuchungen sein, konnte doch jüngst eine retrospektive Kohortenstudie von Karamian (Karamian u. a. 2022) nachweisen, dass die Patientenzufriedenheit postoperativ nicht mit einem Lordosegewinn oder -verlust korreliert.

## 5 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde das klinische und radiologische Outcome bei Patienten untersucht, die sich einer lumbalen Fusionsoperation L4/5 in TLIF – Technik unterzogen haben. Zusätzlich wurde der Einfluß patientenspezifischer Risikofaktoren auf das Operationsergebnis untersucht.

Die 121 Patienten wurden zu definierten Zeiträumen im Mittel bis zu 24 Monaten anhand standardisierter medizinischer Fragebögen befragt und röntgenologisch nachuntersucht.

Als wesentliche Ergebnisse bleiben festzuhalten:

Die Auswertung der radiologischen Parameter ergab, dass bei einer präoperativ erhöhten segmentalen Lordose L4/5 von mehr als 23° in TLIF Technik und einem 10° Cage kein Lordosegewinn zu erzielen ist, sondern sich sogar ein segmentaler Lordoseverlust einstellt. Infolge dessen werden in unserer Klinik im Rahmen der präoperativen Planung neben der segmentalen Lordose die Gesamtstatik der Wirbelsäule bedacht, um für diese Patienten ggf. andere Fusionstechniken mit mehr segmentalem Lordosepotential in Betracht zu ziehen.

Risikofaktoren wie erhöhter BMI und Nikotinkonsum blieben in unseren Untersuchungen ohne negativen Einfluss auf das patientenspezifische Outcome. Geschlechtsspezifische Unterschiede zeigten sich nicht.

Die TLIF Technik stellt ein geeignetes Verfahren dar, die monosegmentale degenerative Spondylolisthese sowie die Osteochondrose mit begleitender hypertropher Spondylarthropathie und Spinalkanalstenose der Etage L4/5 zu versorgen und eine signifikante klinische Verbesserung auch über einen 24-monatigen Zeitraum zu gewährleisten.

In Anbetracht der hochsignifikanten Verbesserung von ODI, EQ5 und VAS zu allen Nachuntersuchungszeitpunkten besteht keine Korrelation zwischen einer suboptimalen sagittalen Korrektur des Indexsegmentes und dem klinischen Ergebnis. Eine möglicherweise im Verlauf auftretende Anschlußsegmentdegeneration wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht.

## 6 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

### 6.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Beispielhafte radiologische Indikation einer Osteochondrose im MRT (links) und Röntgen (rechts) .....	3
Abbildung 2 Entwicklung ODI über den Untersuchungszeitraum mit Mittelwerten, Konfidenzintervall sowie Signifikanzen (*).....	15
Abbildung 3 Entwicklung EQ5D über den Untersuchungszeitraum mit Mittelwerten, Konfidenzintervall sowie Signifikanzen (*).....	16
Abbildung 4 Entwicklung VAS Rückenschmerz über den Untersuchungszeitraum mit Mittelwerten, Konfidenzintervall sowie Signifikanzen (*) .....	17
Abbildung 5 Entwicklung VAS Beinschmerz über den Untersuchungszeitraum mit Mittelwerten, Konfidenzintervall sowie Signifikanzen (*) .....	18
Abbildung 6 Entwicklung ODI über den Untersuchungszeitraum, differenziert nach BMI> 30 und BMI< 30 mit Mittelwerten, Konfidenzintervall sowie Signifikanzen (*).....	19
Abbildung 7 Entwicklung EQ5D über den Untersuchungszeitraum, differenziert nach BMI> 30 und BMI< 30 mit Mittelwerten und Konfidenzintervall .....	20
Abbildung 8 Entwicklung VAS Rückenschmerz über den Untersuchungszeitraum, differenziert nach BMI> 30 und BMI< 30 mit Mittelwerten, Konfidenzintervall sowie Signifikanzen (*).....	21
Abbildung 9 Entwicklung VAS Beinschmerz über den Untersuchungszeitraum, differenziert nach BMI> 30 und BMI< 30 mit Mittelwerten und Konfidenzintervall.....	22
Abbildung 10 Entwicklung ODI über den Untersuchungszeitraum, differenziert nach Nichtraucher und Raucher mit Mittelwerten und Konfidenzintervall.....	23
Abbildung 11 Entwicklung EQ5D über den Untersuchungszeitraum, differenziert nach Nichtraucher und Raucher mit Mittelwerten und Konfidenzintervall.....	24

