

Aus dem Bereich Neurochirurgie  
Klinische Medizin  
der Medizinischen Fakultät  
der Universität des Saarlandes, Homburg/Saar

**Revisionen bei dorsaler Schraubenlockerung  
in zervikalen ventro-dorsalen Fusionen**

*Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin*

der Medizinischen Fakultät  
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES  
2021

vorgelegt von: Lena Marie Zimmermann  
geb. am: 03.06.1995  
in: Saarbrücken

Tag der Promotion: 03.03.2022

Dekan: Prof. Dr. med. Michael D. Menger

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Joachim Oertel  
Prof. Dr. med. Stefan Landgraeber

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Summary</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>4</b>
<b>3.1</b>	<b>Fragestellung</b> .....	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b> .....	<b>6</b>
<b>4.1</b>	<b>Pathophysiologien der Halswirbelsäule</b> .....	<b>6</b>
4.1.1	Degenerative Erkrankungen.....	6
4.1.2	Neoplasien.....	7
4.1.3	Traumata.....	8
4.1.4	Entzündliche Erkrankungen.....	10
<b>4.2</b>	<b>Therapie</b> .....	<b>11</b>
4.2.1	Ventrale Spondylodesetechniken.....	11
4.2.2	Dorsale Spondylodesetechniken.....	15
4.2.3	Ventro-dorsaler Zugang – 360-Grad-Fusion.....	20
<b>5</b>	<b>Material und Methodik</b> .....	<b>22</b>
<b>5.1</b>	<b>Patientenkollektiv</b> .....	<b>22</b>
<b>5.2</b>	<b>Datenbank</b> .....	<b>22</b>
<b>5.3</b>	<b>Datenerhebung</b> .....	<b>22</b>
5.3.1	Patientenbezogene Daten.....	23
5.3.2	Diagnose.....	23
5.3.3	Operation ventral.....	23
5.3.4	Operation dorsal.....	23
5.3.5	Operationstechniken.....	24
5.3.6	Daten der Schrauben.....	24
5.3.7	Revisionen.....	28
5.3.8	Klinische Daten.....	28
<b>5.4</b>	<b>Datenauswertung</b> .....	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>30</b>
<b>6.1</b>	<b>Schrauben</b> .....	<b>33</b>
6.1.1	Schraubenlage.....	34
<b>6.2</b>	<b>Revisionen</b> .....	<b>35</b>

6.2.1	Indikation der Revision .....	35
6.2.2	Technik der ventralen Operation bei Revisionen .....	36
6.2.3	Zeitpunkt der Revision .....	38
6.2.4	Zusammenhang Dekompression, Anzahl der Segmente, ausgelassene Segmente.....	38
<b>6.3</b>	<b>Schraubenlockerungen.....</b>	<b>39</b>
6.3.1	Häufigkeit der Schraubenlockerungen .....	39
6.3.2	Lockerungen in ventral nicht fusionierten Segmenten .....	39
<b>7</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>41</b>
7.1	Diskussion von Material und Methoden.....	41
7.2	Diskussion der Schraubenlagen .....	43
7.3	Diskussion der Schraubenlockerungen .....	44
7.4	Diskussion von Komplikationen.....	45
7.5	Diskussion der Revisionen .....	46
7.5.1	Diskussion der ventralen Operationstechnik bei Revisionen wegen Schraubenlockerung dorsal.....	48
7.5.2	Diskussion der Revisionen bei Lockerungen in ventral nicht fusionierten Segmenten .....	49
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>51</b>
<b>9</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>58</b>
<b>10</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>59</b>
<b>11</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>60</b>
<b>12</b>	<b>Danksagung.....</b>	<b>61</b>
<b>13</b>	<b>Lebenslauf .....</b>	<b>62</b>

# 1 Zusammenfassung

Zervikale Stabilisationen sind ein oft angewendeter Eingriff bei Instabilitäten oder Dekompressionen im Bereich der Halswirbelsäule. Häufige Indikationen sind zervikale Spinalkanalstenose, Traumata, Neoplasien oder entzündliche Erkrankungen. Stabilisiert werden kann entweder von ventral, dorsal oder mittels eines kombinierten Eingriffs von beiden Seiten. Dieses Verfahren wird 360-Grad-Fusion genannt. Die Häufigkeit dieser zervikalen Stabilisationen nimmt stetig zu. Folglich steigt auch die Anzahl der Komplikationen nach solchen ausgedehnten Eingriffen. