

Aus der Klinik für Neurochirurgie, Campus Virchow-Klinikum  
der Medizinischen Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Langzeit-Follow-Up nach chirurgischer Versorgung degenerativer  
lumbaler Wirbelsäulenerkrankungen mittels PLIF-Technik

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät

Charité - Universitätsmedizin Berlin

von

Christian Johannes Strunz

aus Heilbronn

Datum der Promotion: 30.11.2023

## Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis.....	V
Abbildungsverzeichnis .....	VI
Abkürzungsverzeichnis .....	VIII
Abstract .....	IX
1 Einleitung .....	1
1.1 Einführung in den Untersuchungsgegenstand.....	1
1.2 Wissenschaftlicher Hintergrund.....	3
1.2.1 Rückenschmerzen.....	3
1.2.2 Anatomische Grundlagen.....	5
1.2.3 Degenerative Erkrankungen der Wirbelsäule .....	7
1.3 Behandlungsansätze bei lumbaler Kompression.....	13
1.3.1 Konservative Therapie .....	14
1.3.2 Operative Therapie.....	16
1.4 Fusionsoperationen.....	18
1.4.1 Konzeptioneller Ansatz.....	19
1.4.2 PLIF.....	20
1.4.3 Weitere feste Fusionstechniken.....	22
1.4.4 Dynamische Stabilisierungen.....	24
1.5 Ausgewählte Publikation.....	25
1.6 Ziel der Arbeit .....	27
2 Material und Methoden .....	28

2.1	Studiendesign und Patientenkollektiv .....	28
2.2	Einschluss- und Ausschlusskriterien .....	29
2.3	Operation, Operationsverfahren und Materialien.....	29
2.4	Verwendete Messinstrumente .....	29
2.4.1	Dallas Pain Questionnaire (DPQ) .....	30
2.4.2	Prolo Score .....	31
2.4.3	Visuelle Analog-Skala (VAS).....	32
2.5	Statistische Methoden .....	32
3	Ergebnisse .....	34
3.1	Anthropometrische Daten .....	34
3.1.1	Patientengut.....	34
3.1.2	Bodymaßindex (BMI) .....	34
3.1.3	Drop-out von Studienteilnehmern.....	34
3.2	Ergebnis Dallas Pain Questionnaire .....	36
3.2.1	Ergebnis DPQ (Mittelwert) über 10 Jahre.....	36
3.2.2	Ergebnis der vier Komponenten des Dallas Pain Questionnaire über 10 Jahre .....	37
3.2.3	Ergebnis Differenzierung ein- und mehrsegmentaler Operationen über 10 Jahre im... Dallas Pain Questionnaire .....	40
3.2.4	Zusammenhänge einzelner Variablen mit dem klinischen Outcome im DPQ.....	41
3.3	Ergebnis des Prolo Scores .....	42
3.3.1	Entwicklung des Prolo Score über 10 Jahre.....	42
3.3.2	Zusammenhänge einzelner Variablen mit dem klinischen Outcome im Prolo Score .....	44
3.4	Ergebnis der VAS.....	44
3.4.1	Entwicklung der VAS über 10 Jahre.....	44

3.4.2	Ergebnis Differenzierung ein- und mehrsegmentaler Operationen über 10 Jahre in.... der VAS.....	46
3.4.3	Zusammenhänge einzelner Variablen mit dem klinischen Outcome der VAS.....	47
4	Diskussion.....	48
4.1	Diskussion der Ergebnisse .....	48
4.2	Limitationen der Studie.....	51
5	Zusammenfassung.....	53
6	Literaturverzeichnis.....	55
7	Fragebögen.....	65
7.1	Dallas-Pain-Questionnaire .....	65
7.2	Prolo Score und VAS .....	65
	Eidesstattliche Versicherung.....	XII
	Curriculum Vitae.....	XIII
	Danksagung.....	XVI

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: DPQ Mittelwert über den Untersuchungszeitraum von 10 Jahren.....	36
Tabelle 2: Ergebnisse der vier Komponenten des DPQ (Mittelwert) über 10 Jahre.....	37
Tabelle 3: Darstellung der Ergebnisse des DPQ-ATL (Aktivitäten des täglichen Lebens) der paarweisen Vergleiche für die einzelnen Zeitpunkte .....	38
Tabelle 4: Darstellung der Ergebnisse des DPQ-AFB (Aktivitäten in Freizeit und Beruf) der paarweisen Vergleiche für die einzelnen Zeitpunkte .....	39
Tabelle 5: Entwicklung DPQ (Mittelwert) über 10 Jahre unter Berücksichtigung des Alters der Patienten zum Operationszeitpunkt.....	41
Tabelle 6: Abhängigkeit des BMI und den vier Subskalen des Dallas Pain Questionnaire zum Zeitpunkt FU 2, 5 und 10 Jahre (mehrsegmentale Versorgung) .....	42
Tabelle 7: Ergebnisse des Prolo Scores über 10 Jahre .....	42
Tabelle 8: Darstellung der Ergebnisse Functional Status des Prolo Score der paarweisen Vergleiche für die einzelnen Zeitpunkte .....	43
Tabelle 9: Entwicklung der VAS über 10 Jahre.....	44
Tabelle 10: Darstellung der paarweisen Vergleiche für die einzelnen Zeitpunkte der VAS ...	46

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wirbel im Querschnitt Quelle: Netdoctor (2010) .....	6
Abbildung 2: Bandscheibe; Wirbelsäulensegment im Längsschnitt Quelle: Mayfield .....	7
Abbildung 3: Axiales MRT-Bild einer lumbalen Spinalkanalstenose Quelle: Lumbale Spinalkanalstenose Outcome Studie.....	11
Abbildung 4: Spondylolisthesis Quelle: American Association of Orthopedic Surgeons.....	12
Abbildung 5: Instabilisierungsprozeß des erkrankten Segments Quelle: Thomé et al. ....	19
Abbildung 6: PLIF bei Spondylolisthesis Quelle: Lack.....	21
Abbildung 7: Pedikelschrauben-System DYNESYS® Quelle: DYNESYS®.....	25
Abbildung 8: Prolo Score Quelle: Vanti et al. (2013).....	31
Abbildung 9: Visuelle Analogskala Quelle: Forum Schmerz.....	32
Abbildung 10: Drop-out von Studienteilnehmern im zeitlichen Verlauf.....	35
Abbildung 11: Drop-out von Studienteilnehmern im zeitlichen Verlauf in Abhängigkeit der segmentalen Versorgung .....	35
Abbildung 12: Entwicklung DPQ (Mittelwert) über 10 Jahre .....	36
Abbildung 13: Paarweise Kontraste DPQ-ATL (Aktivitäten des täglichen Lebens) präoperativ, FU 2, 5 und 10 Jahre postoperativ .....	38
Abbildung 14: Paarweise Kontraste DPQ-AFB (Aktivitäten in Freizeit und Beruf) präoperativ, FU 2, 5 und 10 Jahre postoperativ.....	39
Abbildung 15: Entwicklung DPQ (Mittelwert) unter Berücksichtigung ein- und mehrsegmentaler Operationen über 10 Jahre .....	40
Abbildung 16: Paarweise Kontraste Functional Status des Prolo Score Präoperativ, FU 2, 5 und 10 Jahre.....	44
Abbildung 17: Entwicklung der VAS über 10 Jahre.....	45

---

Abbildung 18: Paarweise Kontraste VAS Präoperativ, FU 2, 5 und 10 Jahre .....	46
Abbildung 19: Ergebnis der VAS unter Berücksichtigung ein- und mehrsegmentaler Operationen .....	47

## Abkürzungsverzeichnis

ALIF.:	anterior lumbar interbody fusion
AxialLIF.:	axial lumbar interbody fusion
DLIF.:	direct lateral lumbar interbody fusion
CRP.:	C-reaktives Protein
DPQ.:	Dallas Pain Questionnaire
FU.:	Follow-UP
LBP.:	Low Back Pain
LLIF:	lateral lumbar interbody fusion
LWS.:	Lendenwirbelsäule
ODI.:	Oswestry Disability Index
ODQ.:	Oswestry Disability Questionnaire
PEEK.:	Polyetheretherketon
PLIF.:	posterior lumbar interbody fusion
RCT.:	randomized controlled trial
SPORT.:	Spine Patient Outcomes Research Trial
TLIF.:	transforaminal lumbar interbody fusion
VAS.:	Visuelle Analogskala
XLIF.:	extreme lateral lumbar interbody fusion

## Abstract

**Hintergrund:** Degenerative Wirbelsäulenerkrankungen mit Rückenschmerzen und Instabilität sind ein mit dem demografischen Wandel zunehmendes Krankheitsbild. Bei Versagen der konservativen Therapie oder einem Fortschreiten neurologischer Defizite, sollte eine operative Behandlung in Erwägung gezogen werden. Ein häufig angewandtes Verfahren ist die posteriore lumbale interkorporelle Fusion (PLIF). Obwohl die PLIF ein etabliertes operatives Verfahren darstellt, gibt es zum Zeitpunkt des Studienbeginns nur wenige Daten zu Langzeitergebnissen. Das primäre Ziel der vorliegenden Arbeit ist, das klinische Ergebnis der Patienten über zehn Jahre zu evaluieren und den Einfluss der ein- und mehrsegmentalen Versorgung bezüglich alltäglicher Funktionsbeeinträchtigung und Schmerzen zu untersuchen. Das sekundäre Ziel der Studie ist, präoperative Prädiktoren zu identifizieren, die den langfristigen klinischen Erfolg einer PLIF-Operation positiv oder negativ beeinflussen können.

**Methode:** Die Studie ist eine nicht randomisierte Verlaufsstudie mit einer Nachbeobachtungszeit von zehn Jahren. In einer retrospektiven Auswertung erfolgte die Datensammlung von 66 Patienten, die eine segmentale Stabilisierungsoperation in PLIF-Technik erhalten haben und in deren Krankenakten bereits Ergebnisse standardisierter Befragungsinstrumente zum Zustand präoperativ sowie zum Outcome nach 24 Monaten postoperativ vorlagen. Zur prospektiven, nicht randomisierten Evaluierung der klinischen Langzeitergebnisse nach fünf und zehn Jahren, werden die Patienten fünf Jahre postoperativ zu einem Interview und zu einer körperlichen Untersuchung in die neurochirurgische Klinik eingeladen. Zehn Jahre postoperativ werden die Patienten auf postalischem Weg erneut gebeten, die Operationsergebnisse anhand derselben Erhebungsbögen zu beurteilen. Das klinische Outcome wurde mittels Dallas Pain Questionnaire, dem Prolo Score und der Visuellen Analogskala gemessen.

**Ergebnisse:** In der vorliegenden Studie wurde das Outcome von 39 Frauen und 27 Männer, zwischen 30 und 80 Jahren und einem mittleren Alter von 59 Jahren, erhoben. 54 Personen wurden ein- und zwölf Personen mehrsegmental versorgt. Der präoperative BMI der Studienpopulation lag durchschnittlich bei  $28,6 \pm 5$  kg/m<sup>2</sup>. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen der ein- und mehrsegmentalen Versorgung in Bezug auf die klinischen Ergebnisse. Die Teilnehmer beider Gruppen erfahren signifikante Verbesserungen in Bezug auf Schmerz, Funktion und somit Lebensqualität. Ein erhöhter BMI oder das Alter bei Operation korreliert nicht signifikant mit dem Ergebnis bezüglich Schmerzreduktion und Einschränkungen im Alltag.

**Schlussfolgerung:** Bei ausgeschöpften alternativen Behandlungsmethoden ist die PLIF mit Titan Fusion Device ein etabliertes Operationsverfahren zur Therapie degenerativer Wirbelsäulenerkrankungen mit Fusionsindikation, das auch bei mehrsegmentaler Versorgung über mindestens zehn Jahre postoperativ einen hohen Behandlungserfolg aufweist.

**Background:** Degenerative spinal diseases with back pain and instability are becoming increasingly common with demographic changes. If conservative therapy fails or neurological deficits progress, surgical treatment should be considered. One commonly used procedure is posterior lumbar interbody fusion (PLIF). Although PLIF is an established surgical procedure, there are few data on long-term outcomes at the time of the study. The primary aim of this study is to evaluate the clinical outcomes of patients over ten years and to investigate the influence of single- and multi-level treatment on daily functional impairment and pain. The secondary aim of the study is to identify preoperative predictors that may positively or negatively affect the long-term clinical success of a PLIF operation.

**Material and method:** The study is a non-randomized follow-up study with a ten-year follow-up period. A retrospective analysis was performed on data collected from 66 patients who underwent segmental stabilization surgery using PLIF technique, and whose medical records already contained results from standardized questionnaires assessing preoperative condition and outcome after 24 months postoperatively. For the prospective, non-randomized evaluation of clinical long-term outcomes at five and ten years, patients are invited for an interview and physical examination at the neurosurgical clinic five years postoperatively. Ten years postoperatively, patients are again asked to evaluate the surgical outcomes using the same questionnaires by mail. Clinical outcomes were measured using the Dallas Pain Questionnaire, the Prolo Score, and the Visual Analog Scale.

**Results:** In the present study, the outcome of 39 females and 27 males, aged between 30 and 80 years with a mean age of 59 years, was assessed. 54 individuals underwent single-segment fusion and twelve individuals underwent multi-segment fusion. The preoperative BMI of the study population was on average  $28.6 \pm 5$  kg/m<sup>2</sup>. There was no significant difference in clinical outcomes between single-segment and multi-segment fusion. Participants in both groups experienced significant improvements in pain, function, and thus quality of life. An increased BMI or age at the time of operation did not significantly correlate with the outcome in terms of pain reduction and limitations in everyday life.

**Conclusion:** When alternative treatment methods have been exhausted, PLIF with titanium fusion devices is an established surgical procedure for the treatment of degenerative spinal diseases with fusion indications, which also shows a high treatment success over at least ten years postoperatively, even in cases of multi-segment fusion.

# 1 Einleitung

## 1.1 Einführung in den Untersuchungsgegenstand

Degenerative Erkrankungen der lumbalen Wirbelsäule spielen in der orthopädischen und neurochirurgischen Praxis schon wegen der durch die demografische Entwicklung bedingten Zunahme älterer Menschen in der Bevölkerung westlicher Industriestaaten eine erhebliche Rolle, da überwiegend - wenn auch nicht ausschließlich - Patienten im fortgeschrittenen Lebensalter von diesen Erkrankungen betroffen sind (Knappschaft, 2015) (Airaksinen, Brox, & Cedraschi, 2006) (Weinstein J. , Lurie, Tosteson, & Hanscom, 2007). Durch ihre Häufigkeit und teilweise aufwändige Behandlungsformen wirken sie sich auch volkswirtschaftlich aus; dies gilt insbesondere auch für die damit regelmäßig verbundenen Schmerzen und Funktionsbeeinträchtigungen an Wirbelsäule und unterer Extremität (Knappschaft, 2015).

Als degenerative Erkrankungen der Wirbelsäule wird eine Reihe von Krankheitsbildern bezeichnet, die in der Regel altersabhängig auftreten und sich durch Rückenschmerzen und Einschränkungen der Funktion der Wirbelsäule auszeichnen (Watters, Baisden, & Gilbert, 2008). Dazu zählen insbesondere die Stenose des Spinalkanals, die Spondylarthrose, Spondylosen und Osteochondrosen sowie die degenerative Spondylolisthesis bzw. Pseudospondylolisthesis; auch ein Bandscheibenvorfall kann als degenerative Erkrankung der Wirbelsäule charakterisiert werden (Anderson & Fischgrund, 2010). Die Inzidenz degenerativer Wirbelsäulenerkrankungen steigt durch die zunehmende Alterung der Gesellschaft stark an. So lassen sich bei mehr als 20 % aller Patienten nach dem 60. Lebensjahr im MRT lumbale Spinalkanalstenosen nachweisen (Watters, Baisden, & Gilbert, 2008); was jedoch nicht gleichbedeutend mit der Zahl der Erkrankungen ist. Nicht jede Stenose des Spinalkanals löst bei den betroffenen Patienten Handlungsbedarf aus. Leitsymptom degenerativer Erkrankungen der Lendenwirbelsäule sind *Rückenschmerzen*, die in der Regel belastungsabhängig sind (Schulte, Bullmann, & Lerner, 2006). Die mit den angesprochenen Krankheiten verbundenen Beschwerden können - müssen aber nicht auf die Wirbelsäule beschränkt sein. Gerade in fortgeschrittenen Krankheitsstadien kommt es regelmäßig zur Ausstrahlung in die Extremitäten, wobei bei Erkrankungen der Halswirbelsäule typischerweise die Arme und bei Lokalisation in der Lendenwirbelsäule die Beine betroffen sind (Schulte, Bullmann, & Lerner, 2006). Zur Behandlung dieser Erkrankungen steht eine Reihe nichtoperativer wie operativer Verfahren zur Verfügung. Die Indikationsstellung hängt entscheidend davon ab, ob eine bestimmte Methode im Einzelfall geeignet ist, die Lebensqualität des Patienten spürbar zu verbessern. Ob im Einzelfall konservatives oder operatives Vorgehen den Bedürfnissen des

Patienten besser entspricht, war Gegenstand zahlreicher Untersuchungen, die aber zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen gelangen. Häufig wird berichtet, dass die Ergebnisse operierter Patienten für einen gewissen Zeitraum nach der Operation besser sind als die Ergebnisse konservativ behandelter Personen, sich die Beurteilung des Behandlungserfolgs nach längerer Zeit jedoch angleicht (Athivirahm & Yen, 2007) (Chang, Singer, Wu, Keller, & Atlas, 2005). Aus dieser Beobachtung lässt sich die Notwendigkeit von Langzeit-Follow-Ups unmittelbar ableiten.

Die typische Operation beispielsweise bei einer Spinalkanalstenose ist die *erweiterte interlaminäre Fensterung*, die auf Entlastung der komprimierten Nervenwurzeln durch eine Erweiterung des Spinalkanals abzielt (Anderson & Fischgrund, 2010). Häufig ist die Stenose jedoch auch mit einer Instabilität der Wirbelsäule verbunden, so dass zusätzlich Maßnahmen zu deren Stabilisierung erforderlich sind (Irwin, Hilibrand, & Gustavel, 2008). In besonderem Masse besteht diese Notwendigkeit bei Vorliegen einer Spondylolisthesis, die überwiegend als Indikation zur Durchführung einer Fusionsoperation verstanden wird (Schulte, Bullmann, & Lerner, 2006) (Resnick, Watters, & Mummaneni, 2014). Im Falle einer instabilen Spondylolisthesis soll eine Fusionsoperation ausnahmslos indiziert sein (Schulte, Bullmann, & Lerner, 2006). Nach neueren amerikanischen Untersuchungen wird zwischenzeitlich bei mehr als der Hälfte aller operativen Eingriffe zur Behandlung einer Spinalkanalstenose auch eine Fusionsoperation zur Steigerung der Stabilität der betroffenen Segmente durchgeführt; bei Diagnose einer Spondylolisthesis sind es 96 Prozent (Athivirahm & Yen, 2007).

Eine der bei degenerativen Wirbelsäulenerkrankungen eingesetzten operativen Techniken, die insbesondere bei einer Spondylolisthesis und einer degenerativen Spinalkanalstenose mit sekundärer Instabilität sowie Kompression von Nerven zum Einsatz kommt, ist die *posterior lumbar interbody fusion* (PLIF). Das Prinzip beruht auf einer Entfernung der Bandscheibe und deren Ersatz durch Cages als Platzhalter, wobei die Fusion zwischen den Wirbelkörpern durch Knochenspäne oder Knochenersatzmaterial erfolgt (Athivirahm & Yen, 2007). Je nach Stellung der Segmente kommen Cages in unterschiedlichem Design zum Einsatz, die fest oder gespreizt sein können. Eine gegebenenfalls erforderliche zusätzliche Stabilisierung kann beispielsweise durch Pedikelschrauben, translaminäre Schrauben oder auch Interferenzschrauben vorgenommen werden (Chang, Singer, Wu, Keller, & Atlas, 2005). *Stand-alone-cages*, die ohne zusätzliche stabilisierende Maßnahmen implementiert werden, machen nach den Ergebnissen diverser Studien oftmals eine Revision erforderlich, so dass deren Einsatz teils kontrovers diskutiert wird (Athivirahm & Yen, 2007). Für die Cages sind unterschiedliche Materialien wie Carbon, Titan oder Polyetheretherketon (PEEK) gebräuchlich (Chou, Chen, Hsieh, Chen, & Yen, 2008). Dabei

wurden zu den Vorzügen einzelner Materialien, wie etwa Carbon, unterschiedliche Studienergebnisse publiziert (Brantigan & Steffee, 1993). Die Ergebnisse der PLIF unterscheiden sich somit nach den Ergebnissen einiger Studien im Hinblick auf das Material der verwendeten Cages (Christensen, Hansen, & Eiskjaer, 2002).

## 1.2 Wissenschaftlicher Hintergrund

### 1.2.1 Rückenschmerzen

Rückenschmerzen werden nach einer groben Differenzierung zwischen spezifischen und unspezifischen Beschwerden unterschieden. *Unspezifisch* sind Rückenschmerzen, wenn sie sich nicht einer konkreten Ursache zuordnen lassen. Nach Leinmüller (2008) bestehen diese unspezifischen Rückenschmerzen bei etwa 20 % der Patienten länger als ein Jahr nach erstmaligem Auftreten (Leinmüller, 2008). Folgend der Klassifikation des ICD-10 sind diese Rückenschmerzen als *sonstige Rückenschmerzen* (ICD-10 M 54.8 bzw. M 54-9) einzuordnen. *Spezifisch* sind Rückenschmerzen dann, wenn sie auf nachweisbaren morphologischen oder pathophysiologischen Veränderungen beruhen; wie etwa nach Traumata oder bei Spondylopathien (ICD-10 M 45 - M 49). Im ICD-10 sind als spezifische Spondylopathien angeführt: die Spondylitis ankylosans (Morbus Bechterew, M 45), sonstige entzündliche Spondylopathien wie etwa die eitrige Bandscheibenentzündung (M 46), die Spondylose (M 47), sonstige Spondylopathien wie eine Verengung des Wirbelkanals (M 48) und Spondylopathien bei anderenorts klassifizierten Krankheiten (M49). Sonstige Bandscheibenschäden im Bereich der Brust- und Lendenwirbelsäule mit oder ohne Einengung von Nervenwurzeln oder Rückenmark sind als M 51 klassifiziert; nicht anders eingeordnete sonstige Krankheiten der Wirbelsäule und des Rückens wie eine Lockerung des Gefüges der Wirbelkörper als M 52. Die exakte Klassifizierung von Rückenschmerzen nach einer einheitlichen Terminologie ist gerade auch im Zusammenhang mit der Vergleichbarkeit wissenschaftlicher Untersuchungen von besonderer Bedeutung - aber noch nicht die Regel (Linton & van Tuldor, 2000).

Rückenschmerzen sind in der Diagnostik äußerst anspruchsvoll, was nicht nur an der uneinheitlichen Terminologie, sondern vor allem auch am unterschiedlich ausgeprägten Schmerzempfinden der Patienten und davon ausgehend, der sehr subjektiven Beschreibung der individuellen Schmerzcharakteristik liegt (Becker, Kögel, & Donner-Banzhoff, 2003).

Nach modernen psychosozialen Konzepten ist Schmerzverarbeitung auch als Funktion psychischer, sozialer und emotionaler Einflüsse zu verstehen, nicht jedoch als im

Schmerzverarbeitungssystem selbst angelegte quantifizierbare Größe (Gesundheitsberichterstattung des Bundes , 2012) Für diesen biosozialen Ansatz spricht, dass Schmerzverhalten das weitere Schicksal des Schmerzes beeinflusst: eine erfolgreiche Therapie, die meist bei Überschreiten einer bestimmten Schmerzdauer bzw. der individuellen Toleranzgrenze nachgefragt wird, beendet den Schmerz bzw. mildert diesen ab. Dahingegen führt das Ausbleiben einer Therapie zum weiteren Ablauf der schmerzinduzierenden Prozesse. Demgemäß sind die Behandlungsergebnisse bei Rückenschmerzen nicht nur von physiologischen, sondern auch von psychologischen und sozialen Faktoren abhängig (Arzneimittelkommission der deutschen Ärzteschaft, 2007)

Die Modelle zur psychosozialen Dimension des Schmerzes sind jedoch im Einzelnen umstritten (Gesundheitsberichterstattung des Bundes , 2012). Als hilfreich zur Absicherung der Diagnose gelten standardisierte Schmerzfragebögen, die beispielsweise auf die Dauer der einzelnen Schmerzepisoden, der Ausstrahlungswirkung, tageszeitlich bedingten Schwankungen der Schmerzintensität und Art und Ausmaß von schmerzbedingten Funktionsbeeinträchtigungen abstellen. Der Schweregrad von Rückenschmerzen und damit verbundenen Behinderungen wird beispielsweise über die Skala zur Erfassung chronischer Schmerzen nach von Korff et al. (1992) erhoben (Von Korff, Ormel, & Keefe, 1992). Wegen des stark subjektiven Charakters von Schmerzen soll bei Hinweisen auf spezifische Krankheitsursachen - aber nur dann - aus ärztlicher Sicht eine umfassende bildgebende Diagnostik durchgeführt werden. Erschwert wird die Diagnostik des Rückenschmerzes auch durch die damit typischerweise verbundene Komorbidität (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. , 2010). Neben degenerativen und entzündlichen Gelenkerkrankungen sind Rückenschmerzen häufig beispielsweise mit Osteoporose, Krankheiten des kardiovaskulären Systems, psychischen Erkrankungen wie affektiven Störungen, aber auch Adipositas und chronischer Bronchitis vergesellschaftet (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. , 2010).