Abbildung 12 Entwicklung VAS Rückenschmerz über den Untersuchungszeitraum, differenziert nach Nichtraucher und Raucher mit Mittelwerten und Konfidenzintervall.....	25
Abbildung 13 Entwicklung Beinschmerz über den Untersuchungszeitraum, differenziert nach Nichtraucher und Raucher mit Mittelwerten und Konfidenzintervall.....	26
Abbildung 14 Entwicklung ODI über den Untersuchungszeitraum, differenziert nach Geschlecht mit Mittelwerten und Konfidenzintervall.....	27
Abbildung 15 Entwicklung EQ5D über den Untersuchungszeitraum, differenziert nach Geschlecht mit Mittelwerten und Konfidenzintervall.....	28
Abbildung 16 Entwicklung VAS Rückenschmerz über den Untersuchungszeitraum, differenziert nach Geschlecht mit Mittelwerten und Konfidenzintervall.....	29
Abbildung 17 Entwicklung VAS Beinschmerz über den Untersuchungszeitraum, differenziert nach Geschlecht mit Mittelwerten und Konfidenzintervall.....	30
Abbildung 18 Häufigkeit der intraoperativen Komplikationen.....	31
Abbildung 19 Vergleich der gemessenen Lordose im Gesamtkollektiv. MW = Mittelwert, SD = Standard Abweichung, <b>fett</b> gedruckt die statistisch signifikanten Werte (Signifikanzniveau <0,01).....	32
Abbildung 20 Verteilung der Lordosekorrektur L4/5 [°] . Die gestrichelte Linie verdeutlicht den Mittelwert der Lordosekorrektur von $4,8 \pm 5,7^\circ$ .....	33
Abbildung 21 Gruppen unterteilt nach Lordosekorrektur: Patienten mit Lordoseverlust <b>-L</b> nach TLIF L4/5 (n=30), Patienten mit Lordosegewinn <b>+L</b> (n=91). Gelb: Mittelwert der Lordose L4/5 präoperativ; Blau: Mittelwert der Lordose L4/5 postoperativ. Statistische Unterschiede sind mit entsprechenden p-Werten versehen. Statistisch signifikante Werte sind mit * gekennzeichnet (Signifikanzniveau $\alpha=0,05$ ).....	34
Abbildung 22 Korrelation der präoperativen Lordose L4/5 [°] mit der Lordosekorrektur L4/5 [°].....	34
Abbildung 23 Verteilungskurve der präoperativen Lordose. Bei einer präoperativen Lordose L4/5 von $\geq 23^\circ$ nimmt die Wahrscheinlichkeit eines Lordoseverlustes ( $\leq 0^\circ$ ) durch eine TLIF-Operation mit $10^\circ$ Cage zu .....	35

Abbildung 24 Vergleich der gemessenen Lordose im follow-up Kollektiv nach 12 Monaten (2jFU) .....	36
Abbildung 25 Röntgen der LWS in seitlicher Projektion. Links: gemessene Lordose im Segment L4/5, rechts nach operativer Versorgung.....	36

## 7 Literaturverzeichnis

Ajiboye, Remi M., Haddy Alas, Gina M. Mosich, Akshay Sharma, und Sina Pourtaheri. 2018. „Radiographic and Clinical Outcomes of Anterior and Transforaminal Lumbar Interbody Fusions: A Systematic Review and Meta-Analysis of Comparative Studies“. *Clinical Spine Surgery* 31 (4): E230–38. <https://doi.org/10.1097/BSD.0000000000000549>.

Akbar, Michael, Jamie Terran, Christopher P. Ames, Virginie Lafage, und Frank Schwab. 2013. „Use of Surgimap Spine in Sagittal Plane Analysis, Osteotomy Planning, and Correction Calculation“. *Neurosurgery Clinics of North America* 24 (2): 163–72. <https://doi.org/10.1016/j.nec.2012.12.007>.