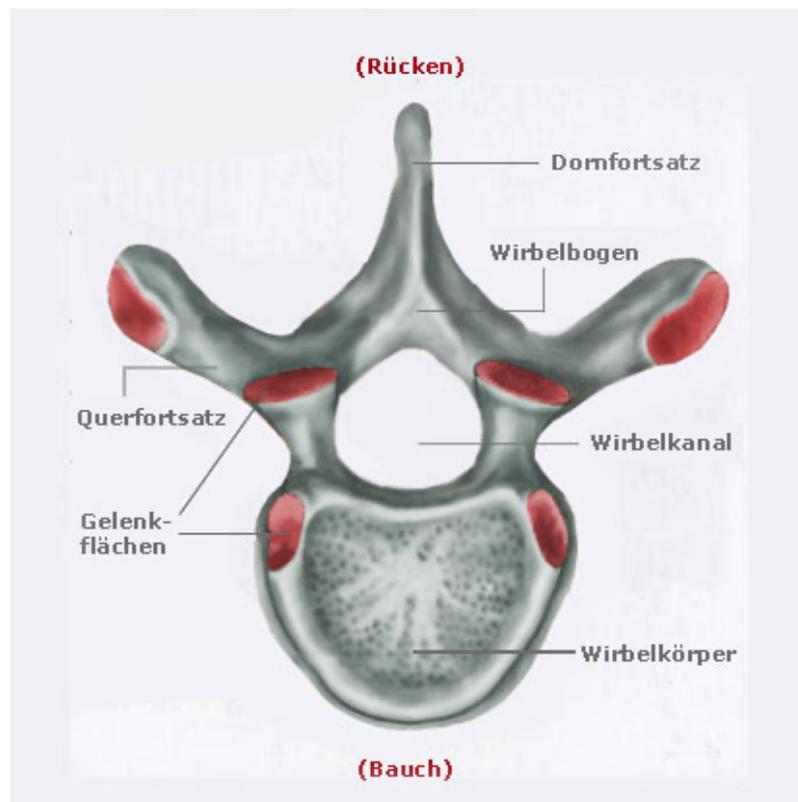
Gerade die Tatsache, dass chronische Rückenschmerzen oft einer spezifischen Ursache zumindest zunächst nicht zugeordnet werden können und somit in der Praxis häufig umfangreiche Diagnoseverfahren wie CT und MRT durchgeführt werden, ist eine wesentliche Ursache für die volkswirtschaftliche Relevanz von Rückenschmerzen (Linton S. , 2000). Neben dem hohen diagnostischen und therapeutischen Aufwand spielen sie unter dem Kostenaspekt, aber auch als bedeutender Grund für Arbeitsunfähigkeit, eine erhebliche Rolle. Sie verursachen etwa 20 % aller krankheitsbedingten Ausfalltage, 10 % aller medizinisch bedingten Neuverrentungen und Behandlungskosten von jährlich etwa 9 Milliarden Euro (Knappschaft, 2015). Betroffen sind

Frauen in stärkerem Ausmaß als Männer; wobei die Erkrankung bei Frauen auch frühere Lebensdekaden stärker betrifft. Bei Männern wie Frauen liegt die stärkste Prävalenz von Rückenschmerzen im fünften und sechsten Lebensjahrzehnt und somit zu einem Zeitpunkt, zu dem die meisten Patienten noch im Berufsleben stehen. Mit der weiter zunehmenden Beschäftigung von Frauen stiegen und steigen somit auch die volkswirtschaftlichen Auswirkungen der Erkrankung (Arzneimittelkommission der deutschen Ärzteschaft, 2007).

### 1.2.2 Anatomische Grundlagen

Die Wirbelsäule des Menschen besteht aus Wirbelkörpern, mit zwischen diesen angeordneten Zwischenwirbelscheiben und Bändern. Von den insgesamt 24 Wirbelkörpern und 23 Zwischenwirbelscheiben sind im gegebenen Zusammenhang insbesondere die fünf Lendenwirbel von Interesse. Deren Zahl kann im Einzelfall variieren, wenn etwa der erste Sakralwirbel nicht mit dem zweiten Sakralwirbel verwächst. In diesem als Lumbalisation bezeichneten Fall ist er weiterhin frei beweglich und wird als sechster Lendenwirbel verstanden (Hasenbring, Marienfeld, Kuhlendahl, & Soyka, 1994). Denkbar ist aber auch, dass der fünfte Lendenwirbel mit dem Kreuzbein verwächst, so dass nur vier freie Lendenwirbel existieren; dieser Vorgang wird als Sakralisation bezeichnet (Hasenbring, Marienfeld, Kuhlendahl, & Soyka, 1994). Die anatomischen Strukturen der Wirbelsäule tragen den unterschiedlichen Anforderungen der verschiedenen Wirbelsäulenabschnitte Rechnung, zeigen aber gemeinsame Grundstrukturen. Wirbelkörper bestehen aus einer inneren *substantia spongiosa* und einer äußeren *substantia compacta*, welche wiederum fließend in die obere und untere Randleiste bzw. die *Epiphysis anularis* übergeht. Die obere und untere *substantia spongiosa* grenzen an die hyalinknorpelige Deckplatte innerhalb der knöchernen Randleiste (Schünke, Schulte, & Schumacher, 2005). Wirbelbögen bilden die dorsale Fortsetzung der Wirbelkörper, wobei die Wurzeln der Wirbelbögen sowohl kranial als auch kaudal Eintragungen aufweisen, die gemeinsam mit den angrenzenden Wirbeln das *foramen intervertebrale* bilden. An dessen Begrenzung nehmen ebenfalls die oberen Gelenkfortsätze sowie die als Bandscheiben bezeichneten knorpeligen Zwischenwirbelscheiben teil. Von den Wirbelbögen ausgehend verbinden die kleinen Wirbelgelenke benachbarte Wirbel und dienen insbesondere der Minderung der auf die Wirbelsäule einwirkenden Scher- und Kompressionskräfte und damit auch dem Schutz und der Entlastung der Bandscheiben. Darüber hinaus sind die Wirbelbögen auch über Muskulatur, die an den Quer- und Dornfortsätzen ansetzt, verbunden. Wesentlich zur Funktion der Wirbelsäule trägt der Bandapparat bei (Hasenbring, et al., 1994). Die *gelben Bänder* (*ligg. flava*) enthalten vor allem elastische Fasern und verbinden die Wirbelbögen. Das hintere Längsband ist mit den

Bandscheiben und den caudalen bzw. cranialen Kanten der Wirbelkörper verwachsen, während das deutlich stärker ausgeprägte vordere Längsband deren Vorderflächen verbindet; eine Verwachsung mit den Bandscheiben besteht in der Regel nicht. Funktional besteht ein Segment aus zwei benachbarten Wirbeln, der Bandscheibe und dem Bandapparat sowie den Gelenken zwischen den Wirbeln (Hildebrandt, Müller, & Pfingsten, 2005). Die nachfolgende Abbildung zeigt einen Wirbelkörper mit seinen wesentlichen Strukturen im Querschnitt:



**Abbildung 1: Wirbel im Querschnitt** Quelle: Netdoctor (2010)

Die Bandscheiben bestehen weitgehend aus hyalinem Knorpel, der in einen Kern (nucleus pulposus) und einen äußeren Ring (anulus fibrosus) gegliedert ist. Nachfolgende Abbildung zeigt eine Bandscheibe sowie ein Wirbelsäulensegment im Längsschnitt.

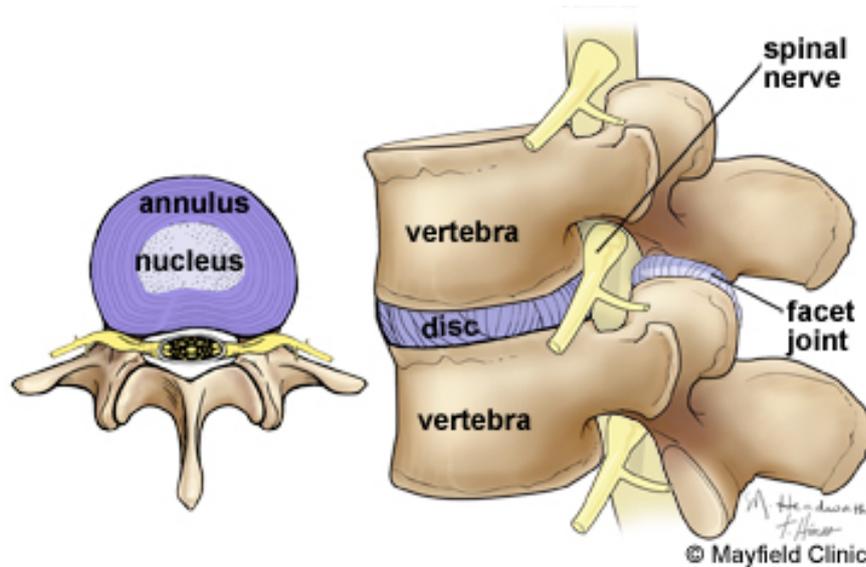


Abbildung 2: Bandscheibe; Wirbelsäulensegment im Längsschnitt Quelle: Mayfield

### 1.2.3 Degenerative Erkrankungen der Wirbelsäule

#### 1.2.3.1 Die lumbale Spinalkanalstenose

Der Begriff lumbale Spinalkanalstenose beschreibt eine knöchern ligamentäre Einengung des Spinalkanals, die nach dem Ausmaß des verbleibenden Kanaldurchmessers in eine relative und eine absolute Form differenziert wird (Atlas, Keller, & Robson, 2000). Als absolute Spinalkanalstenose gelten, ausgehend von einem physiologischen sagittalen Durchmesser des lumbalen Spinalkanals von 15 mm bis 18 mm, Erkrankungen mit einem verbleibenden Durchmesser  $< 10$  mm, während die relative Form bei einem radiologisch gemessenen Restdurchmesser zwischen 10 mm und 14 mm diagnostiziert wird (Allen, et al., 2009). *Klinisch* ist die Differenzierung schon deshalb nicht zwingend aussagekräftig, da lediglich die zentrale, zur Kompression der cauda equina führende, nicht aber die laterale Stenose einbezogen wird, die insbesondere den Recessus lateralis bzw. das Foramen intervertebrale und damit den Wurzelkanal betrifft. Regelmäßig wird jedoch eine Kombination beider Kompressionsmuster beobachtet, wobei eine Zuordnung der Beschwerden zu einem einzelnen Kompressionsmuster kaum möglich ist (Chou, et al., 2009). In der Literatur ist eine klinische Validierung der allein auf radiologischen Befunden beruhenden Differenzierung in eine absolute und eine relative Stenose bisher nicht erfolgt (Arzneimittelkommission der deutschen Ärzteschaft, 2007). Wie einleitend angesprochen lassen sich zudem aus dem radiologischen Befund keine Rückschlüsse auf die klinische Beeinträchtigung treffen (Atlas, Keller, & Robson, 2000). Auch Patienten mit radiologisch massiven Einengungen des Spinalkanals weisen oft keinerlei Symptome der Erkrankung auf (Fast

& Greenbaum, 1995). In der Literatur wird daher die Auffassung vertreten, dass eine radiologische Bestimmung des Durchmessers des Spinalkanals entbehrlich sei, da daraus keinerlei therapeutische Konsequenzen abgeleitet werden können und ausschließlich klinisch symptomatische Patienten behandelt werden dürfen (Fast & Greenbaum, 1995).

Neben der degenerativen Form wird auch eine primäre Spinalkanalstenose beschrieben, die jedoch vergleichsweise selten auftritt und in der Praxis kaum Bedeutung hat, jedoch als einer von zahlreichen Faktoren gilt, eine spätere degenerative Stenose zu begünstigen. Auch angeborene Störungen des Knochenaufbaus, die Form des Spinalkanals oder eine Hyperlordose gelten als primär prädisponierende Faktoren (Porter, 1996). Pathophysiologisch wird die Erkrankung durch die Degeneration der Bandscheibe mit der Folge der Protrusion derselben und der daraus resultierenden ventralen Einengung des Spinalkanals sowie der Verringerung der Höhe des betreffenden Bandscheibensegments verursacht. Dieser Prozess führt zu einer Erschlaffung des Bandapparats und nachfolgend einer Destabilisierung der Gelenke. Die Veränderung der Biomechanik des betroffenen Segments kann zudem eine Arthrose der Wirbelbogengelenke bewirken. Kompensatorisch verdicken sich die Facetten, die Pedikel und das Ligamentum flavum (Fast & Greenbaum, 1995). Eine Einengung des Spinalkanals kann daher durch die Protrusion der Bandscheibe von ventral, durch die Pediculi und den Recessus lateralis von lateral und durch den Wirbelbogen und die Ligamenta flava von dorsal erfolgen (Kalff, Waschke, Gobisch, & Hopf, 2013). Die degenerativen Umbauprozesse begünstigen in der Folge die Entwicklung einer Instabilität des Segments und damit einer Pseudospondylolisthesis, die eine weitere Verengung des Wirbelkanals bewirkt. Ob auch vaskuläre Prozesse an der Entstehung bzw. Begünstigung degenerativer Prozesse beteiligt sind ist noch unklar (Imagama, Matsuyama, & Sakai, 2011).

Klinisch manifestiert sich die Lumbalkanalstenose insbesondere durch oft über Jahre zunehmende Rückenschmerzen, die von Körperhaltung und Belastung abhängen. Zunehmend können sich dazu neurologische Beeinträchtigungen wie Hypästhesien, Parästhesien und Paresen ausbilden. Auch eine Beeinträchtigung der Zweipunktdiskriminierung, Krämpfe und ein Kraftverlust insbesondere der Fuß- und Zehenheber mit der Folge eines veränderten Gangbildes sind regelmäßige Folgen der Kompression einer Nervenwurzel oder der Cauda equina (Thomé, Börm, & Meyer, 2008). Leitsymptom ist eine auch als *Claudicatio spinalis* bezeichnete neurogene *Claudicatio intermittens*, worunter ein terminologisch an die bei einer peripheren arteriellen Verschlusskrankheit (paV<sub>k</sub>) häufige vaskuläre *Claudicatio intermittens* angelehnter Symptomkomplex verstanden wird, der sich jedoch klinisch und ätiologisch erheblich unterscheidet. Ursache der *Claudicatio spinalis* ist die Kompression der Nerven der Wirbelsäule

und nicht der durch das Gehen entstandene Ischämieschmerz in den Beinen aufgrund von Stenosen der Becken- und Beinarterien (Imagama, Matsuyama, & Sakai, 2011). Die Patienten leiden daher unter belastungsabhängigen Rückenschmerzen und deren Ausstrahlung in die Extremitäten, wobei die Beschwerden Folge der Lordosierung der Wirbelsäule sind und daher beim Gehen und Stehen auftreten. Eine Linderung kann in der Regel nur mit Hilfe einer Entlordosierung durch Veränderung der Körperhaltung, insbesondere durch Hinsetzen erreicht werden. Häufig berichten Patienten über eine Verkürzung der schmerzfreien Wegstrecke im Krankheitsverlauf. Lediglich Stehenbleiben wie bei der arteriellen Claudicatio intermittens hilft nicht, da sich dadurch die Belastung des betroffenen Segments nicht verändert. Körperhaltungen, die mit einer Kyphosierung der Lendenwirbelsäule verbunden sind wie Radfahren oder Bergaufgehen wirken weniger belastend als eine Verstärkung der Lordose beispielsweise beim Bergabgehen (Thomé, Börm, & Meyer, 2008). Erschwert wird die Diagnosestellung durch Komorbiditäten mit differenzialdiagnostisch oft schwer abgrenzbaren Symptomen. Beispielsweise kommt es bei der Komorbidität einer paV<sub>k</sub> neben einer degenerativen Spinalkanalstenose zu einer Überlappung der Symptomatik. Dieses Phänomen wird beispielsweise bei 26% der betroffenen Wirbelsäulenpatienten berichtet (Imagama, Matsuyama, & Sakai, 2011); in etwa gleich häufig leiden die Patienten zusätzlich an einer Coxarthrose (Saito, Ohtori, & Kishida, 2012). Auch metabolische oder inflammatorische Neuropathien können vergleichbare Symptome verursachen; ebenso ein Bandscheibenprolaps ohne knöcherne Einengung. Als ebenso schwierig erweist sich insbesondere bei älteren Patienten eine Differenzierung zwischen Beschwerden, die durch die allgemeine Degeneration der Wirbelsäule etwa infolge einer symptomatischen Arthrose der Facettengelenke oder einer Osteochondrose entstehen und den stenosebedingten Schmerzen (Porter, 1996). Vergleichbare neurologische Beschwerden können auch Folge einer hochgradigen Stenose der A. iliaca communis oder interna sein (Imagama, Matsuyama, & Sakai, 2011). Neben der körperlichen Untersuchung ist in Hinblick auf die Vielzahl der infrage kommenden Differenzialdiagnosen eine exakte Anamnese unter Berücksichtigung denkbarer Komorbiditäten erforderlich (Imagama, Matsuyama, & Sakai, 2011). Die sorgfältige Erhebung der Anamnese, die beispielsweise die Frage nach der Länge schmerzfrei zu absolvierender Wegstrecken und gegebenenfalls deren Veränderung im Krankheitsverlauf beinhaltet, gilt daher als wesentliche Voraussetzung der Diagnosestellung. Zeigt die körperliche Untersuchung Hinweise auf eine Spinalkanalstenose und bestehen massive, therapieresistente Schmerzen bzw. Funktionsbeeinträchtigungen gilt die MRT als Goldstandard der radiologischen Diagnostik (Wittenberg, Willburger, & Krämer, Orthopäde). Instabilitäten des betroffenen Segments können

vor allem durch seitliche Funktionsaufnahmen in Flexion und Extension dargestellt werden (Porter, 1996).

Von einer allgemeinen bildgebenden Diagnostik wird überwiegend abgeraten (Tronnier, 2014). Klagt der Patient daher lediglich über Rückenschmerzen sollte eine radiologische Diagnostik unterbleiben, obwohl diese auch dann in der klinischen Praxis üblich ist. Maßgebliches Kriterium sollte sein, ob eine radiologische Diagnostik im konkreten Fall zu therapeutischen Konsequenzen führen kann, was beispielsweise dann nicht der Fall ist, wenn der Patient eine Operation ohnehin ablehnt oder nicht operationsfähig ist (Saraste, 1987).

### 1.2.3.2 Die Spondylolisthesis

Unter Spondylolyse wird eine Spaltbildung in der Interartikularportion des Wirbelbogens verstanden, in deren Folge es zum als Spondylolisthesis bezeichneten Gleiten von Wirbelkörpern übereinander kommen kann (Wiltse & Rothman, 1989). Der Begriff Spondylolisthesis ist eine Wortbildung aus den griechischen Begriffen spondylos (Wirbel) und olisthesis (Gleiten) und beschreibt eine Wirbelsäuleninstabilität, die dadurch entsteht, dass sich ein oberhalb gelegener Teil der Wirbelsäule mit einem *Gleitwirbel* über einen unterhalb gelegenen Körper schiebt, wobei der Gleitvorgang meist nach ventral erfolgt. Die als Retrolisthesis bezeichnete umgekehrte Gleitrichtung ist demgegenüber weit seltener. Nach ihrer Ätiologie werden die degenerative Spondylolisthesis, bei der die Lockerung der betroffenen Strukturen als Folge degenerativer Vorgänge erfolgt und angeborene bzw. bereits im Kindesalter erworbene Formen unterschieden, die auch als Spondylolisthesis vera bezeichnet und in eine Mehrzahl von Subtypen differenziert wird. Neben degenerativen Prozessen sind im Erwachsenenalter auch Wirbelfrakturen oder postoperative Komplikationen nach einer Wirbelsäulenoperation als Ursachen für die Erkrankung denkbar (Wiltse & Rothman, 1989). Mit der gebräuchlichen Klassifikation nach *Meyerding* wird das Ausmaß des Gleitprozesses wie folgt differenziert (Wittenberg, Willburger, & Krämer, Orthopäde):

Grad 1: Gleitvorgang bis zu 25 %

Grad 2: Gleitvorgang bis 50 %

Grad 3: Gleitvorgang bis 75 %

Grad 4: Gleitvorgang von mehr als 75 %

Klinisch manifestiert sich die Erkrankung häufig als Kreuzschmerz, wobei bei der degenerativen Spondylolisthesis eine Korrelation zwischen dem Ausmaß der Degeneration und den

Beschwerden nicht unmittelbar besteht (Wiltse & Rothman, 1989). Wenn Nervenwurzeln betroffen sind, können die Beschwerden der LWS in den Oberschenkel und weiter in die Beine ausstrahlen und Symptome vergleichbar denen einer Spinalkanalstenose verursachen (Airaksinen, Brox, & Cedraschi, 2006). Bei der Inspektion insbesondere schlanker Patienten imponiert häufig eine als Sprungschancenphänomen bezeichnete Stufenbildung im Bereich der unteren Lendenwirbelsäule (Wiltse & Rothman, 1989). Nachfolgende Abbildungen zeigen Aufnahmen einer typischen Lumbalkanalstenose sowie einer Spondylolisthesis.



**Abbildung 3: Axiales MRT-Bild einer lumbalen Spinalkanalstenose Quelle: Lumbale Spinalkanalstenose Outcome Studie**



**Abbildung 4: Spondylolisthesis Quelle: American Association of Orthopedic Surgeons**

### 1.2.3.3 Die degenerative Bandscheibenerkrankung

Unter dem Begriff der degenerativen Bandscheibenerkrankung, die häufig auch als DDD (degenerative disc disease) bezeichnet wird, werden Rückenschmerzen und durch Ausstrahlung in die Extremitäten verursachte Beschwerden zusammengefasst, die von der Degeneration einer Bandscheibe verursacht werden können. Die Bezeichnung kann jedoch insofern missverständlich wirken, da allein die Degeneration der Bandscheibe nicht zwangsläufig zu Beschwerden führen muss (Atlas, et al., 2005). Die Bandscheibendegeneration ist ein durch bildgebende Verfahren, insbesondere CT und MRT, festgestellter Befund einer Beeinträchtigung der Bandscheibe durch den Verlust von Wasser, eine Fibrose oder nachfolgend Risse im Bandscheibenkörper, die als Folge der nachlassenden Spannung des Kerns auftreten. Die Degeneration der Bandscheibe wird aber erst dann zum Krankheitsbild, wenn damit Beeinträchtigungen des Patienten verbunden sind (Atlas, et al., 2005). Insbesondere die Abnahme des Wassergehaltes der Bandscheibe mit zunehmendem Alter ist ein physiologischer Vorgang, der durch die geringer werdende Fähigkeit des Nucleus pulposus, Wasser zu binden verursacht wird. Der Wasserverlust führt im MRT zum *black-disk-Phänomen*, da sich die Bandscheiben mit zunehmendem Wasserverlust schwarz darstellen. Neben weiteren pathophysiologischen Veränderungen bewirkt der Verlust von Wasser eine Höhenabnahme der Bandscheibe, was eine erhöhte Belastung der Wirbelgelenke nach sich

zieht (Kleinstueck, Fekete, & Jeszenszky, 2011). Eine eindeutige Symptomatik der Erkrankung besteht nicht; vergleichsweise häufig wird über immer wieder auftretende plötzliche Attacken von Rückenschmerzen und einer Verstärkung des Schmerzes beispielsweise durch Husten und Pressen berichtet. Mit der degenerativen Bandscheibenerkrankung können instabile Verhältnisse im betreffenden Segment verbunden sein, da die von einer physiologischen Bandscheibe mitbewirkte Beschränkung der Bewegungsfreiheit der Wirbelsäule beeinträchtigt sein kann. Folge ist eine degenerative Spondylolisthesis, die eine Indikation zur Fusionsoperation darstellen kann (Atlas, Keller, Wu, Deyo, & Singer, 2005). Die Notwendigkeit einer Operation bzw. das zwingende Vorziehen einer konservativen Behandlung wie auch gegebenenfalls deren Dauer und genaue Ausgestaltung sind im Einzelnen umstritten und waren und sind Gegenstand einer Reihe groß angelegter Untersuchungen (Diener & Weimar, 2012).

### **1.3 Behandlungsansätze bei lumbaler Kompression**

Degenerative Erkrankungen der Wirbelsäule können grundsätzlich konservativ oder operativ behandelt werden. Ob die eine oder die andere Behandlungsform im Einzelfall oder konzeptionell nach ihrem Ansatz günstigere Verläufe bewirkt, war bereits Gegenstand einer Vielzahl von teils breit angelegten Untersuchungen, ohne dass aus heutiger Sicht eine allgemeine Antwort gegeben werden könnte (Resnick, Watters, & Mummaneni, 2014). Grundsätzlicher Ansatz konservativer Behandlungskonzepte ist einerseits die mechanische Entlastung der Wirbelsäule durch physikalische, krankengymnastische, bewegungstherapeutische und vergleichbare Therapieformen und zugleich die Schmerzlinderung durch lokale oder systemische Analgetika und Antiphlogistika; auch die psychologische Betreuung der Patienten gilt als wesentlicher Bestandteil konservativer Therapieansätze. Operative Maßnahmen zielen auf Dekompression und werden erforderlichenfalls mit einer Fusion als stabilisierende Maßnahme verbunden. Bedenken gegen operative Vorgehensweisen richten sich zunächst darauf, dass evidenzbasierte Daten über Langzeitfolgen des einen oder anderen Therapieansatzes kaum existieren bzw. auf erheblichen methodischen Unsicherheiten beruhen (Diener & Weimar, 2012). Das, wie einführend angesprochen, auch bei dem für die vorliegende Arbeit durchgeführten Langzeit-Follow-Up zu beobachtende Phänomen, dass Patienten für Langzeitbeobachtungen häufig nicht mehr erreichbar sind oder, wie es in einer wesentlich größer angelegten Studie explizit formuliert wurde, aus Desinteresse den Kontakt zu den behandelnden Ärzten schlicht abbrechen (Atlas, Keller, et al., 2005), erschwert die Erhebung belastbarer Daten zu Langzeitergebnissen erheblich. Dazu kommt, dass die Beurteilung des Erfolgs des einen oder anderen Therapieansatzes entscheidend vom

Spontanverlauf der unbehandelten Erkrankung abhängt (Diener & Weimar, 2012). Mehrere Untersuchungen deuten darauf hin, dass insbesondere die Beschwerden bei einer lumbalen Spinalkanalstenose bei bis zu 70 % der Patienten früher oder später stagnieren, wobei der Spontanverlauf der unbehandelten Erkrankung nicht ausreichend untersucht ist (Diener & Weimar, 2012). Eine zwingende operative Behandlungsnotwendigkeit kann daher aus derzeitiger Sicht insbesondere für Patienten mit hochgradiger Stenose, progredienter Symptomatik sowohl im Hinblick auf Schmerzen wie Funktionsbeeinträchtigungen und Spondylolisthesis angenommen werden (Diener & Weimar, 2012).

### **1.3.1 Konservative Therapie**

Der konservative Therapieansatz ist als multimodulares Konzept zu verstehen, welches eine Kombination von medikamentösen und physikalischen Strategien umfasst (Diener & Weimar, 2012). Die unterschiedlichen Module entsprechen den multiplen Behandlungszielen der konservativen Therapie:

- 1) Systemische Schmerztherapie: Im Vordergrund steht die symptomatische Behandlung der mit der Erkrankung verbundenen Schmerzen, wobei systemische und lokale Ansätze verfolgt werden. Systemisch werden insbesondere Analgetika, Antiphlogistika und Antirheumatika wie NSAR oder COX-2-Hemmer, sollten die Schmerzen anders nicht beherrscht werden können, Opioide wie Tramal eingesetzt (Chou & Huffman, 2007). Die Verabreichung erfolgt im Bedarfsfall, wobei jedoch gerade bei älteren, multimorbiden Patienten die Interaktion mit wegen anderer Erkrankungen verabreichten Substanzen zu beachten ist. So sind beispielsweise COX-2-Hemmer wegen der bekannten kardiovaskulären Nebenwirkungen mit besonderer Vorsicht anzuwenden (Chou & Huffman, 2007). Auch Kortikoide werden häufig insbesondere kurzfristig und zur Stoßtherapie eingesetzt (Argoff & Sims-O'Neill, 2009). Darüber hinaus werden eine Reihe weiterer Substanzen wie etwa Muskelrelaxantien oder Neuroleptika und Antidepressiva als Koanalgetika verabreicht (Chou & Huffman, 2007).
- 2) Lokale Schmerztherapie: Lokal werden analgetisch wirksame Substanzen und Antiphlogistika insbesondere durch Injektionen appliziert. Ziel der Behandlung ist neben der Schmerzstillung eine Abschwellung betroffener Nervenwurzeln und der Abbau des epiduralen Venenstaus. Durchgeführt werden epidurale und periradikuläre Injektionen oder auch Injektionen in die Facettengelenke von Lokalanästhetika oder auch

Glukokortikoiden (Argoff & Sims-O'Neill, 2009). Der positive Effekt dieser Maßnahme wird durch eine Reihe von Untersuchungen bestätigt und besteht insbesondere auch darin, dass im Vergleich zu einer systemischen Therapie deutlich geringere Dosen an wirksamen Substanzen erforderlich sind (Argoff & Sims-O'Neill, 2009). Vereinzelt wird eine Durchführung der wirbelsäulennahen Injektionen unter Bildwandlerkontrolle oder CT-gesteuert vorgeschlagen, wobei jedoch die Strahlenbelastung zu beachten ist (Luijsterburg, Verhagen, & Ostelo, 2007). Zu bedenken sind jedoch die potenziellen Komplikationen der Infiltrationstherapie, die bis zu reversiblen, aber auch irreversiblen Lähmungen mit Querschnittsymptomatik und Infektionen bis hin zur tödlich verlaufenden Sepsis reichen können. Auch ausgedehnte Nekrosen, Empyeme und systemische Infektionen wurden beschrieben (Jordan, 2007). Neuere Untersuchungen sprechen zudem dafür, dass zumindest die Kortisoninjektion unabhängig von der Infiltrationsform bei Spinalkanalstenose keinen therapeutischen Vorteil beispielsweise im Vergleich zur Applikation von Lidocain zeigt, aber mit einem weit höheren Komplikationsrisiko verbunden ist (Hildebrandt & Pflingsten, 2009). Dies verdeutlicht, dass auch der als konservativ verstandene Therapieansatz mit erheblichen Risiken für Patienten und zudem der Gefahr, sich einer de facto wirkungslosen Therapie zu unterziehen, verbunden ist, was bei der Abwägung der Chancen und Risiken eines operativen Vorgehens bedacht werden sollte. Im Hinblick auf das häufig hohe Lebensalter der Patienten sind zudem auch zahlreiche generelle Kontraindikationen für wirbelsäulennahe Infiltrationen zu beachten. Nicht indiziert ist die Maßnahme beispielsweise bei schweren kardiovaskulären Erkrankungen wie Herzinsuffizienz, bereits bestehenden Infektionen im Injektionsgebiet oder Blutgerinnungsstörungen.

- 3) Physiotherapie: Eine Reihe von krankengymnastischen Konzepten zur mechanischen Entlastung der Wirbelsäule sind geeignet, Funktionsbeeinträchtigungen zu verbessern und Schmerzen zu lindern (Hayden, van Tulder, & Tomlinson, 2005) (Kalff, Waschke, Gobisch, & Hopf, 2013). So kann etwa ein Training der Bauch- und Rückenmuskulatur hilfreich sein. Die Bewegungsfähigkeit kann durch Sportarten wie Fahrradfahren oder Schwimmen verbessert werden, die keine zusätzlichen wirbelsäulenkomprimierenden Bewegungen erfordern (Kalff, Waschke, Gobisch, & Hopf, 2013). Nach den bisherigen Untersuchungsergebnissen lassen sich zumindest bei schwereren und chronifizierten Erkrankungsformen durch die beschriebenen Maßnahmen aber keine langfristigen Erfolge erzielen; insbesondere die Claudicatio spinalis ist in der Regel durch konservative

Maßnahmen kaum auf Dauer zu beeinflussen und neigt, anders als ein spontaner Bandscheibenvorfall, auch nicht zur spontanen Remission (Hayden, van Tulder, & Tomlinson, 2005).

### 1.3.2 Operative Therapie

Vor dem Entschluss zur Operation, sollten konservative Maßnahmen ausgeschöpft sein. So wurde häufig die Auffassung vertreten, dass zunächst für bis zu sechs Monate (Turner, Ersek, Herron, & Deyo, 1992), nach anderen Empfehlungen höchstens über drei Monate (Ciol, Deyo, Howell, & Kreif, 1996), eine konservative Therapie einschließlich wirbelsäulennaher Infiltrationen durchgeführt werden sollte, bevor die Indikation zu operativem Vorgehen getroffen werden könne.

Voraussetzung für die Operationsindikation soll zudem sein, dass die klinischen Befunde, mit denen der radiologischen Diagnostik übereinstimmen (Ciol, Deyo, Howell, & Kreif, 1996). Führend bei der Diagnosestellung sollte jedenfalls die klinische Symptomatik sein, wobei diese durch entsprechende radiologische Befunde unterstützt werden sollte; eine *radiologische Operationsindikation* besteht jedoch, wie bereits angesprochen, grundsätzlich nicht (Turner, Ersek, Herron, & Deyo, 1992). Bei der Entscheidung über eine Indikation zur Operation sollten auch denkbare Nebenwirkungen und Komplikationen alternativer oder zunächst unternommener konservativer bzw. minimalinvasiver Maßnahmen bedacht und mit den Risiken eines operativen Eingriffs in Relation gesetzt werden (Turner, Ersek, Herron, & Deyo, 1992). Es erscheint jedenfalls nicht sinnvoll, bei einer etwa wegen des bestehenden Beschwerdebildes ohnehin absehbaren Notwendigkeit zur Operation, Patienten zunächst den Belastungen und Risiken einer konservativen Behandlung auszusetzen, nur um einem bestimmten Behandlungsschema Folge zu leisten.

Bei einem Kaudasyndrom sowie sehr starken, therapierefraktären Beschwerden mit erheblichen neurologischen Defiziten, wie etwa progredienten Paresen oder einer Störung der Blasen- oder Mastdarmfunktion, wird von einer absoluten Indikation zur Operation ausgegangen, ohne dass es vorheriger frustranter konservativer Therapieversuche bedarf (Ciol, et al, 1996; Turner, Ersek, Herron, & Deyo, 1992). Ohne massive neurologische Beeinträchtigungen ist die Indikationsstellung vor allem vom individuellen Leidensdruck des Patienten und der Einschränkung seiner Lebensqualität und damit letztendlich von subjektiven Kriterien, wozu auch die Fähigkeit zur Compliance zählt, abhängig. Objektive, valide Daten zur Indikationsstellung beim Fehlen schwerer neurologischer Defizite bestehen nicht. Ein Kriterium soll jedoch die

verbleibende Gehstrecke bzw. deren Entwicklung im Krankheitsverlauf sein (Turner, Ersek, Herron, & Deyo, 1992).

Konzeptionell wird zur Behebung der Lumbalkanalstenose eine Dekompressionsoperation durchgeführt, die bei bestehender Instabilität gegebenenfalls mit einer Fusionsoperation kombiniert wird. Als klassisches Verfahren galt lange Zeit die komplette Laminektomie unter Entfernung des gesamten Wirbelbogens und des Dornfortsatzes wie der Ligamenta flava und interspinosa sowie der medialen Gelenkfacetten. Dieser Technik werden jedoch in mehreren Untersuchungen nur vergleichsweise geringe Erfolgsquoten von bis zu 64 % attestiert, was insbesondere mit der starken Traumatisierung des Gewebes und der operationsbedingten Destabilisierung des betroffenen Segments in Verbindung gebracht wurde (Ciol, Deyo, Howell, & Kreif, 1996). Diese Ergebnisse, insbesondere hinsichtlich der durch die Laminektomie bewirkten Instabilität, waren maßgeblich dafür, dass die Zahl der Fusionsoperationen stark zugenommen hat. Modifizierte Zugangswege wie transspinöse Zugänge oder auch die interspinöse Laminektomie haben nach derzeitiger Datenlage weder die Erfolgsaussichten verbessert noch die Notwendigkeit konsekutiver Fusionsoperationen verringert (Ciol, Deyo, Howell, & Kreif, 1996).

Ausgehend von der zunehmenden Erkenntnis, dass degenerative Lumbalkanalstenosen insbesondere durch Nervenkompressionen im Bereich des Zwischenwirbelraums verursacht werden, haben sich in der Folge vor allem Dekompressionsoperationen wie interlaminäre Fensterungen oder Laminotomien durchgesetzt (Thome, Zevgaridis, & Leheta, 2005). Da die medianen Strukturen der Wirbelsäule von diesen Techniken nicht betroffen sind, bleibt die dorsale Zuggurtung erhalten (Ciol, Deyo, Howell, & Kreif, 1996). Routinemäßig durchgeführt werden derzeit die interlaminäre Dekompression und die vollständige Laminotomie bzw. die Hemilaminotomie (Thome, Zevgaridis, & Leheta, 2005). Bei der interlaminären Dekompression wird das Ligamentum flavum mit den angrenzenden Anteilen der Wirbelbögen sowie Teile der Gelenkfacetten entfernt, so dass die Nervenwurzeln dargestellt und gegebenenfalls ebenfalls dekomprimiert werden können (Irwin, Hilibrand, & Gustavel, 2008). Bei einer Hemilaminotomie wird einseitig der Wirbelbogen und das Ligamentum flavum entfernt, wobei der Dornfortsatz erhalten bleibt. Durch dessen Unterschneidung wird auch eine Entlastung der Gegenseite erreicht (Irwin, Hilibrand, & Gustavel, 2008). Eine beidseitige Laminotomie kann zur Entlastung der Cauda equina und insbesondere bei beidseitiger Symptomatik erforderlich sein. Untersuchungen der einzelnen Operationsverfahren deuten darauf hin, dass die beidseitige Laminotomie nicht nur bessere Ergebnisse zeigt als die Laminektomie, sondern auch als die Hemilaminotomie (Resnick, Watters, & Mummaneni, 2014). Diese wird dennoch bei insbesondere einseitiger Symptomatik

empfohlen (Resnick, Watters, & Mummaneni, 2014). Die Durchführung erfolgt in der Regel mikrochirurgisch (Ciol, Deyo, Howell, & Kreif, 1996).

Die biportale endoskopische Wirbelsäulen Chirurgie (BESS) ist eine junge Ergänzung der minimal-invasiven Wirbelsäulenoperation. Eine Studie von Choi und Kim (2019) testete den klinischen Nutzen von BESS bei Spinalkanalstenose im Vergleich zu anderen gängigen chirurgischen Behandlungen wie der reinen mikroskopischen Dekompression und der Fusion mit Instrumentierung. Das minimalinvasive Verfahren, das zu weniger Verletzungen der Rückenmuskulatur und weniger Blutungsquellen führt, zeigte kurzfristig klinische Ergebnisse, die denen der offenen Operationsmethoden nicht unterlegen waren. Insgesamt kam es zu weniger hämodynamischen Veränderungen, ohne Notwendigkeit einer Bluttransfusion und nur zu leichten Veränderungen des CRP (Choi & Kim, 2019).

#### **1.4 Fusionsoperationen**

Wie bereits mehrfach angesprochen sind degenerative Erkrankungen der Lendenwirbelsäule nicht nur mit Nervenwurzelkompressionen und daraus resultierenden Beschwerden, sondern häufig auch mit einer Instabilität der Wirbelsäule verbunden. Ein Grund dafür ist der Höhenverlust der Bandscheibe, der zum Nachlassen der Spannung des Bandapparats mit nachfolgend gesteigerter Mobilität im betroffenen Segment führt (Atlas, Keller, Wu, Deyo, & Singer, 2005). Diese bewirkt eine Hypertrophierung der übermäßig beanspruchten Facettengelenke, so dass sich ossäre Anbauten bilden, die eine Verengung des Spinalkanals bewirken. Diese Veränderung der anatomischen Strukturen kann durch die zunehmende Instabilität zur Ausprägung einer Spondylolisthesis führen, wie die nachfolgende Abbildung verdeutlicht.

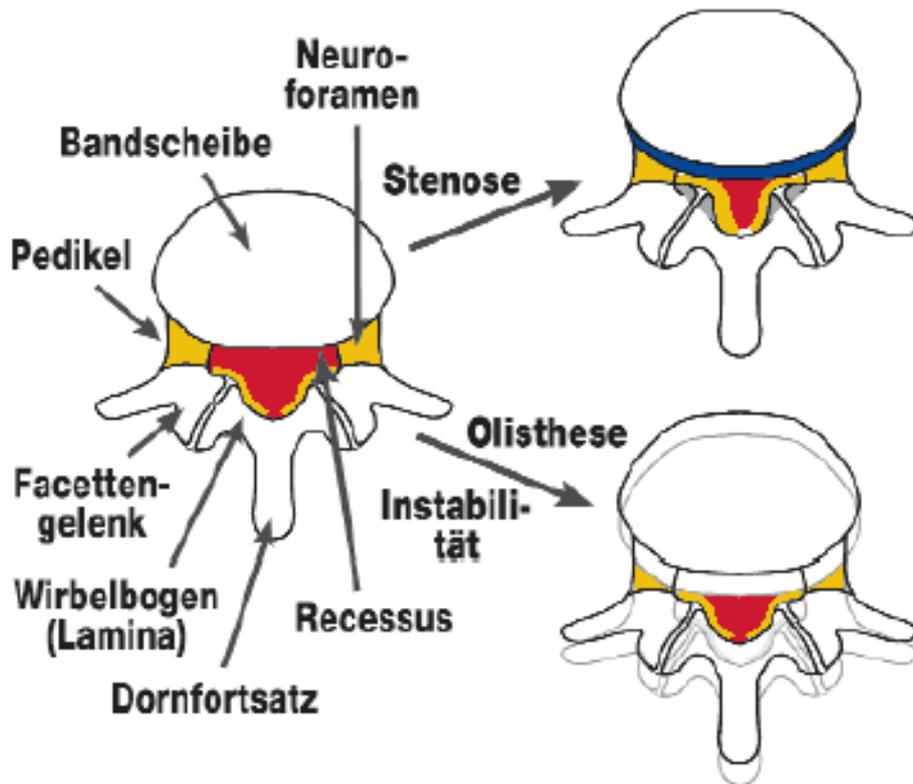


Abbildung 5: Instabilisierungsprozeß des erkrankten Segments Quelle: Thomé et al.

#### 1.4.1 Konzeptioneller Ansatz

Treten die beschriebenen Instabilisierungsprozesse auf, kann zusätzlich zur Dekompressionsoperation ein stabilisierender Eingriff erforderlich werden (Resnick, Watters, & Mummaneni, 2014; Overdevest, et al., 2015). Dieser wird, wie oben angesprochen, oft schon beinahe routinemäßig durchgeführt. Einer der dafür angeführten Gründe ist die Gefahr, dass die Dekompressionsoperation in Abhängigkeit von der eingesetzten Technik selbst die Instabilisierung weiter verstärken kann, da dabei knöcherne und ligamentäre Strukturen reseziert werden, die zwar zu einer Stenosierung, aber auch einer Stabilisierung des betroffenen Segments führen. Daraus lässt sich schließen, dass die reaktiven degenerativen Prozesse eine weitergehende Instabilisierung des Segments verhindern (Thomé, Börm, & Meyer, 2008). Unklar ist aber weiterhin, nach welchen Kriterien die Stabilität sowohl als Kriterium der Indikationsstellung zur Stabilisierungsoperation als auch als deren Ziel definiert werden soll (Atlas, Keller, et al., 2005). Beispielsweise soll eine Fusionsoperation dann durchgeführt werden, wenn Funktionsaufnahmen eine Mobilität von mehr als 4 mm zeigen, ein Wirbelgleiten von mehr als 5 mm besteht oder eine degenerative Lumbalskoliose von mehr als 20° vorliegt (Resnick, Watters, & Mummaneni, 2014).

Dabei handelt es sich um Anhaltspunkte; maßgeblich ist stets der klinische Befund, aber auch der Leidensdruck und ein daraus resultierender Operationswunsch des Patienten, soweit dieser auf realistische Vorstellungen vom erzielbaren Operationserfolg beruht (Atlas, Keller, et al., 2005).

Formal ist von einem stabilen Segment dann auszugehen, wenn es seine Aufgaben unter sämtlichen denkbaren Belastungen erfüllt und die neuronalen Elemente schützen kann (Overdevest, Jacobs, & Vleggeert-Lankamp, 2015). Dieses Verständnis hat schon vor weit mehr als einem Jahrhundert zu Versuchen stabilisierender Eingriffe geführt.

Ein amerikanischer Arzt mit europäischen Wurzeln, Dr. Berthold Hadra, war einer der ersten Chirurgen, der die Wirbelsäule bei einem Patienten mit einer Frakturdislokation erfolgreich fusionierte; dies gelang ihm, indem er zur Stabilisierung Drähte um die Wirbelsäule wickelte (Keller & Holland, 1997). Im Jahre 1909 führte ein deutscher Chirurg, Dr. Fritz Lange, als erster Wirbelsäulenversteifungsoperationen bei Skoliosepatienten durch. Dr. Lange revolutionierte die Praxis der Wirbelsäulenversteifung, indem er die Wirbelsäule mit Zelluloidstäben, Stahl und Seidendrähten begradigte - ganz ähnlich wie bei modernen Stabilisierungstechniken (Lange, 1910). In den 1950er Jahren führte Dr. Joseph Risser den Localizer Cast ein, der aus einem starren Rahmen mit Druck auf den Brustkorb bestand und für den Einsatz unmittelbar nach der Operation vorgesehen war. Dr. Risser kombinierte Fusionstechniken mit postoperativer Ruhigstellung, um die Patienten zu mobilisieren und gleichzeitig die chirurgische Korrektur während der Genesungszeit aufrechtzuerhalten.

Die bisher beschriebenen Fusionsverfahren lassen sich in nichtinstrumentierte und instrumentierte Ansätze differenzieren. Nichtinstrumentierte Verfahren zeichnen sich durch konzeptionelle Nachteile wie dem Fehlen der Primärstabilität und dem Erfordernis langwieriger Immobilisierung der Patienten aus, was insbesondere bei älteren Patienten kontraindiziert sein kann. Deshalb wurden instrumentierte Verfahren zur Unterstützung des Fusionsprozesses durch eine instrumentelle interne Fixation entwickelt (Overdevest, Jacobs, & Vleggeert-Lankamp, 2015).

#### **1.4.2 PLIF (posterior lumbar interbody fusion)**

Die PLIF-Technik ist ein Verfahren der festen, damit nicht-dynamischen Stabilisierung der Wirbelsäule durch die Fusion von Wirbelkörpern, die heute in der Regel in minimal-invasiver Form durchgeführt wird. Dabei wird der Eingriff von posterior vorgenommen und die betroffene Bandscheibe zwischen zwei Wirbeln entfernt. In die Wirbel kranial und kaudal der betroffenen Bandscheibe werden jeweils zwei Schrauben eingesetzt und in der Folge durch einen Stab miteinander verbunden. Meist werden autologe Knochen oder Knochenersatzsubstanzen

eingbracht, wobei als zusätzliches stabilisierendes Element der *Cage* zur Anwendung kommt (Waddel & Gibson, 2008). Bei der heute gebräuchlichen PLIF-Technik werden Cages verwendet, die ähnlich einem Käfig gestaltet sind. Sie können aus verschiedenen Materialien wie Titan oder PEEK bestehen und die von der entfernten Bandscheibe repräsentierten Platzverhältnisse imitieren. Bei der PLIF werden üblicherweise zwei Cages eingesetzt. Die nachfolgende Abbildung zeigt eine PLIF bei Spondylolisthesis.

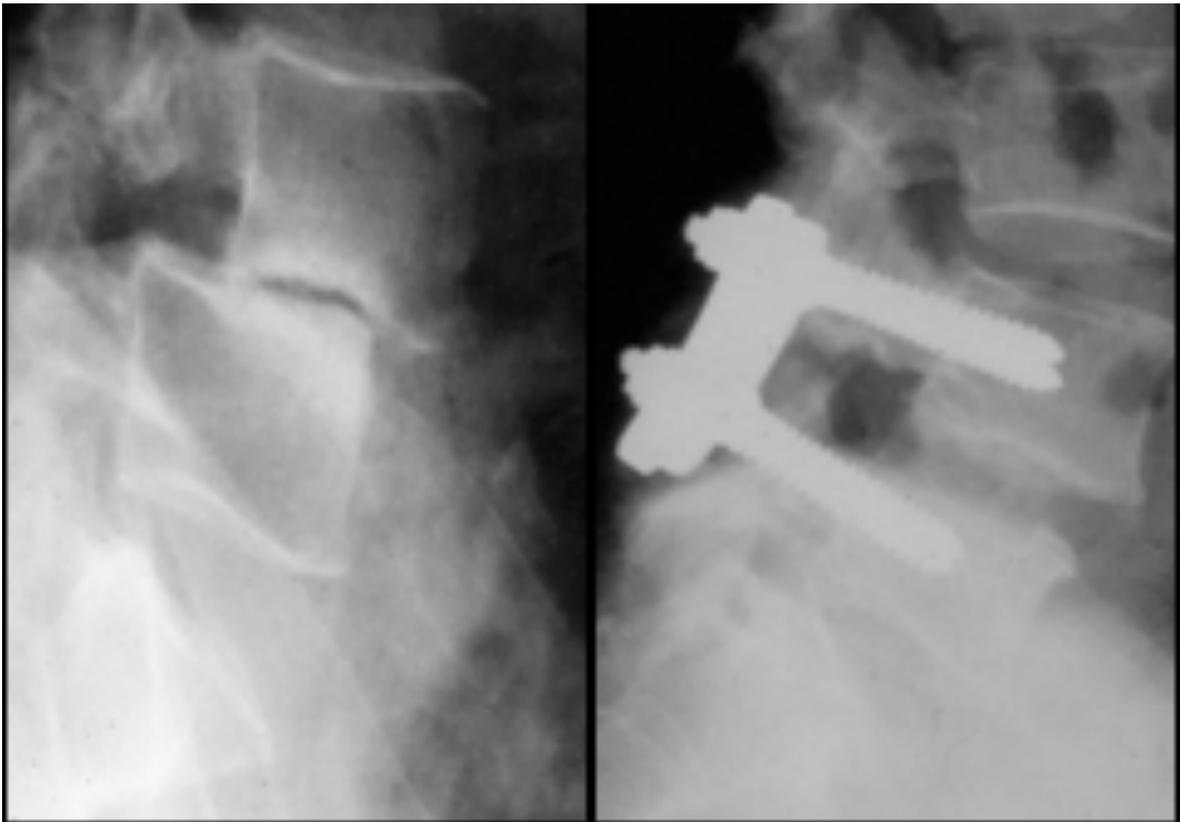


Abbildung 6: PLIF bei Spondylolisthesis Quelle: Lack

Neu ist der technische Ansatz selbst nicht: Bereits 1945 wurde die erste posteriore lumbale interkorporelle Fusion beschrieben, wobei zunächst durch eine interlaminäre Fensterung Knochen des Beckenkamms in das Wirbelfach appliziert wurden. Die ursprünglich 1945 von Cloward (1952) beschriebene posteriore lumbale interkorporelle Fusion (PLIF) wurde in der Folge von Steffee und Sitkowski (1988) modifiziert und wird seither als Routineeingriff an der Wirbelsäule praktiziert (Cloward, 1952) (Steffee & Sitkowski, 1988). Nach und nach weicht sie nun der transforaminalen lumbalen interkorporalen Fusion (TLIF), die nur eine einseitige Resektion der Gelenkfortsätze notwendig macht. Vulnerable Strukturen wie Dura und Nervenwurzeln sowie das

Ligamentum flavum und Ligamentum interspinosum werden geschont (Porter, 1996). Es wird berichtet, dass TLIF vergleichende klinische und radiologische Ergebnisse mit PLIF aufweist (Schulte, et al., 2006; Athivirahm, Yen, 2007). Heute hat sich im deutschsprachigen Raum das TLIF-Verfahren als häufigstes Operationsverfahren etabliert (Fleege, Rickert, & Rauschmann, 2015).