Amorim-Barbosa, Tiago, Catarina Pereira, Diogo Catelas, Cláudia Rodrigues, Paulo Costa, Ricardo Rodrigues-Pinto, und Pedro Neves. 2021. „Risk Factors for Cage Subsidence and Clinical Outcomes after Transforaminal and Posterior Lumbar Interbody Fusion“. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology* 32 (7): 1291–99. <https://doi.org/10.1007/s00590-021-03103-z>.

Banerjee, Srabani, und Charlene Argáez. 2019. *Multidisciplinary Treatment Programs for Patients with Acute or Subacute Pain: A Review of Clinical Effectiveness, Cost-Effectiveness, and Guidelines*. CADTH Rapid Response Reports. Ottawa (ON): Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK546002/>.

Banerjee, Srabani, und Suzanne McCormack. 2019. *Medical Cannabis for the Treatment of Chronic Pain: A Review of Clinical Effectiveness and Guidelines*. CADTH Rapid Response Reports. Ottawa (ON): Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK546424/>.

Berman, Daniel, Jonathan H Oren, John Bendo, und Jeffrey Spivak. 2017. „The Effect of Smoking on Spinal Fusion“. *International Journal of Spine Surgery* 11 (4): 29. <https://doi.org/10.14444/4029>.

Carlson, Brandon B., Philip Saville, James Dowdell, Rie Goto, Avani Vaishnav, Catherine Himo Gang, Steven McAnany, Todd J. Albert, und Sheeraz Qureshi. 2019. „Restoration of

Lumbar Lordosis after Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion: A Systematic Review“. *The Spine Journal* 19 (5): 951–58. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2018.10.017>.

Derman, Peter B., und Todd J. Albert. 2017. „Interbody Fusion Techniques in the Surgical Management of Degenerative Lumbar Spondylolisthesis“. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine* 10 (4): 530–38. <https://doi.org/10.1007/s12178-017-9443-2>.

Dibble, Christopher F., Justin K. Zhang, Jacob K. Greenberg, Saad Javeed, Jawad M. Khalifeh, Deeptee Jain, Ian Dorward, u. a. 2022. „Comparison of local and regional radiographic outcomes in minimally invasive and open TLIF: a propensity score–matched cohort“. *Journal of Neurosurgery: Spine*, März, 1–11. <https://doi.org/10.3171/2022.1.SPINE211254>.

DiMaria, Stephen, Brian A. Karamian, Nicholas Siegel, Mark J. Lambrechts, Lovy Grewal, Hareindra R. Jeyamohan, William A. Robinson, u. a. 2022. „Does Interbody Cage Lordosis and Position Affect Radiographic Outcomes After Single-Level Transforaminal Lumbar Interbody Fusion?“ *Clinical Spine Surgery: A Spine Publication* Publish Ahead of Print (April). <https://doi.org/10.1097/BSD.0000000000001334>.

Dorward, Ian G., Lawrence G. Lenke, Keith H. Bridwell, Patrick T. O’Leary, Geoffrey E. Stoker, Joshua M. Pahys, Matthew M. Kang, Brenda A. Sides, und Linda A. Koester. 2013. „Transforaminal Versus Anterior Lumbar Interbody Fusion in Long Deformity Constructs: A Matched Cohort Analysis“. *Spine* 38 (12): E755–62. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e31828d6ca3>.

ESSG European Spine Study Group, Javier Pizones, Lucía Moreno-Manzanaro, Francisco Javier Sánchez Pérez-Gruoso, Alba Vila-Casademunt, Caglar Yilgor, Ibrahim Obeid, u. a. 2020. „Restoring the Ideal Roussouly Sagittal Profile in Adult Scoliosis Surgery Decreases the Risk of Mechanical Complications“. *European Spine Journal* 29 (1): 54–62. <https://doi.org/10.1007/s00586-019-06176-x>.