Beide Verfahren erwiesen sich als geeignet, um lumboischialgiforme Beschwerden zu reduzieren und das sagittale Profil der LWS wiederherzustellen. Die Operationstechniken generieren eine gute Fusionsrate und eine langfristige Stabilität. In einer Studie von Fleege et al. (2015) zeigte das TLIF-Verfahren eine kurze Operationszeit, einen geringen Blutverlust, ein geringeres intraoperatives Risiko für Verletzungen der neuralen Strukturen und eine verkürzte Rekonvaleszenz (Fleege, Rickert, & Rauschmann, 2015). Die Autoren empfahlen für einseitige Pathologien das TLIF-Verfahren und bei beidseitigen Kompressionen das PLIF-Verfahren (Fleege, Rickert, & Rauschmann, 2015).

Darüber hinaus mögen aber auch nicht ausschließlich medizinische Gründe ausschlaggebend für die Wahl der Operationstechnik sein, sondern auch die besondere Erfahrung, die Anwender mit dem Verfahren bereits gesammelt haben.

### **1.4.3 Weitere feste Fusionstechniken**

Neben der PLIF sind bzw. waren eine Reihe weiterer fester Fusionstechniken gebräuchlich, die teils besonderen Indikationen vorbehalten sind. Belastbare Untersuchungsergebnisse zu den einzelnen Techniken im Vergleich zu anderen Ansätzen fehlen jedoch weitgehend (Overdevest, Jacobs, & Vleggeert-Lankamp, 2015). Neben der PLIF werden insbesondere nachfolgende Techniken beschrieben:

- ALIF (anterior lumbar interbody fusion): Die Operation von ventral ist besonders dann indiziert, wenn ein Zugang von dorsal nach mehreren Voroperationen wegen starker Vernarbungen nicht mehr möglich ist (Resnick, Watters und Mummaneni 2014). Der Zugang kann mit oder ohne Eröffnung des Peritoneums erfolgen; ist diese erforderlich führt dies zu deutlich erhöhten Komplikationsraten. Zu beachten sind insbesondere die Gefahr von Infektionen, eines Ileus bei Eröffnung des Peritoneums oder von Gefäßverletzungen. Störungen der Sexualfunktion sind durch Verletzung des plexus hypogastricus bei einer ALIF im Segment L5/S1 denkbar. Die ALIF gerät nur noch in seltenen Fällen zur Anwendung (Whang, Sasso, et al., 2013). Trotz der höheren

Komplikationsgefahr und der vergleichsweise langen Dauer der Operation, bietet der ventrale Zugang aber auch Vorteile - wie etwa die Übersichtlichkeit des Operationsgebiets und die geringe Gefahr der Schädigung von Nerven (Whang, Sasso, Patel, Ali, & Fischgrund, 2013).

- 360° Fusion: Diese Technik kombiniert die ALIF-Technik mit einer zusätzlichen Fixation von dorsal und ist insbesondere bei einer erheblichen Instabilität des betroffenen Segments indiziert (Sabitzer, Lack, & Zenz, 2008).
- TLIF (transforaminal lumbar interbody fusion): Im Unterschied zur PLIF-Technik wird der Zugang zur Bandscheibe von lateral transforaminal gewählt, dies erlaubt die Einbringung eines interkorporalen Platzhalters weitestgehend ohne Tangieren der Dura. Zum Einsatz gelangt ein größerer Cage statt zwei kleinerer, wie dies bei der PLIF der Fall ist (Overdevest, Jacobs, & Vleggeert-Lankamp, 2015). Der transforaminale Zugang ist insbesondere bei Spondylolisthesis ohne Spinalkanalstenose und einseitiger Wurzelkompression und Bandscheibendegeneration indiziert.
- LLIF (lateral lumbar interbody fusion): Bei einer LLIF-Operation wird ein lateraler Zugang zur Lendenwirbelsäule geschaffen und die Muskulatur zur Seite geschoben. Die Studie von Phan et al. (2017) verglich in einer Meta-Analyse von insgesamt 9 Studien die Wirksamkeit der LLIF mit der PLIF. Die LLIF war mit einer geringeren Inzidenz von perioperativen Komplikationen und einer kürzeren Dauer des Krankenhausaufenthalts verbunden.
- DLIF/XLIF (direct / extreme lateral lumbar interbody fusion): Diese Fusionstechnik sieht einen seitlichen transspinalen Zugang vor und kommt vor allem für die Segmente L3/4 in Betracht; bei L4/5 besteht die erhöhte Gefahr einer iatrogenen Plexusschädigung. XLIF ist eine Alternative zu ALIF und ventrolateralen Fusionstechniken. Eine Indikation besteht insbesondere bei Instabilitäten der Wirbelsäule, aber auch sekundären Eingriffen (Cakir, et al., 2003). Da die Spaltung bzw. dorsale Retraktion des Musculus psoas erforderlich ist, kommt es relativ häufig zu einer Beeinträchtigung der Hüftbeugung (Resnick, Watters, & Mummaneni, 2014).
- AxialLIF (axial lumbar interbody fusion): Bei dieser minimal-invasiven Technik wird ein präsakraler Zugang gewählt, der zugangsbedingte Läsionen weitgehend verhindern soll. Die Technik kann vor allem für die Segmente L5/S1 aber auch L4/L5 eingesetzt werden (Quante & Halm, 2015). Primäre Indikation für das Verfahren ist eine Osteochondrose L5/S1 bzw. L4/L5 ohne gravierende Stenose sowie ein Postdiskotomiesyndrom. Das Verfahren ist nach den bisher vorliegenden Ergebnissen mit einer vergleichsweise geringen Stabilisierung und

hohen Komplikationsrate verbunden, die beispielsweise Perforationen des Rektums, präsakrale Blutungen sowie Infektionen betreffen, so dass zumindest aus derzeitiger Sicht das Ziel der Technik noch nicht erreicht wurde (Sabitzer, Lack, & Zenz, 2008).

#### 1.4.4 Dynamische Stabilisierungen

Neben den beschriebenen Ansätzen der festen Stabilisierung zielen andere Konzepte auf den Erhalt der Beweglichkeit. Bewegliche Schrauben-Stab-Systeme übernehmen die Funktion eines *Stoßdämpfers* und sollen so eine Stabilisierung der Wirbelsäule unter gleichzeitigem Erhalt ihrer Beweglichkeit bewirken (Schwarzenbach, et al., 2005). Der Ansatz geht davon aus, dass degenerative Prozesse der Wirbelsäule im Rahmen der physiologischen Alterung nur sporadisch mit schmerzhaften Episoden verbunden sind (Overdevest, Jacobs, & Vleggeert-Lankamp, 2015). Als pathologisch werden nach diesem Ansatz lediglich die Phasen der Beeinträchtigung des Patienten, nicht aber die oft geringen morphologischen Veränderungen der Wirbelsäule verstanden. Dynamische Stabilisierungssysteme zielen auf Entlastung während mit Schmerzen verbundener Episoden unter Erhalt der grundsätzlichen Beweglichkeit der Wirbelsäule (Bertagnoli, 2011). In dieser Phase kann eine Verringerung der Beweglichkeit des betroffenen Segments zur Entlastung der Bandscheiben und Facettengelenke führen und so die Wiederherstellung des altersentsprechenden physiologischen Zustands fördern (Resnick, Watters, & Mummaneni, 2014). Die Indikation für den Einsatz von Systemen zur dynamischen Stabilisierung besteht daher grundsätzlich bei degenerativen Erkrankungen eines lumbalen Bewegungssegments mit Zeichen der Instabilität und /oder einer funktionellen bzw. etablierten Stenose des Spinalkanals (Nockels, 2005). Bisher durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass es durch die Beweglichkeit der Implantate vergleichsweise häufig zu deren Lockerung bzw. zum Implantatversagen mit der Notwendigkeit von Folgeoperationen kommen kann (Nockels, 2005; Schwarzenbach, et al., 2005).

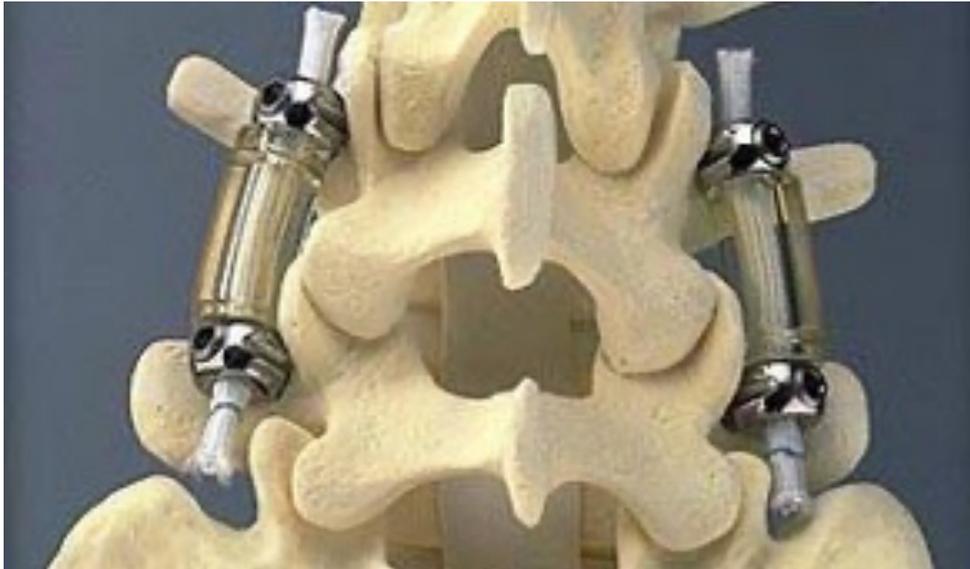


Abbildung 7: Pedikelschrauben-System DYNESYS® Quelle: DYNESYS®

### 1.5 Ausgewählte Publikation

Im Folgenden wird das Ergebnis einer großen Publikation exemplarisch für den Aufwand und die notwendige Flexibilität und Anpassungsfähigkeit groß angelegter klinischer Langzeitstudien dargestellt. Die Spine Patient Outcomes Research Trial (SPORT) ist mit insgesamt etwa 2500 Teilnehmern die bisher weltweit größte Studie mit dem Ziel, das Outcome der konservativen und operativen Therapie bei typischen Beschwerden der Lendenwirbelsäule miteinander zu vergleichen (Weinstein, Tosteson, Lurie, Tosteson, & Hanscom, 2006). Die SPORT Studie wurde unter Leitung des Dartmouth-Hitchcock Medical Center zwischen November 2000 und April 2015 an insgesamt 13 Kliniken in elf amerikanischen Bundesstaaten durchgeführt und besteht aus einer Reihe von Teilstudien, deren Ergebnisse sukzessive im Durchführungszeitraum veröffentlicht wurden (Weinstein, Tosteson, Lurie, Tosteson, & Hanscom, 2006) (Weinstein, Lurie, Tosteson, Tosteson, & Blood, 2008) (Desai, et al., 2012) (Desai, Bekelis, Ball, Lurie, & Mirza, 2012) (Pearson, et al., 2012) (Weinstein, Lurie, & Tosteson, 2009). In die Untersuchungen einbezogen waren Patienten mit folgenden Wirbelsäulenerkrankungen:

- Bandscheibenvorfall
- Spondylolisthesis
- Spinalkanalstenose

Die Studie war zunächst mit einem RCT- Design geplant – musste dann jedoch im zeitlichen Verlauf der Untersuchung in eine Beobachtungsstudie umgewandelt werden, da die inkludierten Patienten sich einer korrekten Randomisierung entgegenstellten.

Hinsichtlich der Ergebnisse der Patienten mit Spinalkanalstenose ergab sich folgendes Bild: Nach den 2008 veröffentlichten vorläufigen Ergebnissen schien sich ein Vorteil der Operation abzuzeichnen (Pearson, et al., 2012). Die *Intention-to-treat-Analyse* zeigte signifikant bessere Ergebnisse der operierten Patienten in Bezug auf die schmerz- und funktionsbezogene Lebensqualität, nicht jedoch auf die im ODQ gemessene Behinderung im täglichen Leben (Pearson, et al., 2012). In der *as-protocol-Analyse*, die sich auf die tatsächlich durchgeführte Behandlungen bezieht, waren die Vorteile für die operierten Patienten noch deutlicher und bezogen sich auf sämtliche untersuchte Endpunkte (Pearson, et al., 2012). Insgesamt gelangten die Autoren im Jahr 2008 zu dem Ergebnis, dass die operative Behandlung der Spinalkanalstenose im Hinblick auf sämtliche Endpunkte signifikante Vorteile gegenüber der konservativen Behandlung zeigt (Pearson, et al., 2012). Andere Autoren konnten diese positive Interpretation der Studienergebnisse nicht nachvollziehen und wiesen darauf hin, dass der Wechsel der Studienteilnehmer zwischen den einzelnen Behandlungsgruppen die Ergebnisse weitgehend unbrauchbar macht (Lurie, Tosteson, Abdu, & Zhao, 2015). Erst die Installation der Beobachtungsstudie habe dazu geführt, dass positive Ergebnisse für die operierten Patienten erzielt werden konnten. Auch zum damaligen Zeitpunkt war jedoch bereits erkennbar, dass auch konservativ behandelte Patienten eine Besserung ihres Befindens hinsichtlich aller untersuchten Endpunkte beobachten konnten, wenn auch die Besserung bei konservativer Behandlung langsamer eintrat (Pearson, et al., 2012). Die im Jahr 2015 veröffentlichten Ergebnisse der Langzeituntersuchungen deuten darauf hin, dass die zunächst festgestellten Vorteile der Operation nicht dauerhaft sind. Dies ergab vor allem der randomisierte Teil der Untersuchung. Sämtliche Vorteile, die in einem Beobachtungszeitraum von bis zu zwei Jahren im *intention-to-treat-Ansatz* erhoben worden waren, konnten nach acht Jahren nicht mehr festgestellt werden (Lurie, Tosteson, Abdu, & Zhao, 2015). In der Beobachtungsstudie blieben die positiven Effekte im Hinblick auf sämtliche Endpunkte jedoch stabil (Lurie, Tosteson, Abdu, & Zhao, 2015).

Hinsichtlich der Ergebnisse der Patienten mit Spondylolisthesis ergab sich folgendes Bild: In die Teilgruppe Spondylolisthesis des SPORT waren insgesamt 607 Patienten mit Spondylolisthesis bei Spinalkanalstenose einbezogen (Weinstein J. , Lurie, Tosteson, & Hanscom, 2007). An den operativ zu versorgenden Patienten sollte eine posteriore Laminektomie mit oder ohne Fusion durchgeführt werden. Welche zusätzliche Stabilisierungsmaßnahme intraoperativ vorgenommen

werden sollte, war im Studiendesign nicht festgelegt (Weinstein, Lurie, Tosteson, & Hanscom, 2007). Auch die Festlegung der konservativen Therapie blieb im Detail den behandelnden Ärzten vorbehalten. Auch hier wurde zwischen einer *intention-to-treat-Gruppe* und einer *as protocol-Gruppe* differenziert. Auch hier unterschieden sich die Ergebnisse erheblich. Bei der *intention-to-treat* - Analyse ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen konservativ behandelten und operierten Patienten im Hinblick auf sämtliche Endpunkte. Dies gilt für sämtliche Beobachtungszeitpunkte, beginnend mit der ersten Nachuntersuchung sechs Wochen nach Behandlungsbeginn bzw. nach einer Operation und für sämtliche weitere Überprüfungen der ersten beiden Jahre (Weinstein, Lurie, Tosteson, & Hanscom, 2007); es gilt aber auch für den weiteren Beobachtungszeitraum von vier Jahren. Die *as protocol-Analyse* ergab dagegen signifikante Vorteile der Operation, sowohl für die in den ersten beiden Jahren durchgeführte Untersuchungen, als auch die der folgenden beiden Jahre. Dabei blieben einmal festgestellte Vorteile der Operation auch in den nachfolgenden beiden Jahren erhalten (Weinstein, Lurie, Tosteson, & Hanscom, 2007).

## 1.6 Ziel der Arbeit

Obwohl die PLIF-Technik bereits ein etabliertes operatives Verfahren darstellt, gibt es zum Zeitpunkt des Studienbeginns nur wenig Daten zu Langzeitergebnissen über fünf oder zehn Jahre, die zudem eine Differenzierung zwischen der ein- und mehrsegmentalen chirurgischen Versorgung degenerativer lumbaler Wirbelsäulenerkrankungen mittels Fusion in PLIF-Technik an der Lendenwirbelsäule erheben.

Das Primärziel der vorliegenden Arbeit ist, die Entwicklung der Patienten hinsichtlich Schmerzen und alltäglicher Funktionsbeeinträchtigung im Rahmen einer nicht-randomisierten Longitudinalstudie mit einer Nachbeobachtungszeit von zehn Jahren zu beschreiben und Unterschiede der ein- und mehrsegmentalen Versorgung auf das klinische Outcome zu bewerten. Dies erfolgt anhand der objektiven Messung von Schmerzen, täglicher Funktion, sozialer Aktivität und emotionaler Gesundheit gemessen über zehn Jahre.

Als sekundäres Ziel gilt die Identifizierung von präoperativen, positiven oder negativen Prädiktoren hinsichtlich des klinischen Erfolgs einer PLIF-Operation.

Im Verlauf des Langzeit-Follow-Ups zeigte sich, die bei diesem Untersuchungstyp typische und häufig auftretende Schwierigkeit, dass eine Vielzahl von Patienten der Bitte um Teilnahme an den Nachuntersuchungen nicht folgten (Fourney, et al., 2011). Das konzeptionelle Problem der geringen Response soll in die Diskussion einfließen.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Studiendesign und Patientenkollektiv

Zunächst erfolgte in einer retrospektiven Auswertung an der Klinik für Neurochirurgie des BG Klinikum Bergmannstrost Halle/Saale die Datensammlung von Patienten, die sich wegen einer degenerativen Erkrankung der LWS - Spinalkanalstenose sowie Spondylolisthesis - einer segmentalen Stabilisierungsoperation in PLIF-Technik unterziehen mussten und bereits Teil einer prospektiven, monozentrischen, nicht randomisierten Beobachtungsstudie zur Untersuchung der Fusionsrate nach interkorporeller Spondylodese mittels Telamon™ Titan Fusion Device waren.

Mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Patientenakten wurden 66 Fälle aufgeschlüsselt, bei denen in der Zeit von Februar 2001 bis November 2003 eine lumbale Wirbelsäulendefusion in PLIF-Technik und im Rahmen der Telamon™ Titanium Primary User Evaluation, eine körperliche Untersuchung mit mehreren standardisierten Befragungsinstrumenten präoperativ sowie 24 Monate postoperativ, in der Klinik für Neurochirurgie des BG Klinikum Bergmannstrost Halle/Saale unter der Leitung von Prof. h.c. Dr. med. Hans Jörg Meisel, durchgeführt wurde. Die Ergebnisse der standardisierten Befragungsinstrumente präoperativ und 24 Monate postoperativ lagen den Patientenakten bei und konnten retrospektiv evaluiert werden. Die Daten wurden in den Jahren 2001-2005 von Assistenzärzten und Promovenden unter der Leitung von Prof. h.c. Dr. med. Hans Jörg Meisel erhoben. Das Primärziel einer hierzu veröffentlichten Arbeit war die Bewertung der Fusionsrate der PLIF- Operation aus einer nicht-randomisierten Verlaufsstudie mit einer Nachbeobachtungszeit von mindestens zwei Jahren (Bone, 2022).

Zur prospektiven Evaluierung der klinischen Langzeitergebnisse nach fünf und zehn Jahren, werden die 66 Patienten im Rahmen dieser Arbeit fünf Jahre postoperativ zu einem standardisierten Interview und zu einer körperlichen Untersuchung in die neurochirurgische Klinik eingeladen und in den Jahren 2006 bis 2008 persönlich visitiert. Die verwendeten Erhebungsbögen entsprechen denen der Telamon™ Titanium Primary User Evaluation. Zehn Jahre postoperativ werden die Patienten auf postalischem Weg erneut gebeten, die Operationsergebnisse anhand derselben Erhebungsbögen zu beurteilen. Zum FU 5 Jahre wurde zur Erhebung des neurologischen Status auch der *Jenny Scale* erfasst, dieser konnte jedoch nicht Teil der postalischen Erhebung nach zehn Jahren sein und wurde nicht statistisch ausgewertet. Postoperative CT-Scans lagen den Patientenakten bei, der postoperative, totale Lordosewinkel der Kohorte betrug  $\mu=45.73$ ,  $\sigma=8.64$ ,  $\text{min}=30$ ,  $\text{max}=76$ . Die Bewertung der Fusionsrate war nicht Teil dieser Arbeit.

## 2.2 Einschluss- und Ausschlusskriterien

Inkludiert wurden erwachsene Patienten mit lumbalen und lumbosakralen Pathologien. Einschlusskriterien waren die Degenerative Spondylolisthesis, Spondylolisthesis Grad I oder II, Instabilität und / oder Lendenstenose. Die Patienten wurden mit einem mit autologen Knochenchips gefülltem Cagepaar aus Titan pro betroffenes Segment versorgt (Telamon™ Titanium Fusion Device). Bei allen Patienten wurde neben der Wirbelsäulenfusion in PLIF-Technik eine zusätzliche posteriore Fixation durchgeführt. Patienten mit einem ASA-Status von fünf und sechs wurden nicht operiert, dieses galt als Ausschlusskriterium.

## 2.3 Operation, Operationsverfahren und Materialien

Die Eingriffe erfolgten mittels PLIF-Technik. Die Patienten wurden mit Cages der Marke Telamon Titan (Medtronic) TM (Fa. Medtronic, Minneapolis, Minnesota, USA), die mit autologen Knochenspänen gefüllt waren, versorgt. Die Cages können hinsichtlich ihrer Breite und Höhe individuell ausgewählt werden und werden zwischen zwei lumbalen oder lumbosakralen Wirbelkörpern eingesetzt, um bei lumbalen interkorporellen Fusionsoperationen Unterstützung und Korrekturen zu bieten. Die hohle Geometrie der Implantate erlaubt es, sie mit autogenem Knochen-Transplantat oder Knochenersatzmaterial zu füllen. Das Implantat besteht aus einer Titanlegierung Ti-6Al-4V, die durch Normen wie ASTM F136 oder ISO 5832/3 beschrieben wird (Stewart, 2003). Der Winkel der Cages betrug 3° bzw. 8°, die posteriore Höhe 8, 10 oder 12 mm und die Länge 22 oder 26 mm. Eine zusätzliche posteriore Instrumentierung wurde mit dem Tenor™-System (Firma Medtronic) vorgenommen. Von den 66 Patienten der Untersuchungsgruppe wurde jeweils monosegmental ein Patient in Höhe L2/L3, 8 Patienten in Höhe L3/L4, 36 Patienten in Höhe L4/L5 und 10 Patienten in Höhe L5/S1 operativ versorgt. Mehrsegmental wurden zwei Patient in Höhe L2/L3, L4/L5, sieben Patienten in Höhe von L3/L4, L4/L5 und weitere drei Patienten in Höhe von L4/L5, L5/S1 stabilisiert. Das Patientenkollektiv wurde von nur drei Operateuren, welche alle in der gleichen Klinik ausgebildet wurden, mit derselben Operationstechnik versorgt.

## 2.4 Verwendete Messinstrumente

Der Erfolg des Eingriffs wurde mit mehreren standardisierten Befragungsinstrumenten erhoben. Für das Langzeit Follow-Up kommen der Dallas Pain Questionnaire (DPQ), der Prolo Score und die visuelle Analog-Skala (VAS) zum Einsatz.

### 2.4.1 Dallas Pain Questionnaire (DPQ)

Der DPQ erfasst die Auswirkungen von Rückenschmerzen auf das tägliche Leben. Abgefragt werden die schmerzbedingten Beeinträchtigungen zu vier Dimensionen des Alltags: *Tägliche Aktivitäten* (7 Fragen), *Arbeit und Freizeit* (3 Fragen), *Angst/Depression* (3 Fragen), *Soziale Aktivitäten* (3 Fragen). Diese Tätigkeiten, Lebenssituationen bzw. Zustände, werden vom Patienten jeweils mit einem Wert zwischen null (keine Beeinträchtigung) und 100 (andauernde Beeinträchtigung) anhand einer visuellen Analogskala bewertet. Jede Skala ist in fünf bis acht Segmente unterteilt. Jedem Segment wird ein Wert zwischen null bis sieben zugewiesen. In jedem der vier genannten Bereiche des täglichen Lebens wird die Summe der Bewertungen berechnet und mit einer Konstanten multipliziert (3 für die Fragen 1-7, 5 für die Fragen 8-10, 11-14 und 14-16). Dies liefert einen Prozentsatz, der die Auswirkung des Schmerzes auf den betrachteten Bereich widerspiegelt. Die Einzelfragen beziehen sich auf folgende Umstände:

1. Schmerzen und Schmerzstärke
2. Persönliche Versorgung
3. Heben
4. Gehen
5. Sitzen
6. Stehen
7. Schlafen
8. Gesellschaftliches Leben
9. Reisen
10. Berufsleben
11. Besorgnis/Verfassung
12. Emotionale Kontrolle
13. Depression
14. Persönliche Beziehungen
15. Unterstützung durch andere
16. Negative Reaktionen

Der DPQ gilt als besonders geeignet, um das Outcome einer Fusionsoperation zu beurteilen, da er auch den psychosozialen Stress misst, dem die Patienten ausgesetzt sind. Dieser wiederum gilt als wichtiger Prognosewert zur Beurteilung des Erfolgs einer Fusionsoperation (Anderson,

Christensen, & Bünger, 2007). Der in dieser Arbeit verwendete Fragebogen wird auf Seite 65 veranschaulicht.

### 2.4.2 Prolo Score

Der Prolo Score zielt ursprünglich auf die Erhebung des Ergebnisses lumbaler Fusionsoperationen (Prolo, Oklund, & Butcher, 1986). Er wird zwischenzeitlich aber auch für andere Fragestellungen wie beispielsweise das Outcome nach neurochirurgischen Eingriffen etwa an der HWS eingesetzt. Eine mit der Erarbeitung des Prolo Scores verbundene Zielsetzung war, durch ein bewusst einfaches Design des Instruments andere Fragebögen abzulösen, um ein einheitliches Messinstrument zu schaffen und damit die Vergleichbarkeit von Studienergebnissen zu erleichtern (Longo, et al, 2010).

Der Prolo Score bezieht ausschließlich die Dimension des Schmerzes und die damit verbundenen Funktionsbeeinträchtigungen (F = functional) sowie die Fähigkeit zur Verrichtung bestimmter Tätigkeiten (E = economic) ein. Beide Einzelskalen sehen eine Bewertung zwischen einem Punkt und fünf Punkten vor, so dass das Gesamtergebnis zwischen zwei und zehn Punkten liegen kann. Nachfolgende Abbildung zeigt die Bewertungskriterien.

Score	Criteria
functional status	
1	total incapacity
2	mild to moderate level of low-back pain &/or sciatica
3	low level of pain & able to do everything expect sports
4	no pain, but has had > 1 recurrence of low-back pain or sciatica
5	complete recovery w/o recurrent pain, no activity restriction
economic status	
1	complete disability
2	no gainful occupation but can do housework or some retirement activities
3	able to work but not at previous occupation
4	able to work at previous occupation but w/ restriction or limited status
5	able to perform previous occupation w/o restrictions

Abbildung 8: Prolo Score Quelle: Vanti et al. (2013)

### 2.4.3 Visuelle Analog-Skala (VAS)

Die VAS wird zur Messung des subjektiv empfundenen Schmerzes herangezogen. Wie bei der vergleichbar konzipierten numerischen Ratingskala oder dem DPQ misst der Patient die erlebte Schmerzintensität selbst (Hilfiker, 2008). Das Verfahren eignet sich ausschließlich zur Messung des subjektiv empfundenen Schmerzes. Die VAS ist eine horizontale Skala, deren Endpunkte mit „kein Schmerz“ = 0 Punkte und „unerträglicher Schmerz“ = 10 Punkte beschriftet werden. Die Studienteilnehmer markieren mit einem Kreuz die durchschnittliche Intensität ihres Schmerzes in den jeweils genau beschriebenen Zeitabschnitten. Nachfolgende Abbildung zeigt das Beispiel einer visuellen Analogskala.

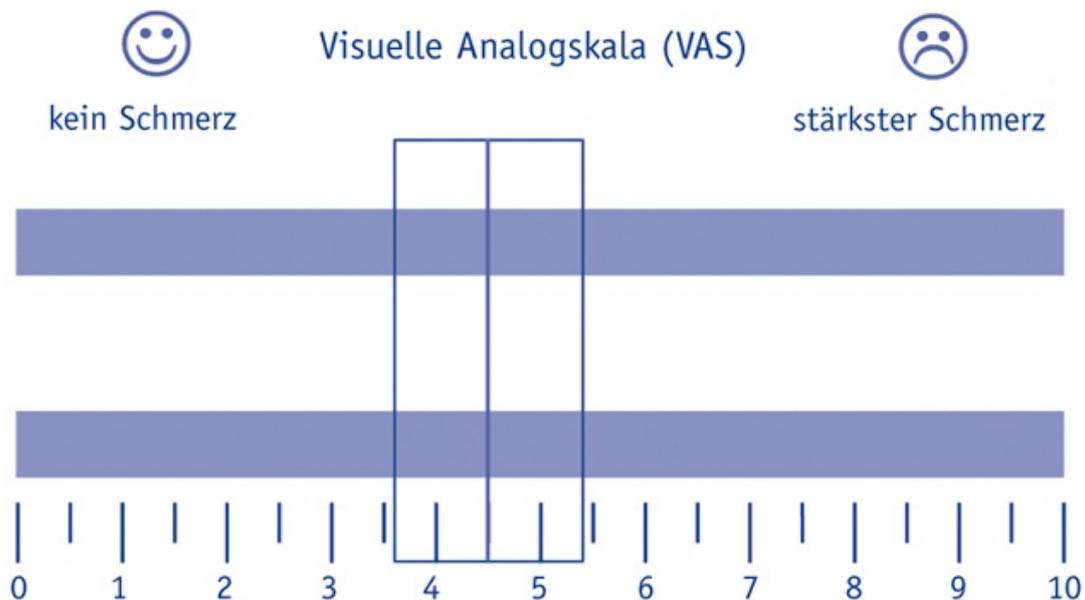


Abbildung 9: Visuelle Analogskala Quelle: Forum Schmerz

## 2.5 Statistische Methoden

Allgemeine deskriptive Statistik wird in Form von Häufigkeiten als Mittelwert und Standardabweichung (MW+-SD) berichtet.

Primäre Forschungsfrage: Wie entwickeln sich die Patienten im Zeitverlauf und hat die Anzahl der operierten Segmente einen Einfluss auf deren klinisches Outcome?

Generelle Hypothesen:

- Findet eine Änderung der erhobenen Messwerte im zeitverlauf statt (Haupteffekt)?

- Unterscheiden sich die Ergebnisse zwischen mono- und mehrsegmental operierten Patienten (Haupteffekt)?
- Ändern sich die Messwerte im Zeitverlauf unterschiedlich, in Abhängigkeit der mono- oder mehrsegmentalen Operation (Interaktionseffekt)?

Zur Analyse der Hypothesen der primären Forschungsfrage werden für die einzelnen Hypothesen separate GLMM (generelles lineares mixed Modell) für Messwiederholungen verwendet. Als Zwischensubjekteffekt/Variable wird die Information verwendet, ob ein- oder mehrsegmental operiert wurde (Gruppe). Das klinische Outcome wurde als abhängige Variable zu den vier Zeitpunkten präoperativ, zwei, fünf und zehn Jahre postoperativ verwendet. Berichtet werden die p-Werte und Effektstärken der beiden Haupteffekte (Zeitverlauf und Gruppe) sowie des Interaktionseffekts.

Als Effektstärke wird das partielle Eta Quadrat verwendet ( $pE^2$ ). Die Interpretation erfolgt nach Jacob Cohen; 0.1-kleine Effektstärke, 0.6 mittlere Effektstärke, 0.14 große Effektstärke (Cohen, J., 2013).

Varianzhomogenität wird mittels Mauchly Test überprüft. Liegt Varianzheterogenität vor, werden die Ergebnisse nach Greenhouse-Geisser Korrektur berichtet. Sollten Signifikanzen auftreten, werden Bonferroni post hoc Test als paarweise Vergleiche ausgeführt.

Sekundäre Forschungsfrage: Gibt es Zusammenhänge einzelner Variablen mit dem klinischen Outcome?

Hierzu wird die jeweilige absolute Änderung der klinischen Outcome-Variablen zum Zeitpunkt präoperativ mit den möglichen Einflussfaktoren (Alter und BMI) korreliert, um diese als mögliche Prädiktoren für ein klinisches Outcome zu identifizieren. Berichtet wird der p-Wert der Korrelation. Bei nicht Signifikanz wird kein Maß für den Zusammenhang berichtet. Besteht ein signifikanter Zusammenhang, wird dieses als  $r$  und als Bestimmtheitsmaß ( $r^2$ ) berichtet.

Statistische Lagemasse werden als Mittelwert und Standardabweichung (MW+-SD) oder Mittelwert und deren 95% Konfidenzintervall (MW+-CI) als untere und obere Grenze (lower limit-upper limit: LL-UL) angegeben. Das Signifikanzniveau beträgt jeweils 5% ( $\alpha < 0,05$ ). Als Software für statistische Analysen wird SPSS V.27 von IBM genutzt.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Anthropometrische Daten

##### 3.1.1 Patientengut

Inkludiert wurden 66 Patienten, die von 2001 bis 2003 an der Lendenwirbelsäule fusioniert wurden. Davon waren 27 männlich und 39 weiblich, mit einem Alter zwischen 30 und 80 Jahren und einem mittleren Alter von 59 Jahren.

Der präoperative American Society of Anesthesiologists-Status (ASA) der Patienten ist bei einem Patient I, bei 48 Patienten II und bei 17 Patienten III.

ASA I: normaler, gesunder Patient

ASA II: Patient mit leichten systemischen Erkrankungen ohne funktionelle Einschränkung

ASA III: Patient mit schweren systemischen Erkrankungen und definitiver funktioneller Einschränkung

ASA IV: Patient mit schweren, lebensbedrohlichen systemischen Erkrankungen

ASA V: moribunder Patient, der nicht ohne Operation überleben würde.

##### 3.1.2 Bodymaßindex (BMI)

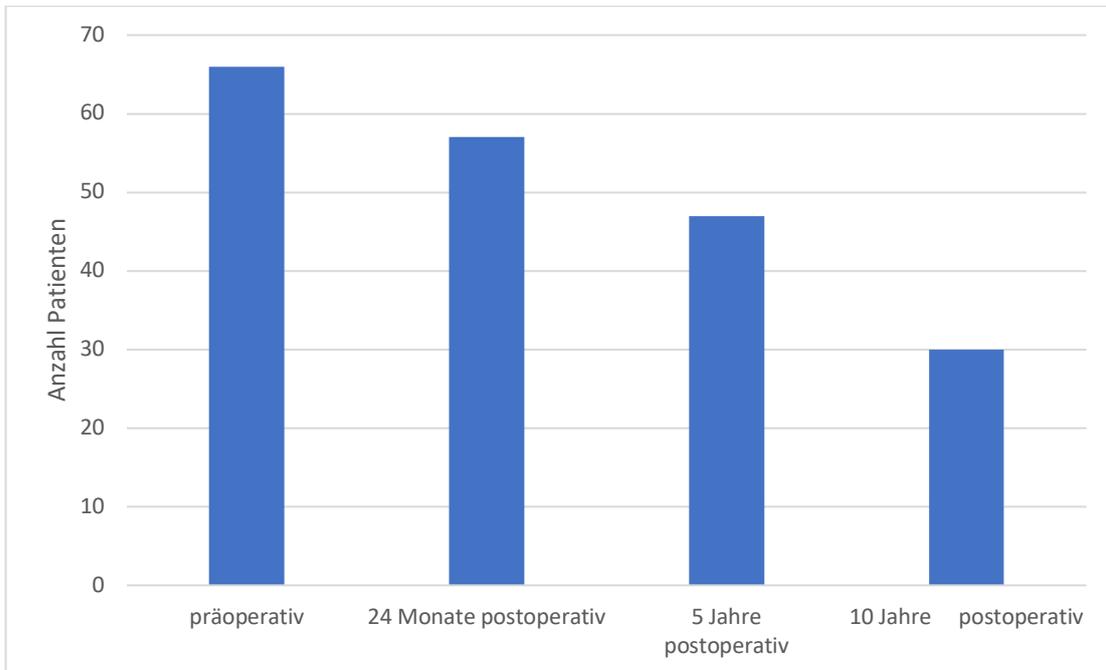
Der präoperative BMI der Studienpopulation lag durchschnittlich bei  $28,6 \pm 5$  kg/m<sup>2</sup> und reicht von 20,3 bis maximal 39,9 kg/m<sup>2</sup>. Unter den Teilnehmerinnen reicht der BMI von 21,5 bis maximal 39,9 kg/m<sup>2</sup>. Im Mittel lag der BMI der Frauen bei  $28,9 \pm 5$  kg/m<sup>2</sup>. Hingegen lag der BMI bei den Männern zwischen 20,3 und 37,1 kg/m<sup>2</sup>. Der durchschnittliche BMI in dieser Gruppe lag bei  $28,4 \pm 4$  kg/m<sup>2</sup>. 15 Frauen (38,5%) waren mit einem BMI von über 30 kg/m<sup>2</sup> adipös. Bei den Männern besaßen acht (29,6%) eine Adipositas. Der BMI gibt das Verhältnis von Körpergewicht zu Körpergröße an und wird berechnet, indem das Gewicht in Kilogramm durch das Quadrat der Körpergröße in Metern dividiert wird. Der resultierende Wert gibt an, ob eine Person untergewichtig, normalgewichtig, übergewichtig oder fettleibig ist. Ein BMI zwischen 18,5 und 24,9 wird als normal angesehen, während ein BMI von 25 bis 29,9 als übergewichtig und ein BMI von 30 oder höher als fettleibig gilt (Poirier, et al., 2006).

##### 3.1.3 Drop-out von Studienteilnehmern

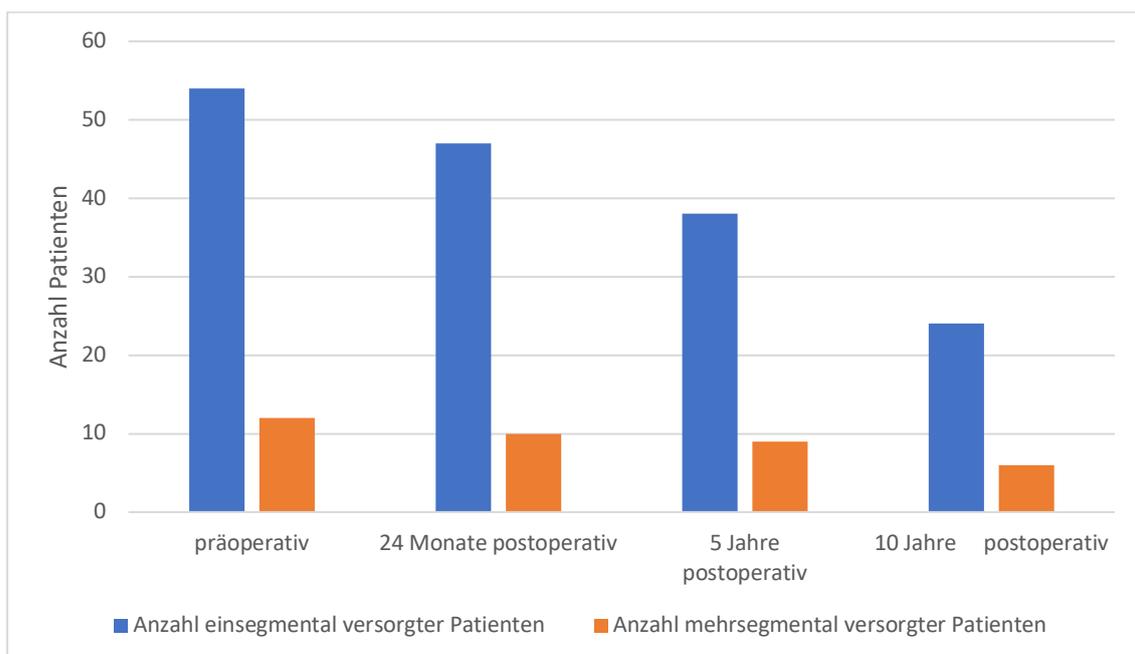
Die Zahl der Teilnehmer sank von ursprünglich (präoperativ) 66 Patienten auf 47 Personen zum FU 5 Jahre (71.21%). Zum 10-Jahres-Follow-Up konnten 30 Personen zur Teilnahme motiviert werden (45.45%). Der höchste Drop-out erfolgte zwischen dem FU 5 Jahre und FU 10 Jahre mit

einem Rückgang von 36.17%. Insgesamt erhielten zwölf Teilnehmer eine mehrsegmentale PLIF, zum FU 10 Jahre waren in dieser Gruppe sechs Teilnehmer (50%) erreichbar.

Die nachfolgenden Säulendiagramme veranschaulichen den Drop-out der Studienteilnehmer im zeitlichen Verlauf.



**Abbildung 10: Drop-out von Studienteilnehmern im zeitlichen Verlauf**



**Abbildung 11: Drop-out von Studienteilnehmern im zeitlichen Verlauf in Abhängigkeit der segmentalen Versorgung**

### 3.2 Ergebnis Dallas Pain Questionnaire

Der DPQ kann einen Gesamtwert zwischen null und 100 erreichen, wobei der Wert *null* für völlige Freiheit von den erhobenen Beeinträchtigungen und der Wert 100 für maximal belastende Krankheitsfolgen im jeweiligen Segment steht. Der in dieser Arbeit verwendete Fragebogen wird auf Seite 65 und 66 veranschaulicht.

#### 3.2.1 Ergebnis DPQ (Mittelwert) über 10 Jahre

Die folgende Tabelle und Abbildung zeigen den DPQ-Mittelwert über den Untersuchungszeitraum von 10 Jahren. Zunächst verbesserte sich das Outcome des DPQ (Mittelwert) innerhalb der ersten fünf Jahre postoperativ von 46,87 Punkte auf 33,46 Punkte. Das Gesamtergebnis des DPQ ist jedoch nicht signifikant ( $p=0,106$ ). Es folgt die weitere Differenzierung in die einzelnen Komponenten des Dallas Pain Questionnaire.

Tabelle 1: DPQ Mittelwert über den Untersuchungszeitraum von 10 Jahren

Zeitpunkt	Mittelwert	Standard Fehler	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
preOP	46,867	3,282	40,394	53,339
FU 2 Jahre	40,566	4,344	31,998	49,135
FU 5 Jahre	33,459	4,341	24,897	42,021
FU 10 Jahre	40,182	6,375	27,608	52,757

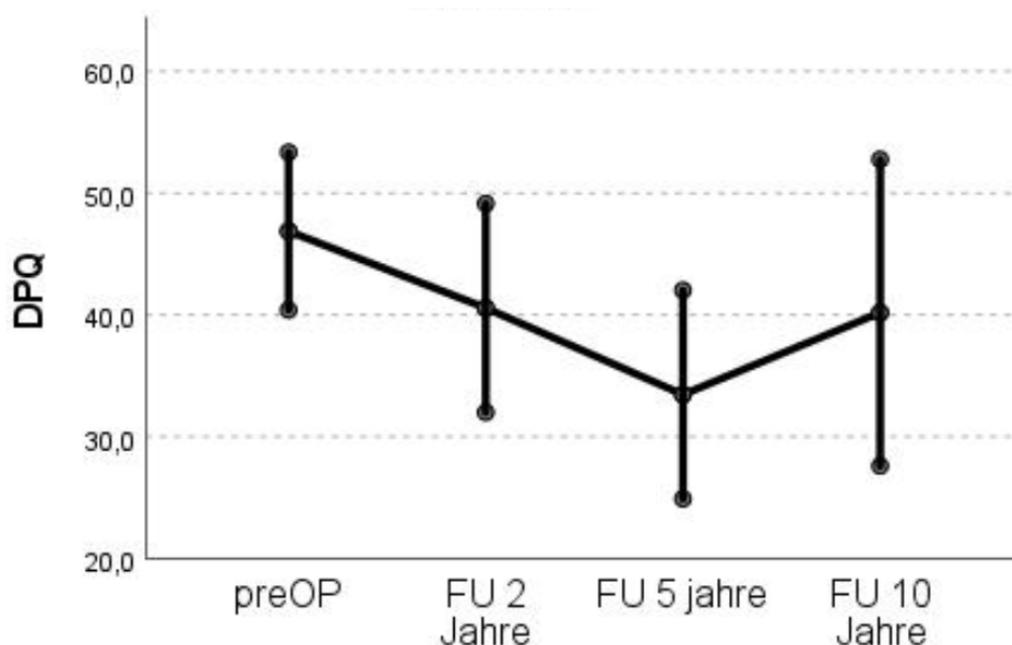


Abbildung 12: Entwicklung DPQ (Mittelwert) zu den Zeitpunkten präoperativ (n=66), FU 2 Jahre (n=57), FU 5 Jahre (n=47) und FU 10 Jahre (n=30) postoperativ

### 3.2.2 Ergebnis der vier Komponenten des Dallas Pain Questionnaire über 10 Jahre

Die einzelnen Werte der Komponenten des Dallas Pain Questionnaire, *Aktivitäten des täglichen Lebens* (ATL), *Aktivitäten in Freizeit und Beruf* (AFB), *psychische Verfassung* (PV) und *sozialen Interaktionen* (SI) wurden präoperativ mit den Werten der Follow-Ups nach zwei, fünf, zehn Jahren und untereinander verglichen. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der gemessenen vier Bereiche des täglichen Lebens über zehn Jahre.

**Tabelle 2: Ergebnisse der vier Komponenten des DPQ (Mittelwert) Präoperativ (n=66), FU 2 Jahre (n=57), FU 5 Jahre (n=47) und FU 10 Jahre (n=30).**

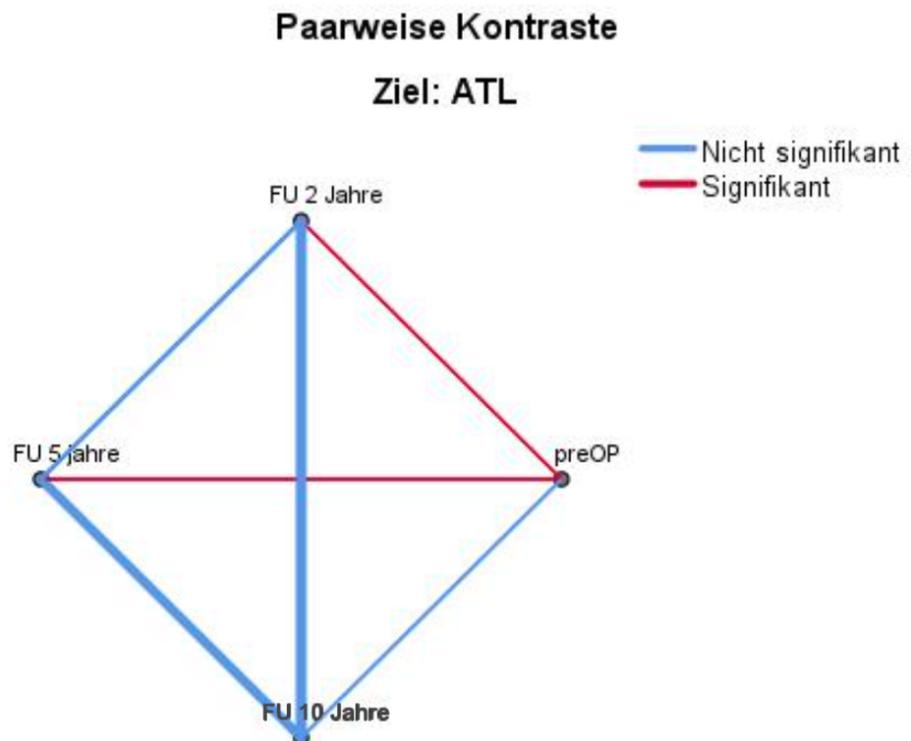
Zeitpunkt	DPQ ATL	DPQ AFB	DPQ PV	DPQ SI
präoperativ	68,5	58,5	28,8	25,2
FU 2 Jahre	53,1	47,8	33,9	27,7
FU 5 Jahre	42,8	32,1	33,8	26,4
FU 10 Jahre	55,4	38,3	41,3	37,5

Die Analyse des Haupteffektes *Zeitpunkte* (findet eine Änderung im Zeitverlauf statt) ist für die Komponente ATL ( $p < 0,001$ ) und AFB ( $p < 0,001$ ) signifikant und erlaubt den Paarweisen Vergleich. In den Komponenten PV und SI des Dallas Pain Questionnaire unterscheiden sich weder die Ergebnisse der ein- und zweisegmentalen Versorgung (PV:  $p = 0,680$ ; SI:  $p = 0,686$ ) noch die erhobenen Zeitpunkte (PV:  $p = 0,649$ ; SI:  $p = 0,834$ ) signifikant.