Fairbank, Jeremy C. T., und Paul B. Pynsent. 2000. „The Oswestry Disability Index“. *Spine* 25 (22): 2940–53. <https://doi.org/10.1097/00007632-200011150-00017>.

Fei, Qi, Jinjun Li, JiSheng Lin, Dong Li, BingQiang Wang, Hai Meng, Qi Wang, Nan Su, und Yong Yang. 2016. „Risk Factors for Surgical Site Infection After Spinal Surgery: A Meta-Analysis“. *World Neurosurgery* 95 (November): 507–15. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2015.05.059>.

Gatot, Cheryl, Ming Han Lincoln Liow, Graham S. Goh, Niraj Mohan, Chen Jerry Yongqiang, Zhixing Marcus Ling, Reuben C.C. Soh, u. a. 2022. „Smoking Is Associated With Lower Satisfaction in Nondiabetic Patients Undergoing Minimally Invasive Single-Level Transforaminal Lumbar Interbody Fusion“. *Clinical Spine Surgery: A Spine Publication* 35 (1): E19–25. <https://doi.org/10.1097/BSD.0000000000001247>.

Geneen, Louise J., R. Andrew Moore, Clare Clarke, Denis Martin, Lesley A. Colvin, und Blair H. Smith. 2017. „Physical Activity and Exercise for Chronic Pain in Adults: An Overview of Cochrane Reviews“. *The Cochrane Database of Systematic Reviews* 1: CD011279. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011279.pub2>.

Goh, Graham Seow-Hng, Ming Han Lincoln Liow, William Yeo, Zhixing Marcus Ling, Wai Mun Yue, Chang Ming Guo, und Seang Beng Tan. 2019. „The Influence of Body Mass Index on Functional Outcomes, Satisfaction, and Return to Work After Single-Level Minimally-Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion: A Five-Year Follow-up Study“. *SPINE* 44 (11): 809–17. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000002943>.

Gokcen, H. Bahadir, und Cagatay Ozturk. 2018. „Does Obesity Make Transforaminal Lumbar Interbody Fusion More Difficult: A Retrospective Analysis“. *Cureus*, Dezember. <https://doi.org/10.7759/cureus.3762>.

Gum, Jeffrey L., Deepak Reddy, und Steven Glassman. 2016. „Transforaminal Lumbar Interbody Fusion (TLIF)“. *JBJS Essential Surgical Techniques* 6 (2): e22. <https://doi.org/10.2106/JBJS.ST.15.00003>.

Harms, J. G., und D. Jeszenszky. 1998. „[Not Available]“. *Operative Orthopadie Und Traumatologie* 10 (2): 90–102. <https://doi.org/10.1007/s00064-006-0112-7>.

Hong, Taek-Ho, Kyu-Jung Cho, Young-Tae Kim, Jae-Woo Park, Beom-Ho Seo, and Nak-Chul Kim. 2017. „Does Lordotic Angle of Cage Determine Lumbar Lordosis in Lumbar Interbody Fusion?“ *Spine* 42 (13): E775–80. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000001957>.

Hsieh, Patrick C., Tyler R. Koski, Brian A. O’Shaughnessy, Patrick Sugrue, Sean Salehi, Stephen Ondra, and John C. Liu. 2007. „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“. *Journal of Neurosurgery: Spine* 7 (4): 379–86. <https://doi.org/10.3171/SPI-07/10/379>.

Karamian, BrianA, Stephen DiMaria, MarkJ Lambrechts, NicholasD D’Antonio, Andrew Sawires, JoseA Canseco, IDavid Kaye, u. a. 2022. „Does Change in Focal Lordosis after Spinal Fusion Affect Clinical Outcomes in Degenerative Spondylolisthesis?“ *Journal of Craniovertebral Junction and Spine* 13 (2): 127. [https://doi.org/10.4103/jcvjs.jcvjs\\_144\\_21](https://doi.org/10.4103/jcvjs.jcvjs_144_21).

Khurana, Vini G. 2021. „Adverse Impact of Smoking on the Spine and Spinal Surgery“. *Surgical Neurology International* 12 (März): 118. [https://doi.org/10.25259/SNI\\_6\\_2021](https://doi.org/10.25259/SNI_6_2021).

Kim, Jin-Sung, Byung-Uk Kang, Sang-Ho Lee, Byungjoo Jung, Young-Geun Choi, Sang Hyeop Jeon, and Ho Yeon Lee. 2009. „Mini-Transforaminal Lumbar Interbody Fusion Versus Anterior Lumbar Interbody Fusion Augmented by Percutaneous Pedicle Screw Fixation: A Comparison of Surgical Outcomes in Adult Low-Grade Isthmic Spondylolisthesis“. *Journal of Spinal Disorders & Techniques* 22 (2): 114–21. <https://doi.org/10.1097/BSD.0b013e318169bff5>.

Kim, Jin-Sung, Kil-Yong Lee, Sang-Ho Lee, and Ho-Yeon Lee. 2010. „Which lumbar interbody fusion technique is better in terms of level for the treatment of unstable isthmic spondylolisthesis?: Clinical article“. *Journal of Neurosurgery: Spine* 12 (2): 171–77. <https://doi.org/10.3171/2009.9.SPINE09272>.

Lan, Tao, Shi-Yu Hu, Yuan-Tao Zhang, Yu-Chen Zheng, Rui Zhang, Zhe Shen, and Xin-Jian Yang. 2018. „Comparison Between Posterior Lumbar Interbody Fusion and Transforaminal Lumbar Interbody Fusion for the Treatment of Lumbar Degenerative Diseases: A Systematic Review and Meta-Analysis“. *World Neurosurgery* 112 (April): 86–93. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.01.021>.

Langella, Francesco, Jorge H. Villafaña, Marco Damilano, Riccardo Cecchinato, Matteo Pejrona, Maryem Ismael, und Pedro Berjano. 2017. „Predictive Accuracy of Surgimap Surgical Planning for Sagittal Imbalance: A Cohort Study“. *Spine* 42 (22): E1297–1304. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000002230>.

Lee, Dong-Yeong, Young-Jin Park, Sang-Youn Song, Soon-Taek Jeong, und Dong-Hee Kim. 2018. „Risk Factors for Posterior Cage Migration after Lumbar Interbody Fusion Surgery“. *Asian Spine Journal* 12 (1): 59. <https://doi.org/10.4184/asj.2018.12.1.59>.

Lim, Winston Shang Rong, Ming Han Lincoln Liow, Graham Seow-Hng Goh, William Yeo, Zhixing Marcus Ling, Wai-Mun Yue, Chang Ming Guo, und Seang Beng Tan. 2020. „Women Do Not Have Poorer Outcomes After Minimally Invasive Lumbar Fusion Surgery: A Five-Year Follow-Up Study“. *International Journal of Spine Surgery* 14 (5): 756–61. <https://doi.org/10.14444/7108>.

McKenna, C, R Wade, R Faria, H Yang, L Stirk, N Gummerson, M Sculpher, und N Woolacott. 2012. „EOS 2D/3D X-Ray Imaging System: A Systematic Review and Economic Evaluation“. *Health Technology Assessment* 16 (14). <https://doi.org/10.3310/hta16140>.

Palepu, Vivek, Melvin D. Helgeson, Michael Molyneaux-Francis, und Srinidhi Nagaraja. 2019. „The Effects of Bone Microstructure on Subsidence Risk for ALIF, LLIF, PLIF, and TLIF Spine Cages“. *Journal of Biomechanical Engineering* 141 (3): 031002. <https://doi.org/10.1115/1.4042181>.

Pan, Ji-Ming, Long-Guo Wu, Jing-Wei Cai, Li-Ting Wu, und Min Liang. 2019. „Dexamethasone Suppresses Osteogenesis of Osteoblast *via* the PI3K/Akt Signaling Pathway *in Vitro* and *in Vivo*“. *Journal of Receptors and Signal Transduction* 39 (1): 80–86. <https://doi.org/10.1080/10799893.2019.1625061>.

Parker, Scott L, Matthew J McGirt, S Harrison Farber, Anubhav G Amin, Anne-Marie Rick, Ian Suk, Ali Bydon, u. a. 2011. „Accuracy of Free-Hand Pedicle Screws in the Thoracic and Lumbar Spine: Analysis of 6816 Consecutive Screws“. *Neurosurgery* 68 (1): 170–78. <https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e3181fdfaf4>.