Das präoperative Ergebnis des ATL unterscheidet sich durch höhere Werte zu den Zeitpunkten FU 2 Jahre ( $p = 0,004$ ) und dem FU 5 Jahre ( $p < 0,001$ ). Es finden sich jedoch keine signifikanten Unterschiede von präoperativ zum FU 10 Jahre ( $p = 0,090$ ) und zwischen den anderen Paarweisen Vergleichen ( $p > 0,326$ ). Das lässt darauf deuten, dass es für die Komponente *Aktivitäten des täglichen Lebens* nach zehn Jahren keinen Unterschied mehr gibt zum Zeitpunkt von vor der Operation.

**Tabelle 3: Darstellung der Ergebnisse des DPQ-ATL (Aktivitäten des täglichen Lebens) der paarweisen Vergleiche für die einzelnen Zeitpunkte**

Zeitpunkt Paarweise Kontraste	Kontrastschätzer	Standard Fehler	T	df	Anp. Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Unterer Wert	Oberer Wert
preOP - FU 2 Jahre	18,707	5,527	3,384	192	0,004	4,327	33,087
preOP - FU 5 Jahre	27,852	5,822	4,784	192	2,051E-5	12,331	43,372
preOP - FU 10 Jahre	15,431	6,705	2,301	192	0,090	-1,476	32,337
FU 2 Jahre - preOP	-18,707	5,527	-3,384	192	0,004	-33,087	-4,327
FU 2 Jahre - FU 5 Jahre	9,144	6,710	1,363	192	0,349	-6,014	24,303
FU 2 Jahre - FU 10 Jahre	-3,277	7,489	-0,438	192	0,662	-18,048	11,495
FU 5 Jahre - preOP	-27,852	5,822	-4,784	192	2,051E-5	-43,372	-12,331
FU 5 Jahre - FU 2 Jahre	-9,144	6,710	-1,363	192	0,349	-24,303	6,014
FU 5 Jahre - FU 10 Jahre	-12,421	7,709	-1,611	192	0,326	-31,039	6,197
FU 10 Jahre - preOP	-15,431	6,705	-2,301	192	0,090	-32,337	1,476
FU 10 Jahre - FU 2 Jahre	3,277	7,489	0,438	192	0,662	-11,495	18,048
FU 10 Jahre - FU 5 Jahre	12,421	7,709	1,611	192	0,326	-6,197	31,039



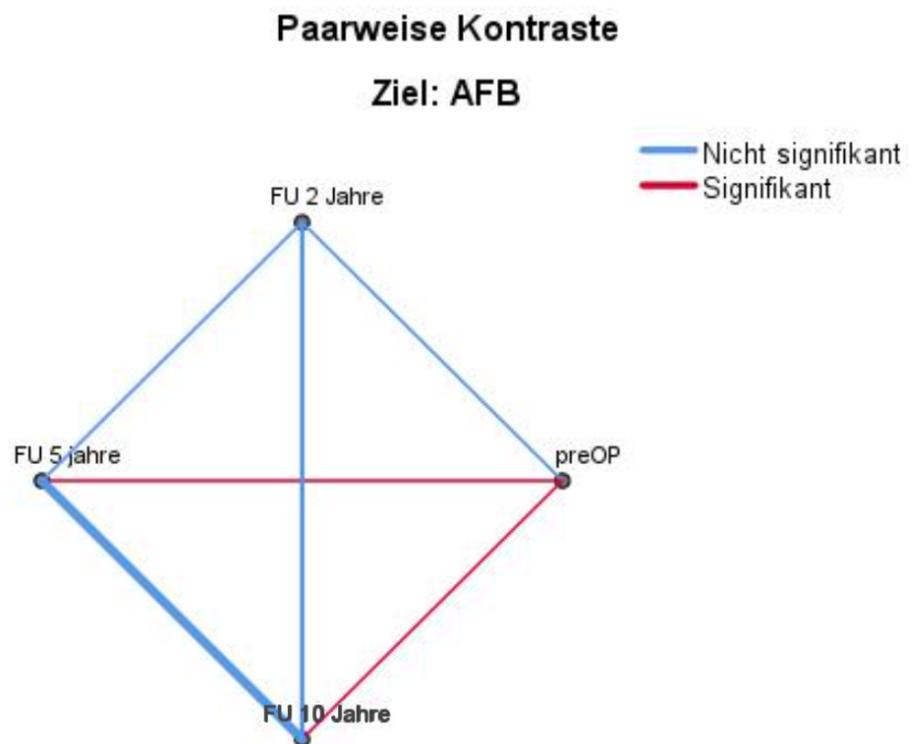
**Abbildung 13: Paarweise Kontraste DPQ-ATL (Aktivitäten des täglichen Lebens) präoperativ (n=66), FU 2 Jahre (n=57), FU 5 Jahre (n=47) und FU 10 Jahre (n=30) postoperativ**

Das präoperative Ergebnis des AFB unterscheidet sich durch höhere Werte, für die beiden Paarungen präoperativ zu FU 5 Jahre ( $p < 0,001$ ) und präoperativ zu FU 10 Jahre ( $p = 0,001$ ). Weitere paarweise Unterschiede lassen sich mit  $p > 0,093$  nicht finden. Zwischen allen Nachuntersuchungen besteht kein signifikanter Unterschied. Die Patienten profitieren auch nach

zehn Jahren noch signifikant, vornehmlich in den Qualitäten gesellschaftliches Leben und Reisen. Die folgende Tabelle und Abbildung verdeutlichen die Ergebnisse.

**Tabelle 4: Darstellung der Ergebnisse des DPQ-AFB (Aktivitäten in Freizeit und Beruf) der paarweisen Vergleiche für die einzelnen Zeitpunkte**

Zeitpunkt Paarweise Kontraste	Kontrastschätzer	Standard Fehler	T	df	Anp. Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Unterer Wert	Oberer Wert
preOP - FU 2 Jahre	16,330	7,144	2,286	192	0,093	-1,684	34,345
preOP - FU 5 Jahre	32,449	6,668	4,866	192	1,420E-5	14,672	50,225
preOP - FU 10 Jahre	27,431	7,274	3,771	192	0,001	8,506	46,355
FU 2 Jahre - preOP	-16,330	7,144	-2,286	192	0,093	-34,345	1,684
FU 2 Jahre - FU 5 Jahre	16,118	7,351	2,193	192	0,093	-1,782	34,019
FU 2 Jahre - FU 10 Jahre	11,100	7,904	1,404	192	0,324	-6,757	28,957
FU 5 Jahre - preOP	-32,449	6,668	-4,866	192	1,420E-5	-50,225	-14,672
FU 5 Jahre - FU 2 Jahre	-16,118	7,351	-2,193	192	0,093	-34,019	1,782
FU 5 Jahre - FU 10 Jahre	-5,018	7,477	-0,671	192	0,503	-19,765	9,728
FU 10 Jahre - preOP	-27,431	7,274	-3,771	192	0,001	-46,355	-8,506
FU 10 Jahre - FU 2 Jahre	-11,100	7,904	-1,404	192	0,324	-28,957	6,757
FU 10 Jahre - FU 5 Jahre	5,018	7,477	0,671	192	0,503	-9,728	19,765



**Abbildung 14: Paarweise Kontraste DPQ-AFB (Aktivitäten in Freizeit und Beruf) präoperativ (n=66), FU 2 Jahre (n=57), FU 5 Jahre (n=47) und FU 10 Jahre (n=30) postoperativ**

### 3.2.3 Ergebnis Differenzierung ein- und mehrsegmentaler Operationen über 10 Jahre im DPQ

Das folgende Diagramm zeigt die Entwicklung des DPQ (Mittelwert) unter Berücksichtigung ein- und mehrsegmentaler Operationen über zehn Jahre.

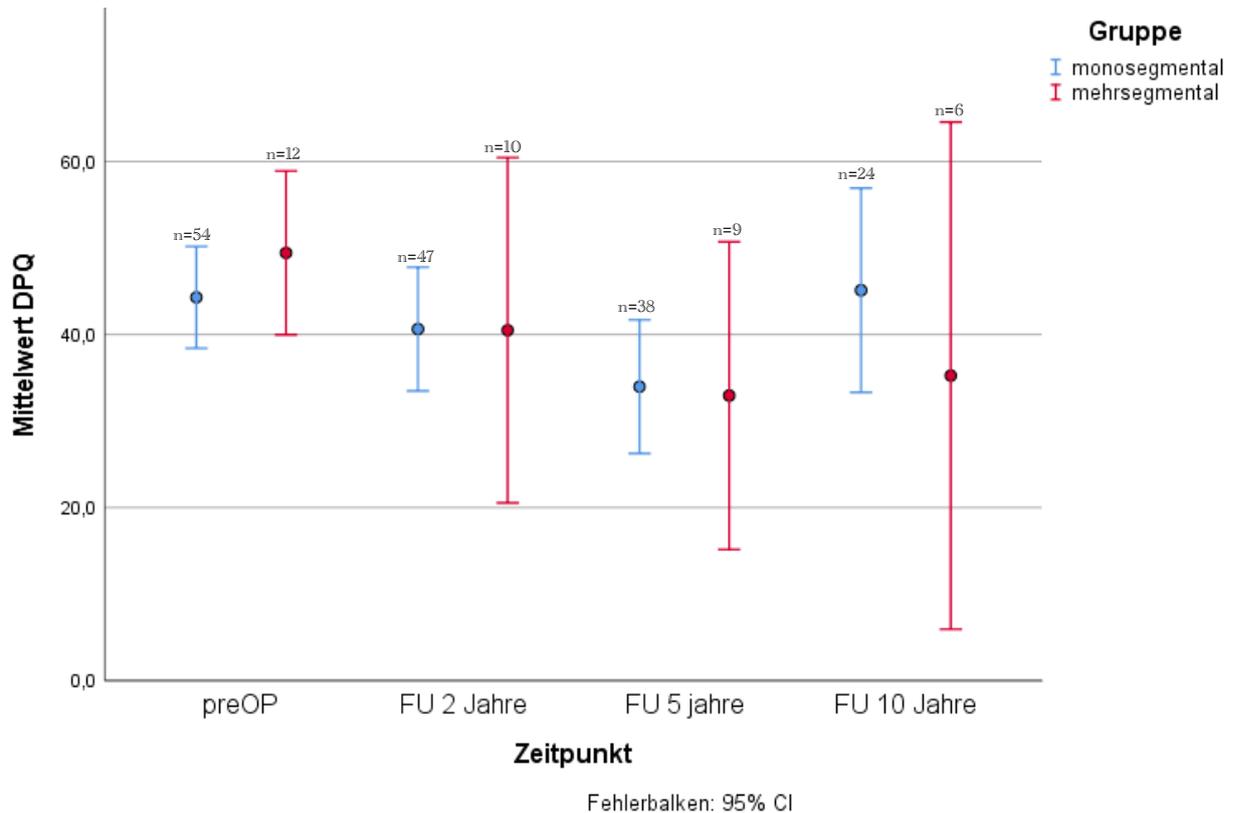


Abbildung 15: Entwicklung DPQ (Mittelwert) unter Berücksichtigung ein- und mehrsegmentaler Operationen über 10 Jahre

Über den Nachuntersuchungszeitraum erfuhren Patienten mit mehrsegmentaler Versorgung tendenziell ein besseres Outcome. Die Erhebung zwischen der ein- und mehrsegmentalen Versorgung ist jedoch nicht signifikant ( $p=0,756$ ). Der Interaktionseffekt, also die Frage, ob die ein- oder mehrsegmental Versorgung im Zeitverlauf zu unterschiedlichen Ausprägungen im Dallas Pain Questionnaire oder seiner Komponenten führt, ist für keine Subgruppenanalyse signifikant.

### 3.2.4 Zusammenhänge einzelner Variablen mit dem klinischen Outcome im Dallas Pain Questionnaire (DPQ)

Im Verlauf erfolgte eine Untersuchung der Ergebnisse des DPQ, sowie seiner einzelnen Komponenten ATL, AFB, PV und SI, in Bezug zum Alter und dem Body-Mass-Index der Patienten.

**Tabelle 5: Entwicklung DPQ (Mittelwert) über 10 Jahre unter Berücksichtigung des Alters der Patienten zum Operationszeitpunkt; jünger und älter als 65 Jahre**

Zeitpunkt	n Patienten < 65 Jahre	DPQ Alter < 65 Jahre	n Patienten Alter ≥ 65 a	DPQ Alter ≥ 65 Jahre
präoperativ	41	47,22	25	41,97
FU 2 Jahre	35	43,38	22	36,19
FU 5 Jahre	27	33,907	20	33,6
FU 10 Jahre	20	45,113	10	39,2

Es wurde die absolute Änderung der klinischen Outcome-Variablen zum Zeitpunkt präoperativ mit dem Einflussfaktor Alter korreliert. Hierbei konnte jedoch keine signifikante Korrelation zwischen Alter und dem Umfang von Änderungen im DPQ festgestellt werden.

Anschließend erfolgte eine Untersuchung der Werte im DPQ in den einzelnen Komponenten in Bezug auf den präoperativen BMI. Es erfolgt die Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Pearson (Pearson K.,1895). Insgesamt kann nur in der Analyse BMI zur Komponente Soziale Interaktionen (mehrsegmentale Versorgung FU 10), eine signifikante Korrelation festgestellt werden  $r=0,886$ . Das bedeutet, je höher der BMI, desto größer ist die Änderung in der Komponente Soziale Interaktionen. Die Ergebnisse folgen in Tabelle 6.

Aus den sonst erhobenen Daten ist kein Zusammenhang des Ausgangs-BMI zu den vier Komponenten des Dallas Pain Questionnaire nach zwei, fünf und zehn Jahren postoperativ zu erkennen. Ein erhöhter Ausgangs-BMI hat keinen nennenswerten Einfluss auf das erhobene Outcome im Dallas Pain Questionnaire.

**Tabelle 6: Abhängigkeit des BMI und den vier Subskalen des Dallas Pain Questionnaire zum Zeitpunkt FU 2 Jahre (n=10), FU 5 Jahre (n=9) und FU 10 Jahre (n=6) bei mehrsegmentaler Versorgung**

Subskalen des Dallas Pain Questionnaire	FU 2 Jahre $p \leq 0.05$	FU 5 Jahre $p \leq 0.05$	FU 10 Jahre $p \leq 0.05$
Aktivitäten des täglichen Lebens (ATL)	0,146	0,065	0,061
Aktivitäten in Freizeit und Beruf (AFB)	0,360	0,613	0,977
Psychische Verfassung (PV)	0,284	0,266	0,052
Soziale Interaktion (SI)	0,534	0,581	0,019

### 3.3 Ergebnis des Prolo Scores

Der Prolo Score differenziert zwischen schmerzbedingten Beeinträchtigungen functional status und der Fähigkeit bestimmte Verrichtungen auszuüben economical status. Die beiden Teilscores werden in den nachfolgenden Diagrammen getrennt dargestellt. Von den Patienten wurden nicht zu jedem Zeitpunkt alle Fragen beantwortet, sodass sich die Zahl, der jeweils berücksichtigten Antworten erheblich unterscheidet. Der Mindestwert beträgt je Teilscore 1 (das schlechteste mögliche Ergebnis), der Höchstwert 5 (das beste mögliche Ergebnis). Der in dieser Arbeit verwendete Fragebogen wird auf Seite 67 veranschaulicht.

#### 3.3.1 Entwicklung des Prolo Score über 10 Jahre

Nachfolgende Tabelle listet die Ergebnisse des Prolo Scores über 10 Jahre.

**Tabelle 7: Ergebnisse des Prolo Scores über 10 Jahre**

Zeitpunkt	n Patienten Functional Status	Functional Status	n Patienten Economical Status	Economical Status
präoperativ	65	2,9	66	3,106
FU 2 Jahre	57	3,509	57	3,509

FU 5 Jahre	46	2,804	10	3,2
FU 10 Jahre	30	2,833	4	4

Das gemittelte Ergebnis des Functional Status der Untersuchungsgruppe verbesserte sich 24 Monate postoperativ von präoperativ 2,9 auf 3,51 Punkte deutlich, ist jedoch nicht signifikant ( $p=0,224$ ). Weder im funktionellen, noch im ökonomischen Status der Prolo Scale, konnten signifikante Unterschiede der einzelnen Nachuntersuchungen festgestellt werden. Auf eine detaillierte Analyse der Economic Scale wurde aufgrund fehlender Response nach zehn Jahren verzichtet; die Patienten sahen keine Veranlassung, sich zu den Fragen zu äußern. Der Vergleich zwischen mono- und mehrsegmental operierten Patienten ( $p=0,496$ ) sowie der Interaktionseffekt ( $p=0,413$ ) sind nicht signifikant.

**Tabelle 8: Darstellung der Ergebnisse Functional Status des Prolo Score der paarweisen Vergleiche für die einzelnen Zeitpunkte**

Zeitpunkt Paarweise Kontraste	Kontrastschätzer	Standard Fehler	T	df	Anp. Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Unterer Wert	Oberer Wert
preOP - FU 2 Jahre	-0,441	0,218	-2,020	190	0,224	-1,008	0,127
preOP - FU 5 Jahre	0,273	0,267	1,021	190	0,926	-0,373	0,919
preOP - FU 10 Jahre	0,067	0,344	0,195	190	1,000	-0,636	0,770
FU 2 Jahre - preOP	0,441	0,218	2,020	190	0,224	-0,127	1,008
FU 2 Jahre - FU 5 Jahre	0,714	0,285	2,503	190	0,079	-0,047	1,474
FU 2 Jahre - FU 10 Jahre	0,508	0,358	1,419	190	0,630	-0,394	1,410
FU 5 Jahre - preOP	-0,273	0,267	-1,021	190	0,926	-0,919	0,373
FU 5 Jahre - FU 2 Jahre	-0,714	0,285	-2,503	190	0,079	-1,474	0,047
FU 5 Jahre - FU 10 Jahre	-0,206	0,390	-0,529	190	1,000	-1,086	0,674
FU 10 Jahre - preOP	-0,067	0,344	-0,195	190	1,000	-0,770	0,636
FU 10 Jahre - FU 2 Jahre	-0,508	0,358	-1,419	190	0,630	-1,410	0,394
FU 10 Jahre - FU 5 Jahre	0,206	0,390	0,529	190	1,000	-0,674	1,086

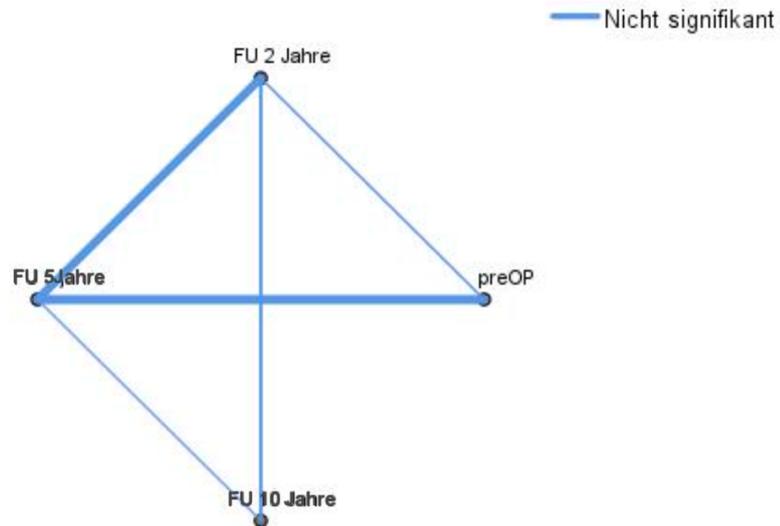


Abbildung 16: Paarweise Kontraste Functional Status des Prolo Score präoperativ (n=65), FU 2 Jahre (n=57), FU 5 Jahre (n=46) und FU 10 Jahre (n=30) postoperativ

### 3.3.2 Zusammenhänge einzelner Variablen mit dem klinischen Outcome im Prolo Score

Es kann keine signifikante Korrelation zwischen dem Alter und dem Umfang von Änderungen im Prolo Score festgestellt werden. Für den präoperativ erhobenen Body-Mass-Index (BMI) findet sich im Prolo Score eine signifikante Korrelation ( $r=-0,868$ ). Je höher der BMI ausfällt, desto geringer ist die Verbesserung, bzw. Verschlechterung im Functional Status des Prolo Score.

## 3.4 Ergebnis der VAS

Zusammen mit dem Prolo Score, wurde die VAS als Instrument zur Messung des subjektiv empfundenen Schmerzes erhoben.

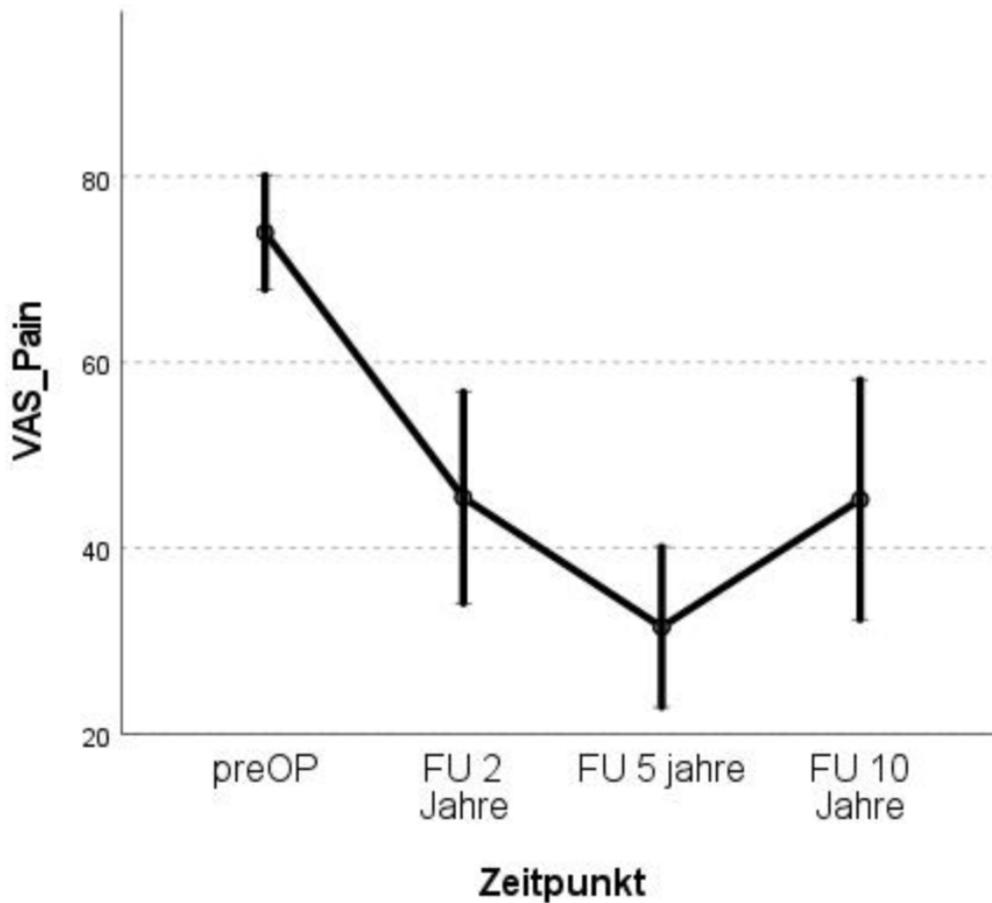
### 3.4.1 Entwicklung der VAS über 10 Jahre

Die folgende Tabelle zeigt die Entwicklung der VAS über 10 Jahre.