Passias, Peter G., Katherine E. Pierce, Tina Raman, Cole Bortz, Haddy Alas, Avery Brown, Waleed Ahmad, u. a. 2021. „Does Matching Roussouly Spinal Shape and Improvement in SRS-Schwab Modifier Contribute to Improved Patient-Reported Outcomes?“ *Spine* 46 (18): 1258–63. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000003999>.

Pisano, Alfred J., Donald R. Fredericks, Theodore Steelman, Cory Riccio, Melvin D. Helgeson, und Scott C. Wagner. 2020. „Lumbar disc height and vertebral Hounsfield units: association with interbody cage subsidence“. *Neurosurgical Focus* 49 (2): E9. <https://doi.org/10.3171/2020.4.FOCUS20286>.

Platz, Uwe, Henry Halm, Björn Thomsen, Ferenc Pecsí, Mark Köszegváry, Nina Bürger, Clara Berlin, und Markus Quante. 2021. „Anterior Lumbar Interbody Fusion (ALIF) or Transforaminal Lumbar Interbody Fusion (TLIF) for Fusion Surgery in L5/S1 – What Is the Best Way to Restore a physiological Alignment?“ *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*, September, a-1560-3106. <https://doi.org/10.1055/a-1560-3106>.

Quante, M., H. Kesten, A. Richter, und H. Halm. 2012. „Transforaminale lumbale interkorporelle Fusion zur Versorgung der degenerativen Spondylolisthese“. *Der Orthopäde* 41 (2): 153–62. <https://doi.org/10.1007/s00132-011-1832-4>.

Roussouly, Pierre, Sohrab Gollogly, Eric Berthonnaud, und Johannes Dimnet. 2005. „Classification of the Normal Variation in the Sagittal Alignment of the Human Lumbar Spine and Pelvis in the Standing Position“: *Spine* 30 (3): 346–53. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000152379.54463.65>.

Roussouly, Pierre, und João Luiz Pinheiro-Franco. 2011. „Biomechanical Analysis of the Spino-Pelvic Organization and Adaptation in Pathology“. *European Spine Journal* 20 (S5): 609–18. <https://doi.org/10.1007/s00586-011-1928-x>.

Sandén, Bengt, Peter Försth, und Karl Michaëlsson. 2011. „Smokers Show Less Improvement Than Nonsmokers Two Years after Surgery for Lumbar Spinal Stenosis: A Study of 4555 Patients from the Swedish Spine Register“. *Spine* 36 (13): 1059–64. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181e92b36>.

Schoenfeld, Andrew J., Elyse N. Reamer, Emily I. Wynkoop, Hwajung Choi, und Christopher M. Bono. 2015. „Does Patient Sex Affect the Rate of Mortality and Complications After Spine Surgery? A Systematic Review“. *Clinical Orthopaedics and Related Research*® 473 (8): 2479–86. <https://doi.org/10.1007/s11999-014-4102-z>.

Sekhar, Laligam N., Sabareesh K. Natarajan, Tom Manning, und Dolin Bhagawati. 2007. „The Use of Fibrin Glue to Stop Venous Bleeding in the Epidural Space, Vertebral Venous Plexus, and Anterior Cavernous Sinus: Technical Note“. *Neurosurgery* 61 (3 Suppl): E51; discussion E51. <https://doi.org/10.1227/01.neu.0000289711.95426.50>.

Soliman, Mohamed A.R., Alexander O. Aguirre, Cathleen C. Kuo, Nicco Ruggiero, Shady Azmy, Asham Khan, Moleca M. Ghannam, u. a. 2022. „Vertebral Bone Quality Score Independently Predicts Cage Subsidence Following Transforaminal Lumbar Interbody Fusion“. *The Spine Journal* 22 (12): 2017–23. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2022.08.002>.