Tabelle 9: Entwicklung der VAS preOP (n=66), FU 2 Jahre (n=57), FU 5 Jahre (n=47) und FU 10 Jahre (n=30)

Zeitpunkt	Mittelwert	Standard Fehler	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
preOP	73,972	3,121	67,817	80,127
FU 2 Jahre	45,426	5,778	34,029	56,822
FU 5 Jahre	31,491	4,376	22,860	40,123
FU 10 Jahre	45,208	6,552	32,285	58,132

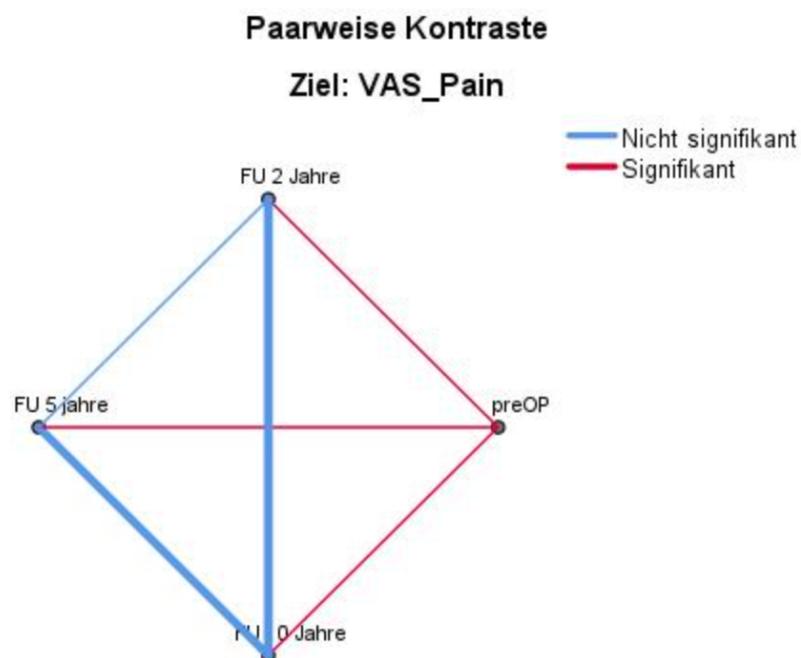
Das gemittelte Ergebnis zeigt innerhalb der ersten fünf Jahre postoperativ eine Verbesserung von präoperativ 73,98 Punkten auf 31,49 Punkte innerhalb der Nachuntersuchungsgruppe. Zwischen dem fünften und zehnten Jahr verschlechterte sich das Ergebnis der VAS jedoch wieder und nähert sich dem FU 2 Jahre an. Die signifikante Verbesserung innerhalb der ersten zwei Jahre postoperativ lässt sich zwischen den einzelnen Nachuntersuchungen nicht nachweisen ( $p>0,05$ ). Das heißt, nach zwei Jahren erfolgt keine signifikante Verbesserung mehr. Die paarweisen Vergleiche sind in Tabelle 11 dargestellt.



**Abbildung 17: Entwicklung der VAS (Mittelwert) zu den Zeitpunkten präoperativ (n=66), FU 2 Jahre (n=57), FU 5 Jahre (n=47) und FU 10 Jahre (n=30) postoperativ**

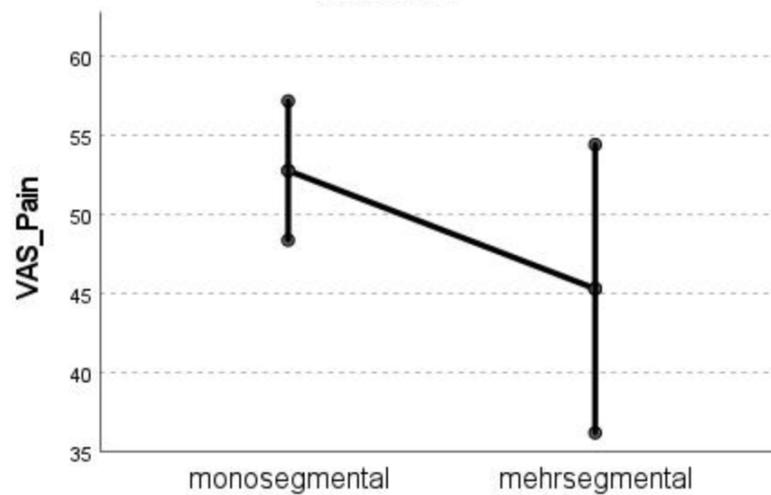
**Tabelle 10: Darstellung der paarweisen Vergleiche für die einzelnen Zeitpunkte der VAS**

Zeitpunkt Paarweise Kontraste	Kontrastschätzer	Standard Fehler	T	df	Anp. Sig.	95% Konfidenzintervall Unterer Wert	Oberer Wert
preOP - FU 2 Jahre	28,547	6,567	4,347	192	0,000	11,461	45,632
preOP - FU 5 Jahre	42,481	5,375	7,904	192	1,238E-12	28,152	56,810
preOP - FU 10 Jahre	28,764	7,257	3,963	192	0,000	10,465	47,063
FU 2 Jahre - preOP	-28,547	6,567	-4,347	192	0,000	-45,632	-11,461
FU 2 Jahre - FU 5 Jahre	13,934	7,248	1,922	192	0,168	-3,571	31,440
FU 2 Jahre - FU 10 Jahre	0,217	8,736	0,025	192	0,980	-17,014	17,448
FU 5 Jahre - preOP	-42,481	5,375	-7,904	192	1,238E-12	-56,810	-28,152
FU 5 Jahre - FU 2 Jahre	-13,934	7,248	-1,922	192	0,168	-31,440	3,571
FU 5 Jahre - FU 10 Jahre	-13,717	7,879	-1,741	192	0,168	-31,545	4,111
FU 10 Jahre - preOP	-28,764	7,257	-3,963	192	0,000	-47,063	-10,465
FU 10 Jahre - FU 2 Jahre	-0,217	8,736	-0,025	192	0,980	-17,448	17,014
FU 10 Jahre - FU 5 Jahre	13,717	7,879	1,741	192	0,168	-4,111	31,545

**Abbildung 18: Paarweise Kontraste VAS präoperativ (n=66), FU 2 Jahre (n=57), FU 5 Jahre (n=47) und FU 10 Jahre (n=30) postoperativ**

### 3.4.2 Ergebnis Differenzierung ein- und mehrsegmentaler Operationen über 10 Jahre in der VAS

Zur Beurteilung, ob sich die Schmerzen zwischen ein- und mehrsegmental operierten Patienten signifikant unterscheiden, werden die Zeitpunkte der Follow-Ups nicht differenziert betrachtet. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Mittelwerte. Es kann kein signifikanter Unterschied zwischen der ein- und mehrsegmentalen Versorgung gefunden werden ( $p=0,147$ ).



**Abbildung 19:** Ergebnis der VAS (Mittelwerte) unter Berücksichtigung ein- und mehrsegmentaler Operationen

### 3.4.3 Zusammenhänge einzelner Variablen mit dem klinischen Outcome der VAS

Es kann keine signifikante Korrelation zwischen dem Alter, dem Body-Mass-Index (BMI) und dem Umfang von Änderungen in der VAS festgestellt werden. Das präoperative Alter und der Body-Mass-Index haben keinen signifikanten Einfluss auf die postoperative Schmerzentwicklung.

## 4 Diskussion

### 4.1 Diskussion der Ergebnisse

In der durchgeführten Studie soll das klinische Outcome bezüglich Schmerzen und alltäglicher Funktionsbeeinträchtigung nach PLIF-Operation in einer Longitudinalstudie über zehn Jahre erhoben und Unterschiede hinsichtlich der ein- und mehrsegmentalen Versorgung sowie präoperativ, prospektive positive und negative Prädiktoren für eine Fusionsoperation in PLIF-Technik identifiziert werden.

Das Alter der Patienten in dieser Studie lag präoperativ im Mittel bei 59 Jahren, bei einer Verteilung zwischen 30 und 80 Jahren und entspricht in etwa dem in der Literatur angegebenen Operationsalter (Li, et al., 2017; Pintauro, M., et al., 2017). Dieses beläuft sich im Median meist auf circa 60 Jahre (Li, et al., 2017), bei Verteilungen zwischen 40 und 80 Jahren (Davis, et al., 2013). Die Altersverteilung der Nachuntersuchungen lag im Median stets bei 59 oder 60 Jahren und entsprach der präoperativen Verteilung.

Bezüglich der Geschlechterverteilung waren präoperativ mehr Frauen (59,1%) als Männer im Patientenkollektiv der Studie. Dies stimmt mit der üblichen Verteilung degenerativer Spinalkanalerkrankungen überein, von der Frauen häufiger betroffen sind (Hrsg. v. Matzen., et al., 2017).

Der erreichte FU-Zeitraum mit zehn Jahren ist bei den längsten Studien angesiedelt, wovon es zum Studienbeginn nur wenige gibt. Die meisten Studien sind auf Nachuntersuchungszeiträume von zwei, gelegentlich Fünfjahres-FUs ausgelegt. Durch dieses lange FU-Intervall lässt sich die FU-Rate von 71,2% (FU 5 Jahre) und 45,5% (FU 10 Jahre) bei einer Fallzahl von 66 Patienten erklären. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine Patientenbindung über zehn Jahre, durch zum Beispiel Umzug, Versterben, oder weitere Gründe der Nichterreichbarkeit, das Erzielen einer höheren FU-Rate erschwert. Das Problem der hohen Drop-Out-Rate wurde auch in anderen Untersuchungen beschrieben (Lurie, Tosteson, Abdu, & Zhao, 2015). Ob sich dies mit der Annahme begründen lässt, dass mit dem Operationsergebnis weniger zufriedene Patienten eher eine Nachuntersuchung aufsuchen als Patienten, die mit dem durch die Operation erzielten Status zufrieden sind und deshalb keinen Anlass zur weiteren Konsultation eines Arztes bzw. Teilnahme an einer Studie sehen, kann nicht mit letzter Sicherheit beurteilt werden.

Die operierten Patienten hatten in 34,8% der Fälle eine manifeste Adipositas. Unter den Männern waren 29,6% adipös, bei den Frauen litten 38,5% an Fettleibigkeit. Die Adipositasprävalenz in Deutschland betrug im Jahr 2003 laut RKI 25,3% bei Männern und 23,9% bei Frauen (Lampert,

Kroll, Müters, 2005). Die weibliche, wie auch die männliche Studienpopulation, wiesen somit im Vergleich zur Gesamtbevölkerung einen deutlich erhöhten BMI auf. Diese Daten legen nahe, dass der erhöhte BMI einen Risikofaktor für das Entstehen einer operationspflichtigen LWS-Erkrankung mit Fusionsindikation darstellt. Lønne et al. (2017) haben die Daten von 811.961 norwegischen Erwachsenen analysiert. Die Studie ergab, dass Übergewicht und Adipositas das Risiko für eine Spondylolisthese erhöhen (Lønne, et al., 2017). In der eigenen Studie wiesen Patienten mit einem erhöhten BMI lediglich eine signifikante Korrelation ( $p=0,019$ ) zu einem schlechteren Ergebnis in der Komponente zur sozialen Interaktion des DPQ auf. Auch andere Autoren beschreiben, dass adipöse Patienten ähnliche klinische Ergebnisse nach einer lumbalen Fusion wie normalgewichtige Patienten erzielen (Park, et al., 2020).

In der Analyse der Fragebögen verbesserte sich das Ergebnis des DPQ innerhalb der ersten fünf Jahre postoperativ kontinuierlich. Diese stetige Verbesserung ließ sich nach zehn Jahren nicht mehr abbilden und das Ergebnis näherte sich wieder dem präoperativen Ausgangswert. Damit konnte zwar eine kurz- und mittelfristige Verbesserung durch den operativen Eingriff erzielt werden – langfristig hat sich die Verbesserung jedoch nicht bestätigt. Positiv anzumerken ist, dass sich signifikante Verbesserungen ( $p < 0,01$ ) in den Kategorien *Tägliche Aktivitäten* über 5 Jahre und in der Subgruppe *Arbeit und Freizeit über 10 Jahre* als stabil erwiesen.

Auch das gemittelte Ergebnis der VAS zeigt innerhalb der ersten Jahre postoperativ eine signifikante Schmerzreduktion innerhalb der Nachuntersuchungsgruppe. Zwischen dem fünften und zehnten Jahr verschlechterte sich das Ergebnis der VAS jedoch wieder deutlich und nähert sich dem FU 2 Jahre an. Die signifikante Verbesserung innerhalb der ersten zwei Jahre postoperativ lässt sich zwischen den einzelnen Nachuntersuchungen nicht nachweisen ( $p>0,05$ ). Das heißt, nach zwei Jahren erfolgt keine signifikante Verbesserung mehr. Die Patienten profitieren postoperativ jedoch auch langfristig von einer Schmerzreduktion im Vergleich zur präoperativen Erhebung. Auch Lee et al. (2017) folgerten, dass die langfristige Schmerzreduktion nach PLIF-Operation bei Patienten mit lumbaler spinaler Stenose oder degenerativer Spondylolisthese stabil ist und dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen dem 5 und 10 Jahres FU gibt.

In allen Messinstrumenten der eigenen Kohorte erfuhren Patienten mit mehrsegmentaler Versorgung vermeintlich ein besseres Outcome. Die Ergebnisse zwischen den beiden Gruppen in Bezug auf die Schmerzreduktion ( $p=0,147$ ) oder die Verbesserung der Funktionsfähigkeit ( $p=0,756$ ) sind nicht signifikant. Auch die Interaktionseffekte, also die Frage, ob sich die Ergebnisse im Zeitverlauf unterschiedlich in Abhängigkeit der ein- oder mehrsegmental

Versorgung entwickeln, lassen keine Unterschiede erkennen. In jüngster Vergangenheit sind mehrere Studien zum Vergleich der ein- und zweisegmentalen Operationen in PLIF-Technik erschienen. Die Autoren konnten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen in Bezug auf die Schmerzreduktion oder die Verbesserung der Funktionsfähigkeit feststellen (Wang et al., 2018; Cho et al., 2019; Huang et al., 2020; Agarwal et al., 2021).

Insgesamt können die schlechteren zehn Jahres Ergebnisse des DPQ in der eigenen Erhebung auf das schlechte Abschneiden der Scores *Angst/Depression* und *Sozialer Aktivität* zurückgeführt werden, was neben den Qualitäten Schmerz und Funktionseinschränkung die Effekte der psychosozialen Komponente des Krankheitsempfindens verdeutlicht. Dies wird in der Literatur von Chen et al. (2017) jedoch gegensätzlich beschrieben. Die Studie umfasste 109 Patienten und untersuchte ihre soziale Aktivität vor und nach der PLIF-Operation. Die Ergebnisse zeigten, dass die Patienten nach der Operation signifikant höhere Werte in Bezug auf soziale Aktivität aufwiesen als vor der Operation. Die Autoren schlossen daraus, dass eine PLIF-Operation bei Patienten mit Lendenwirbelsäulenerkrankung dazu beitragen kann, die soziale Aktivität zu verbessern (Chen, et al., 2017). In Zusammenhang mit der psychosozialen und psychosomatischen Komponente, führten Pollock et al. (2012) eine prospektive Longitudinalstudie durch und schlussfolgerten, dass der präoperative psychologische Zustand das Ergebnis der PLIF-Operation beeinflusst (Pollock, et al., 2012). Bei der Beurteilung von Rückenschmerzen spielen psychische Faktoren generell eine große Rolle (Greenough CG, Taylor LJ, Fraser, 1994) und können die Schmerzwahrnehmung negativ beeinflussen (Hadjipavlou A, et al., 1996; Wiltse LL, et al., 1975). Ein körperliches Leiden korreliert signifikant mit dem psychologischen Leidensdruck (Tandon V, et al., 1999). Umgekehrt korreliert die Beschreibung von Schmerzen mit depressiven Verstimmungen (Hagg O, et al, 2003). Die Psyche spielt somit eine große Rolle bei der Krankheitsbewältigung, sodass die Ergebnisse von Wirbelsäulenoperationen hiervon abhängen können (Mayr M, et al., 2003). Eine Studie aus dem Jahr 2018 untersuchte den Einfluss einer psychologischen Betreuung auf das postoperative Ergebnis von Patienten, die sich einer PLIF-Operation unterzogen hatten. Die Autoren fanden heraus, dass die Gruppe, die eine psychologische Betreuung erhielt, im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant bessere Ergebnisse in Bezug auf Schmerz, Funktion und Lebensqualität aufwies (Yi, et al., 2018). Eine weitere Studie um Zhang et al. aus dem Jahr 2020 untersuchte den Einfluss einer präoperativen psychologischen Intervention auf das postoperative Ergebnis von Patienten, die sich einer lumbalen Fusion (einschließlich PLIF) unterzogen hatten. Auch hier erzielte die Gruppe, die die psychologische

Intervention erhielt, signifikant bessere Ergebnisse in Bezug auf Schmerz, Funktion und Lebensqualität im Vergleich zur Kontrollgruppe (Zhang, et al., 2020).

In keinem Erhebungsbogen konnte ein signifikanter Unterschied der Variable Alter oder Geschlecht gefunden werden. In einer systematischen Literaturrecherche von Li et al. aus dem Jahr 2016, in die zwölf randomisierte kontrollierte Studien (RCTs) mit insgesamt 1053 Patienten einfließen, wurden die Ergebnisse von ein- und zweisegmentalen PLIF bei männlichen und weiblichen Patienten verglichen. Die Ergebnisse zeigten, dass Frauen im Vergleich zu Männern höhere Raten von Komplikationen aufwiesen, aber es gab auch hier keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die Schmerzreduktion oder die Verbesserung der Funktionsfähigkeit (Li, X., et al., 2016).

Generell gilt festzuhalten, für die betroffenen Patienten ist mit einer Fusionsoperation ein Vorteil sowohl hinsichtlich der Verringerung der mit der Erkrankung verbundenen Schmerzen als auch der Funktionsbeeinträchtigung verbunden (Weinstein J., et al., 2007). Auch wenn dieser Vorteil mit zunehmendem Abstand zum Operationszeitpunkt immer weniger nachweisbar ist, spricht das nicht gegen die Entscheidung zur Operation. Anders als dies in mancher Literatur suggeriert wird, kann nicht angenommen werden, dass Patienten zehn Jahre nach einer Operation lediglich dem Status quo zu diesem Zeitpunkt Beachtung schenken, sondern auch ihr Schmerzerleben und ihre Funktionsfähigkeit in den zurückliegenden Jahren berücksichtigen. Zwischenzeitlich haben auch weitere Langzeitstudien den anhaltenden Vorteil der PLIF Operation bestätigen können, so konnten Fritzell et al. (2016) neben guten 10-Jahres-Ergebnissen auch beschreiben, dass das Ausmaß der präoperativen Behinderung ein Faktor für das Ausmaß der postoperativen Verbesserung war. Selbige Vermutung konnte in der eigenen Studie jedoch nicht signifikant belegt werden. Nicht zuletzt sind Langzeitergebnisse mit Vorsicht zu würdigen, da in den Langzeituntersuchungen spätere Einflüsse auf das Krankheitsgeschehen an der Wirbelsäule kaum berücksichtigt werden.

## **4.2 Limitationen der Studie**

Die hohe Drop-out-Quote von 54.55% zum 10 Jahres FU muss als Limitation betrachtet werden, da dies die Validität und Zuverlässigkeit der Ergebnisse beeinträchtigt hat und somit weniger signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen nachzuweisen waren. Aus den vorliegenden Zahlen kann nicht beurteilt werden, ob sich eher Patienten mit guten oder Patienten mit schlechteren Ergebnissen weiteren Follow-Ups gestellt haben.

Hinsichtlich des Studiendesigns mit Fragebögen, die auf einer Selbstauskunft der Patienten beruhen, ergeben sich Limitationen. In der vorliegenden Arbeit war eine Randomisierung der Patienten, nicht möglich. Daher gab es keine Kontrollgruppe und es wurden nur durch PLIF operierte Patienten inkludiert und es konnte nicht mit einer anderen Behandlungsmethode verglichen werden. Nach Harms (1998) ist die Schmerzqualität je nach Krankheitsbild unterschiedlich und klinische Ergebnisse sollten unter Berücksichtigung gleicher Krankheitsbilder verglichen werden (Harms JG, Jeszenszky D, 1998). Die vorliegende Studie betrachtet die Ergebnisse nicht unter dem Aspekt nur einer bestimmten Indikation. Die Studie wurde zudem an einem einzigen Zentrum durchgeführt, sodass die Ergebnisse möglicherweise nicht verallgemeinerbar sind und von anderen Zentren abweichen können.

Es kann zu Verfälschungen führen, wenn zunächst konservativ behandelte Patienten, nicht herausgerechnet werden. Zudem gibt es möglicherweise Confounding-Faktoren, wie die Verwendung von Schmerzmedikamenten oder andere Behandlungen, die das Ergebnis der Studie beeinflusst haben

Zwischenzeitlich wird in der Regel der Oswestry Disability Index zur Quantifizierung der Behinderung durch den lumbalen Rückenschmerz verwendet (Keller A, et al., 1996).

## 5 Zusammenfassung

Degenerative Wirbelsäulenerkrankungen mit Instabilität und Wirbelgleiten sind ein mit dem demografischen Wandel stark zunehmendes Krankheitsbild. Bei Versagen der konservativen Therapie oder einem Fortschreiten neurologischer Defizite, sollte eine operative Behandlung in Erwägung gezogen werden. Hier stellt die posteriore lumbale interkorporelle Fusion (PLIF) nach wie vor eine aktuelle und häufig durchgeführte Operation zur Behandlung von lumbalen Wirbelsäulenerkrankungen dar.

Ziel der Studie war es, Langzeitergebnisse über zehn Jahre in punkto alltäglicher Funktionsbeeinträchtigung und Schmerzen unter differenzierter Betrachtung der ein- und mehrsegmentalen Fusion nach PLIF-Operation zu gewinnen, sowie positive und negative präoperative Prädiktoren zu ermitteln.

Hierfür erfolgte zunächst in einer retrospektiven Auswertung die Datensammlung von Patienten, die in der Klinik für Neurochirurgie des BG Klinikum Bergmannstrost Halle/Saale eine segmentale Stabilisierungsoperation in PLIF-Technik erhalten haben und in deren Krankenakten bereits Ergebnisse standardisierter Befragungsinstrumente, zum Zustand präoperativ sowie zum Outcome nach 24 Monaten postoperativ, vorlagen. Zur prospektiven Evaluierung der klinischen Langzeitergebnisse nach fünf und zehn Jahren, werden 66 Patienten fünf Jahre postoperativ zu einem standardisierten Interview und zu einer körperlichen Untersuchung in die neurochirurgische Klinik eingeladen und visitiert. Zehn Jahre postoperativ werden die Patienten auf postalischem Weg erneut gebeten, die Operationsergebnisse anhand derselben Erhebungsbögen zu beurteilen.

Es konnten somit Daten von vier Zeitpunkten ausgewertet werden: Präoperativ, erhoben bei der Erstvorstellung im BG Klinikum Bergmannstrost Halle/Saale, postoperativ im Rahmen des 24 Monats-Kontrolltermins und aus den eigenen Erhebungen der Follow-Up Untersuchungen nach fünf und zehn Jahren.

Es konnte festgestellt werden, dass die Demografie (Alter und Geschlecht), der Nachuntersuchungszeitraum und die Patientenzahlen kohärent mit den Angaben der Literatur zur Behandlung degenerativer Wirbelsäulenerkrankungen waren, was die Ergebnisse der Studie somit vergleichbar und aussagekräftig macht.

Die Resultate der Studie zeigen, dass auf die gesamte Studienpopulation, die PLIF-Operation ein gutes Langzeitergebnis erzielt. Des Weiteren, bestätigt sie den Eindruck, dass es nach einer

initialen leichten Verschlechterung in den ersten postoperativen Jahren zu einer langfristigen Stabilisierung des Schmerzbildes und der Lebensqualität der Patienten kommt.

Die mehrsegmentale posteriore lumbale interkorporelle Fusion erzielt ähnlich gute Ergebnisse, wie die einsegmentale Versorgung. Die Ergebnisse zeigen, dass beide Gruppen signifikante Verbesserungen in Bezug auf Schmerz, Funktion und somit Lebensqualität aufweisen, es aber keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen in Bezug auf die klinischen Ergebnisse gibt.

Ein erhöhter Body-Mass-Index oder ein hohes Alter bei Operation korreliert nicht automatisch mit einem schlechteren Ergebnis bezüglich Schmerzreduktion und Einschränkungen im Alltag. Neben intra- und postoperativen Komplikationen korreliert ein hoher BMI allerdings mit einem schlechteren Ergebnis in der Evaluation der sozialen Aktivität im DPQ. Die Patienten haben weniger persönliche Beziehungen, benötigen mehr Unterstützung durch andere und erleben mehr negative Reaktionen. Bei der Beurteilung von Rückenschmerzen spielen psychische Faktoren generell eine große Rolle. Die präoperative, wie auch die postoperative psychologische Betreuung von Patienten mit Fusionsoperation könnte zu einem besseren Outcome verhelfen.

Insgesamt konnte über zehn Jahre eine Verbesserung in Bezug auf Schmerzen, Mobilität und Lebensqualität erhoben werden. Es ist zu erkennen, dass die Ergebnisse der vorliegenden Studie mit den publizierten Daten später durchgeführter Studien korrelieren und als exemplarisch betrachtet werden können. Bei ausgeschöpften alternativen Behandlungsmethoden ist die PLIF mit Titan Fusion Device ein etabliertes Operationsverfahren zur Therapie degenerativer Wirbelsäulenerkrankungen mit Fusionsindikation, das auch bei mehrsegmentaler Versorgung über mindestens zehn Jahre postoperativ einen hohen Behandlungserfolg aufweist.

## 6 Literaturverzeichnis

- Agarwal, A., Lakhwani, M., Jain, R., Gupta, N., & Meena, S. (2021). Comparison of outcomes of one-level versus two-level posterior lumbar interbody fusion for degenerative lumbar spine disease. *European Spine Journal*, 30(1), 45-53.
- Airaksinen, O., Brox, J., & Cedraschi, C. (2006). Chapter 4. European guidelines for the management of chronic nonspecific low back pain. *Eur Spine J*, S. 15(2):192-300.
- Allen, R., Rihn, J., Glassman, S., Currier, B., Albert, T., & Phillips, F. (2009). An evidence-based approach to spine surgery. *Am J Med Qual*, S. 24(6):15-22.
- Anderson, E., & Fischgrund, J. (2010). Adult Low-Grade Spondylolisthesis: Surgical Approach, Role of Fusion, Role of Instrumentation. In A. Vaccaro, & J. Eck, *Controversies in Spine Surgery* (S. 138-149). New York: Thieme-Verlag.
- Anderson, T., Christensen, F., & Bünger, C. (2007). Evaluation of a Dallas Pain Questionnaire classification in relation to outcome in lumbar spinal fusion. *European Spine J*, S. 15(11):1671-1685.
- Argoff, C., & Sims-O'Neill, C. (2009). Epidural steroid injections are useful for the treatment of low back pain and radicular symptoms. *con Curr Pain Headache Rep*, S. (13):35-38.
- Arzneimittelkommission der deutschen Ärzteschaft. (2007). Empfehlungen zur Therapie von Kreuzschmerzen. *Arzneiverordnung in der Praxis*, Band 34, Sonderheft 2. Ärzteschaft Add. Berlin: Arzneimittelkommission der deutschen Ärzteschaft.
- Athivirahm, A., & Yen, D. (2007). Is Spinal Stenosis Better Treated Surgically or Nonsurgically? *Clin Orthop Relat Res*, S. (458):90-93.
- Atlas, Keller, R., Wu, Y., Deyo, R., & Singer, D. (2005). Long-term outcomes of surgical and nonsurgical management of sciatica secondary to a lumbar disc herniation: 10 year results from the Maine lumbar spine study. *Spine*, S. (3):927-929.
- Atlas, S., Keller, R., & Robson, D. (2000). Surgical and nonsurgical management of lumbar spinal stenosis. *Spine*, S. 25(5):556-562.
- Becker, A., Kögel, K., & Donner-Banzhoff, N. (2003). Kreuzschmerzpatienten in der hausärztlichen Praxis: Beschwerden, Behandlungserwartungen und Versorgungsdaten. *Z Allg Med*, S. (79):126-133.

- Bertagnoli, R. (2011). Hybridverfahren. In R. Bertagnoli, *Bewegungserhaltende Wirbelsäulen Chirurgie*. München.
- Bone, S (2022). Zur Behandlung der degenerativen Spondylolisthese mittels interkorporaler Stabilisierung in PLIF- Technik mit Fixateur interne und Medtronic Telamon™ Titan Cage (Dissertation, Medizin). Charité – Universitätsmedizin Berlin.
- Brantigan, J., & Steffee, A. (1993). A carbon fiber implant to aid interbody lumbar fusion. Two-year clinical results in the first 26 patients. *Spine, S. (18):2106-2117*.
- Cakir, B., Ulmar, B., Koepp, H., Huch, K., Puhl, W., & Richter, M. (2003). Posterior dynamic stabilization as an alternative for dorso-ventral fusion in spinal stenosis with degenerative instability. *Z Orthop Ihre Grenzgeb, S. 141(4):418-424*.
- Chang, Y., Singer, D., Wu, Y., Keller, R., & Atlas, S. (2005). The effect of surgical and non-surgical treatment on longitudinal outcomes of lumbar spinal stenosis over 10 years. *J Am Geriatr Soc, S. (53):785-792*.
- Chen, Li, C., Z., Wu, Y., & Chen, H. (2017). The effects of posterior lumbar interbody fusion on social activity of patients with degenerative lumbar diseases: A retrospective study. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation, 30(6), 1201-1205*.
- Cho, J. H., Lee, J. H., Song, K. S., & Kim, Y. T. (2019). Comparison of the outcomes between one-level and two-level posterior lumbar interbody fusion: a meta-analysis. *Journal of orthopaedic surgery and research, 14(1), 28*.
- Choi, D., & Kim, J. (2019). Efficacy of Biportal Endoscopic Spine Surgery for Lumbar Spinal Stenosis. *Clin Orthop Surg, S. 11(1):82-88*.
- Chou, R., & Huffman, L. (2007). Medications for acute and chronic low back pain: a review of the evidence for an American Pain Society/American College of Physicians clinical practice guideline. *Ann Intern Med, S. (147):505-514*.
- Chou, R., Baisden, J., Carragee, E., Resnick, D., Shaffer, W., & Loeser, J. (2009). Surgery for low back pain: a review of the evidence for an American Pain Society Clinical Practice Guide-line. *Spine, S. (34):1094-1109*.
- Chou, Y., Chen, D., Hsieh, W., Chen, W., & Yen, P. (2008). Efficacy of anterior cervical fusion: comparison of titanium cages, polyetheretherketone (PEEK) cages and autogenous bone grafts. *J Clin Neurosci, S. (15):1240-1245*.

- Christensen, F., Hansen, E., & Eiskjaer, S. (2002). Circumferential lumbar spinal fusion with Brantican cage versus posterolateral fusion with titanium Cotrel-Dubousset instrumentation: a prospective, randomized clinical study of 146 patients. *Spine, S.* (27):2674-2683.
- Ciol, M., Deyo, R., Howell, E., & Kreif, S. (1996). An assessment of surgery for spinal stenosis: time trends, geographic variations, complications, and reoperations. *J Am Geriatr Soc, S.* (44):285-290.
- Cloward, R. (1952). The treatment of ruptured lumbar intervertebral disc by vertebral body fusion. III. Method of use of banked bone. *Ann Surg., S.* 136(6):987-992.
- Cohen, J. (2013). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Routledge.
- Davis, R.J., et al., Decompression and Coflex interlaminar stabilization compared with decompression and instrumented spinal fusion for spinal stenosis and low-grade degenerative spondylolisthesis: two-year results from the prospective, randomized, multicenter, Food and Drug Administration Investigational Device Exemption trial. *Spine (Phila Pa 1976), 2013.* 38(18): p. 1529-39.
- Desai, A., Ball, P., Bekelis, K., Lurie, J., Mirza, S., & Tosteson, T. (2012). Surgery for lumbar degenerative spondylolisthesis in Spine Patient Outcomes Research Trial: does incidental durotomy affect outcome? *Spine, S.* 37(5):406-413.
- Desai, A., Bekelis, K., Ball, P., Lurie, J., & Mirza, S. (2012). Spine patient outcomes re-search trial: do outcomes vary across centers for surgery for lumbar disc herniation? *Neurosurgery., S.* 71(4):833-842.
- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. . (2010). *DGUV-Statistiken für die Praxis 2010. Aktuelle Zahlen und Zeitreihen der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung*. Berlin: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung.
- Diener, H., & Weimar, C. (2012). *Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie*, Herausgegeben von der Kommission "Leitlinien" der Deutschen Gesellschaft für Neurologie. Stuttgart, 2012.: Kommission "Leitlinien" der Deutschen Gesellschaft für Neurologie.
- Fast, A., & Greenbaum, M. (1995). Degenerative lumbar spinal stenosis. *Phys Med Rehabil St Art Rev, S.* 9(3):673-682.
- Fleege, C., Rickert, M., & Rauschmann, M. (2015). PLIF- und TLIF-Verfahren. *Der Orthopäde, S.* (2):17-25.

- Försth, P., Ólafsson, G., Carlsson, T., Frost, A., Borgström, F., Fritzell, P., & Öhagen, P. (2016). A Randomized, Controlled Trial of Fusion Surgery for Lumbar Spinal Stenosis. *N Engl J Med*, S. 374(15):1413-1423.
- Fourney, D., Andersson, G., Arnold, P., & Dettori, J. (2011). Chronic low back pain: A heterogeneous condition with challenges for an evidence-based approach. *Spine*, S. 26(21):46-52.
- Fritzell P, Hägg O, Wessberg P, Nordwall A; Swedish Lumbar Spine Study Group. (2016). 10-year outcomes using a patient-reported measure of activity and pain in patients surgically treated for degenerative disc disease. *European Spine Journal*, 25(10), 3127-3134.
- Gesundheitsberichterstattung des Bundes . (2012). Gesundheitsberichterstattung des Bundes ; Heft 53. Berlin: Gesundheitsberichterstattung des Bundes .
- Ghogawala, Z., Dziura, J., & Butler, W. (2016). Laminectomy plus fusion versus laminectomy alone for lumbar spondylolisthesis. *N Engl J Med*, S. (374):1424-1434.
- Greenough CG, Taylor LJ, Fraser RD: Anterior lumbar fusion. A comparison of noncompensation patients with compensation patients. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 30–7, 1994
- Hadjipavlou A, Enker P, Dupuis P, Katzman S, Silver J: The causes of failure of lumbar transpedicular spinal instrumentation and fusion: a prospective study. *Int. Orthop.* 20: 35–42, 1996
- Hagg O, Fritzell P, Hedlund R, Moller H, Ekselius L, Nordwall A: Pain-drawing does not predict the outcome of fusion surgery for chronic low-back pain: a report from the Swedish Lumbar Spine Study. *Eur. spine J. Off. Publ. Eur. Spine Soc. Eur. Spinal Deform. Soc. Eur. Sect. Cerv. Spine Res. Soc.* 12: 2–11, 2003
- Harms JG, Joeszszky D: Die posteriore, lumbale, interkorporelle Fusion in unilateraler transforaminaler Technik. *Oper. Orthop. Traumatol.* 10: 90–102, 1998 (Harms JG, Joeszszky D, 1998)
- Hasenbring, M., Marienfeld, M., Kuhlendahl, G., & Soyka, D. (1994). Risk factors of chronicity in lumbar disc patients: a prospective investigation of biologic, psychologic and social predictors of therapy outcome. *Spine*, S. (19):2759-2765.

- Hayden, J., van Tulder, M., & Tomlinson, G. (2005). Systematic review: strategies for using exercise therapy to improve outcomes in chronic low back pain. *Ann Intern Med*, S. (142):776-785.
- Hildebrandt, J., & Pfingsten, M. (2009). Vom GRIP zur multimodalen Schmerztherapie. Ein Konzept setzt sich durch. *Orthopäde*, S. (38):885-892.
- Hildebrandt, J., Müller, G., & Pfingsten, M. (2005). *Lendenwirbelsäule, Ursachen, Diagnostik und Therapie von Rückenschmerzen*. München.
- Hilfiker, R. (2008). Schmerzintensität messen . *Physiotherapie heute*, S. (12):46-52.
- Hrsg. v. Matzen, P.D., Marcus / Kornhuber, Malte / Nestler, Ulf, *Neuroorthopädie*. Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston, 2017.
- Huang, Y., Wu, S., Tang, Z., & Chen, Y. (2020). Comparison of outcomes between one-and two-level posterior lumbar interbody fusion for lumbar spinal stenosis: a randomized controlled study. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 15(1), 189.
- Imagama, S., Matsuyama, Y., & Sakai, Y. (2011). An arterial pulse examination is not sufficient for diagnosis of peripheral arterial disease in lumbar spinal canal stenosis: a prospective multicenter study. *Spine*, S. (36):1204-1210.
- Irwin, Z., Hilibrand, A., & Gustavel, M. (2008). Variation in surgical decision making for degenerative spinal disorders. Part I: lumbar spine. *Spine*, S. (3):2208-2213.
- Jordan, S. (2007). Assessment: use of epidural steroid injections to treat radicular lumbosacral pain: report of the Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology*, S. (69):1191-1211.
- Kalff, R., Waschke, C., Gobisch, A., & Hopf, L. (2013). Degenerative lumbale Spinalkanalstenose im höheren Lebensalter. *Dtsch Arztebl Int*, S. 110(37):613-624.
- Kang, S., Hwang, B., & Son, H. (2011). The dosages of corticosteroid in transforami-nal epidural steroid injections for lumbar radicular pain due to a herniated disc. *Pain Physician*, S. (14):361-370.
- Keller A, Gundlach K, Ladner A, Lamping D, Söllner W. Translation and Germanization of the Oswestry Disability Index (ODI). *Z Orthop Ihre Grenzgeb*. 1996 Sep-Oct;134(5):416-22
- Keller, T., & Holland, M. (1997). Some notable American spine surgeons of the 19th century. *Spine*, S. 22(12):1413-1417.

- Kleinstueck, F., Fekete, T., & Jeszenszky, D. (2011). The outcome of decompression surgery for lumbar herniated disc is influenced by the level of concomitant preoperative low back pain. *Eur Spine J*, S. (20):1166-1173.
- Knappschaft. (2015). *Der Rückenschmerzpatient: Volkskrankheit Nr. 1 im Spiegel der Routinedaten einer Krankenkasse*. Berlin.
- Lampert, T., Kroll, L. E., Müters, S., & Stolzenberg, H. (2005). Adipositas in Deutschland. *RKI-Gesundheitsbericht 2005*, 113-125
- Lange, F. (1910). The classic. Support for the spondylitic spine by means of buried steel bars, attached to the, vertebrae. *Clin Orthop.*, S. (203):3-6.
- Lee JH, Lee SH, Chung SK, Lee HY. Long-term clinical and radiological outcomes of posterior lumbar interbody fusion with titanium cages and autogenous iliac bone grafts. *Journal of Korean Neurosurgical Society*. 2017;60(6):702-710.
- Leinmüller, R. (2008). *Medizinreport: Rückenschmerzen – der größte Teil ist myofaszial bedingt*. Dt Ärztebl, S. A1657.
- Li, A.M., X. Li, and Z. Yang, Decompression and coflex interlaminar stabilisation compared with conventional surgical procedures for lumbar spinal stenosis: A systematic review and meta-analysis. *Int J Surg*, 2017. 40: p. 60-67.
- Li, X., Chen, D., & Wang, Z. (2016). Comparison of one- and two-segment posterior lumbar interbody fusion for degenerative lumbar diseases: A systematic review and meta-analysis. *European Spine Journal*, 25(1), 152-160.
- Linton, S. (2000). A Review of Psychological Risk Factors in Back and Neck Pain. *Spine*, S. 25(9):1148-1156.
- Linton, S., & van Tuldor, M. (2000). Preventive interventions for back and neck pain. In A. Nachemson, & E. Jonsson, *Neck and back pain. The scientific evidence of causes, diagnosis, and treatment*. Philadelphia, Baltimore, New York: Lippincott Williams & W: Lippincott Williams & W.
- Longo, U., Loppini, M., Denaro, L., Maffulli, N., & Denaro,, V. (2010). Rating scales for low back pain. *Br Med Bull*, S. 94(1):81-144.

- Lønne et al. (2017). Body mass index and incidence of surgically treated lumbar disc herniation and spondylolisthesis: a cohort study of 807,000 individuals. *Spine Journal*, 17(4), 454-462.
- Luijsterburg, P., Verhagen, A., & Ostelo, R. (2007). Effectiveness of conservative treatments for the lumbosacral radicular syndrome: a systematic review. *Eur Spine J*, S. (16):881-899.
- Lurie, J., Tosteson, T., Abdu, A., & Zhao, W. (2015). Long-term Outcomes of Lumbar Spinal Stenosis: Eight-Year Results of the Spine Patient Outcomes Research Trial (SPORT). *Spine*, S. 40(2):63-76.
- Mayr M, Högler S, Ghedina W, Berek K: Low back pain and psychiatric disorders. *Lancet* (London, England) 361: 531, 2003
- Niggemeyer, O., Strauss, J., & Schulitz, K. (1997). Comparison of surgical procedures for degenerative lumbar spinal stenosis: a meta-analysis of the literature from 1975 to 1995. *Eur Spine J*, S. 6(6):423-429.
- Nockels, R. (2005). Dynamic stabilization in the surgical management of painful lumbar spinal disorders. *Spine*, S. (3):68-72.
- Overdeest, G., Jacobs, W., & Vleggeert-Lankamp, C. (2015). Comparison of surgical techniques for the treatment of patients with lumbar stenosis. *Cochrane Database Syst Rev.*, S. (3).
- Park, J. S., Kim, K. T., Kim, Y. B., & Hwang, C. M. (2020). The impact of obesity on clinical outcomes and complications after lumbar fusion: A cohort study based on body mass index and amount of fat. *Spine*, 45(8), 540-547.)
- Pearson, A., Lurie, J., Tosteson, T., Zhao, W., Abdu, W., & Weinstein, J. (2012). Who should have surgery for spinal stenosis? Treatment effect predictors in SPORT. *Spine*, S. (37):1791-1802.
- Pearson, K. (1895). Notes on regression and inheritance in the case of two parents. *Proceedings of the Royal Society of London*, 58(347), 240-242.
- Phan K, Xu J, Schultz K, et al. Lateral interbody fusion versus posterior lumbar interbody fusion: a systematic review and meta-analysis. *J Spine Surg*. 2017;3(2):218-223.
- Pintauro, M., et al., Interspinous implants: are the new implants better than the last generation? A review. *Curr Rev Musculoskelet Med*, 2017. 10(2): p. 189-198.

- Poirier, P., Giles, T.D., Bray, G.A. et al. Obesity and cardiovascular disease: pathophysiology, evaluation, and effect of weight loss. *Arterioscler Thromb Vasc Biol.* 2006; 26: 968–976.
- Pollock, R., Lakkol, S., Budithi, C., Bhatia, C., & Krishna, M. (2012). Effect of psychological status on outcome of posterior lumbar interbody fusion surgery. *Asian Spine J*, S. 6(3):178-182.
- Porter, R. (1996). Spinal Stenosis and Neurogenic Claudication. *Spine*, S. (21):2046-2052.
- Prolo, D., Oklund, S., & Butcher, M. (1986). Toward uniformity in evaluating results of lumbar spine operations. A paradigm applied to posterior lumbar interbody fusions. *Spine*, S. (11):601-606.
- Quante, M., & Halm, H. (2015). Die extrem laterale interkorporelle Fusion. *Der Orthopäde*, S. 44(2):138-144.
- Resnick, D., Watters, W., & Mummaneni, P. (2014). American Association of Neurological Surgeons/Congress of Neurological Surgeons. Guideline update for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 10: lumbar fusion for stenosis without spondylolisthesis. *J Neurosurg Spine*, S. 21(1): 62-66.
- Sabitzer, R., Lack, W., & Zenz, P. (2008). AxiaLIF - eine neue und ungewöhnliche Methode zur lumbalen Fusion. *J Neurol Neurochir Psychiatr*, S. 9(2):16-25.
- Saito, J., Ohtori, S., & Kishida, S. (2012). Difficulty of diagnosing the origin of lower leg pain in patients with both lumbar spinal stenosis and hip joint osteoarthritis. *Spine*, S. (37):2089-2093.
- Saraste, H. (1987). Long term clinical and radiological follow-up of spondylolysis and spondylolisthesis. *J Pediatr Orthop*, S. (7):631-638.
- Schulte, T., Bullmann, V., & Lerner, T. (2006). Lumbale Spinalkanalstenose. *Orthopäde*, S. (35):675-694.
- Schünke, M., Schulte, E., & Schumacher, U. (2005). Prometheus Lernatlas der Anatomie. Berlin: Georg Thieme Verlag.
- Schwarzenbach, O., Berlemann, U., Stoll, T., & Dubois, G. (2005). Posterior dynamic stabilization systems: DYNESYS. *Orthop Clin North Am.*, S. 36(3): 363–372.
- Steffee, A., & Sitkowski, D. (1988). Posterior lumbar interbody fusion and plates. *Clin Orthop Relat Res.*, S. 227(227):99–102.

- Tandon V, Campbell F, Ross ERS: Posterior Lumbar Interbody Fusion. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 24: 1833, 1999
- Thomé, C., Börm, W., & Meyer, F. (2008). Die degenerative lumbale Spinalkanalstenose - Degenerative Lumbar Spinal Stenosis – Current Strategies in Diagnosis and Treatment. *Dtsch Arztebl*, S. 105(20):373-379.
- Thome, C., Zevgaridis, D., & Leheta, O. (2005). Outcome after less-invasive decompression of lumbar spinal stenosis: a randomized comparison of unilateral laminotomy, bilateral laminotomy, and laminectomy. *J Neurosurg Spine*, S. (3):129-141.
- Tronnier, U. (2014). Chronische Rückenschmerzen; Primär kein Fall für die Neurochirurgie. *Dtsch Arztebl*, S. 111(41): 236-242.
- Turner, J., Ersek, M., Herron, L., & Deyo, R. (1992). Surgery for lumbar spinal stenosis. Attempted meta-analysis of the literature. *Spine*, S. (17):1-8.
- Von Korff, M., Ormel, J., & Keefe, F. (1992). Grading the severity of chronic pain. *Pain*, S. 50(2):133-149.
- Waddel, G., & Gibson, J. (2008). Surgery for degenerative lumbar spondylosis. *Cochrane Database Syst Rev*. 2008.
- Wang, X., Liu, C., Xue, F., Wang, L., & Yang, X. (2018). Comparison of clinical and radiographic outcomes between one- and two-level posterior lumbar interbody fusion. *World neurosurgery*, 116, e897-e904.
- Watters, W., Baisden, J., & Gilbert, T. (2008). Degenerative lumbar spinal stenosis: an evidence-based clinical guideline for the diagnosis and treatment of degenerative lumbar spinal stenosis. *Spine J*, S. (8):305-310.
- Weinstein, J., Lurie, J., & Tosteson, T. (2009). Surgical compared with nonoperative treatment for lumbar degenerative spondylolisthesis. four-year results in the Spine Patient Outcomes Research Trial (SPORT) randomized and observational cohorts. *J Bone Joint Surg Am*, S. (9):1295-1304.
- Weinstein, J., Lurie, J., Tosteson, T., & Hanscom, T. (2007). Surgical versus Nonsurgical Treatment for Lumbar Degenerative Spondylolisthesis. *N Engl J Med*, S. (356):2257-2270.

- Weinstein, J., Lurie, J., Tosteson, T., Tosteson, A., & Blood, E. (2008). Surgical ver-sus nonoperative treatment for lumbar disc herniation: four-year results for the Spine Pa-tient Outcomes Research Trial (SPORT). *Spine*, S. 33(25):2789-2800.
- Weinstein, J., Tosteson, T., Lurie, J., Tosteson, A., & Hanscom, B. (2006). Surgical vs nonoperative treatment for lumbar disk herniation: the Spine Patient Outcomes Research Trial (SPORT): a randomized trial. *JAMA.*, S. 296(20):2441-50.
- Whang, P., Sasso, R., Patel, V., Ali, R., & Fischgrund, J. (2013). Comparison of axial and anterior interbody fusions of the L5-S1 segment: a retrospective cohort analysis. *J Spinal Disord Tech*, S. 26(8):437-443.
- Wiltse LL, Rocchio PD: Preoperative psychological tests as predictors of success of chemonucleolysis in the treatment of the low-back syndrome. *J. Bone Joint Surg. Am.* 57: 478–483, 1975
- Wiltse, L., & Rothman, L. (1989). Spondylolisthesis: Classification, diagnosis, and natural history. *Seminars in Spine Surgery*, S. 1(2):78-94.
- Wittenberg, R., Willburger, E., & Krämer, J. (Orthopäde). Spondylolyse und Spomdylolisthese. 1998, S. (27):51-63.
- Yi, H.-J., Kim, J. S., & Lee, S.-W. (2018). The Effect of Psychological Intervention on the Postoperative Outcome of Patients Undergoing Posterior Lumbar Interbody Fusion. *World Neurosurgery*, 120, e764-e770.
- Yip, Y., Ho, S., & Chan, S. (2001). Socio-psychological stressors as risk factors for low back pain in Chinese middle-aged women. *J Adv Nurs*, S. 36(3):409-416.
- Zhang, Q., Yuan, Z., Zhou, M., Zhou, X., & Liu, H. (2018). Long-term outcomes after posterior lumbar interbody fusion for lumbar spondylolisthesis: A single-center experience. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 13(1), 183.
- Zhang, Y., Li, J., Mo, G., Zhao, J., Liang, J., Liang, C., & Wang, Z. (2020). Effects of Preoperative Psychological Intervention on Postoperative Pain and Functional Outcomes in Patients Undergoing Lumbar Fusion Surgery: A Randomized Controlled Trial. *Pain Research & Management*, 2020, 1-9.

## **7 Fragebögen**

### **7.1 Dallas-Pain-Questionnaire**

Aus Gründen des Copyrights entfernt.

### **7.2 Prolo Score und VAS**

Aus Gründen des Copyrights entfernt.

## Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Christian Strunz, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: Langzeit-Follow-Up nach chirurgischer Versorgung degenerativer lumbaler Wirbelsäulenerkrankungen mittels PLIF-Technik / Long-term follow-up after surgical treatment of degenerative lumbar spinal diseases using the PLIF technique selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; [www.icmje.org](http://www.icmje.org)) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Heilbronn, den \_\_\_\_\_

---

Christian Strunz

## **Curriculum Vitae**

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

## **Danksagung**

Mein Dank gilt zunächst Herrn Prof. h.c. (Donau Universität Krems) Dr. med. HJ Meisel, meinem Doktorvater, für die langjährige Betreuung dieser Arbeit, seiner stets freundlichen Hilfe und differenzierten Betrachtung, die mir einen kritischen Zugang zu dieser Thematik eröffnete.

Ferner danke ich besonders Herrn Dr. phil. Philipp Schenk und Frau Yvonne Minkus, Study Nurse im Neurozentrum des BG Klinikum Bergmannstrost Halle, für die Unterstützung und vielen freundlichen E-Mails und Telefonate während der Erarbeitung meiner Dissertation.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern Ingrid Fehringer-Strunz und Gerhard Strunz, die mich stets fürsorglich auf meinem Weg durch das Studium begleitet haben.

Danken möchte ich außerdem meinen Geschwistern Katharina und Susanne, sowie meiner Freundin Kim, die mich im Rahmen der Dissertation stets mit dem notwendigen Antrieb unterstützt haben.