Von Der Lippe, Elena, Laura Krause, Michael Prost, Annelene Wengler, Janko Leddin, Anja Müller, Marie-Luise Zeisler, Aline Anton, Alexander Rommel, und BURDEN 2020 Study Group. 2021. „Prävalenz von Rücken- und Nackenschmerzen in Deutschland. Ergebnisse der Krankheitslast-Studie BURDEN 2020“, März. <https://doi.org/10.25646/7854>.

Walter, Christian, Tobias Baumgärtner, Dominik Trappe, Sandra Frantz, Lisanne Exner, und Moritz Mederake. 2021. „Influence of Cage Design on Radiological and Clinical Outcomes in Dorsal Lumbar Spinal Fusions: A Comparison of Lordotic and Non-Lordotic Cages“. *Orthopaedic Surgery* 13 (3): 863–75. <https://doi.org/10.1111/os.12872>.

## 8 Abkürzungsverzeichnis

ALIF	Anteriore lumbale intersomatische Fusion
BMI	Body Mass Index
EQ5	EuroQoL-Fragebogen
FU	Follow up
Kg	Kilogramm
L	Lendenwirbelkörper
LWK	Lendenwirbelkörper
m	Meter
M	Monat
mm	Millimeter
MRT	Magnetresonanztomographie
ODI	Owestry disability index
OP	Operation
PLIF	Posteriore lumbale intersomatische Fusion
Postop	Postoperativ
Präop	Präoperativ
Procc	Processi
PROM	Patient related outcome measures
SS	Sacral slope
SWK	Sakralwirbelkörper
TLIF	Transforaminale lumbale intersomatische Fusion
VAS	Visuelle Analog Skala
XLIF	Extreme- laterale intersomatische Fusion
y	Year

## 9 Danksagung

Ich danke allen, die an dieser Arbeit mitgewirkt haben, insbesondere Herrn Prof. Quante für die Bereitstellung der Daten und Korrektur der Arbeit. Mein größter Dank gilt meiner herzensguten Arbeitskollegin und liebenswerten Freundin PD Dr. med. Carolin Melcher, ohne die diese Arbeit niemals in den Druck gefunden hätte.

## 10. Lebenslauf



### Persönliche Daten

Vor- und Zuname	Carl Ferdinand Zang
Anschrift	Wakenitzmauer 1 23552 Lübeck
Geburtsdatum und –ort	24.02.1979, Siegen
Familienstand	geschieden
Konfession	konfessionslos (nicht getauft)

### Schulischer Werdegang/ Wehrdienst

#### Schulausbildung

1989 – 1996	Zeppelin-Gymnasium Lüdenscheid
1996 – 1998	Bergstadt-Gymnasium Lüdenscheid
06/1999	Allgemeine Hochschulreife

#### Wehrdienst

1998 – 1999	Panzerbataillon Hemer
-------------	-----------------------

## Beruflicher Werdegang

### Ausbildung

01/2000 – 04/2000 Deutsches Rotes Kreuz Münster:  
Rettungssanitäter

### Berufstätigkeit

04/2000 – 02/2001 DRK Rettungsdienst Siegerland

08/2001 – 04/2008 Malteser Rettungsdienst Flughafen  
München

10/2007 – 04/2008 Teamarzt beim Blutspendedienst des BRK

04/2008 – 04/2010 Artemed Klinik Tutzing,  
Chirurgie, common trunk

04/2010– 09/2012 Klinik 3. Orden München  
Unfallchirurgie- Orthopädie

10/2012– 03/2014 Hessing Klinik Augsburg  
Orthopädie, Wirbelsäulenchirurgie

04/2014—09/2015 Thüringen Klinik Saalfeld, Klinik für  
Wirbelsäulenthherapie

06/2014 Facharzt Orthopädie-Unfallchirurgie

10/2015-dato Schön Klinik Neustadt Holstein  
Skoliosezentrum

## Zusatzbezeichnungen

Fachkunde Notfallmedizin

Fachkunde Strahlenschutz

Manuelle Medizin

Master Zertifikat DWG

## Studiumbezogener Werdegang

### Studium

03/2001 – 01/2007	Ludwig-Maximilians-Universität	München
	Humanmedizin	
03/2003	Ärztliche Vorprüfung	
06/2007	Staatsexamen	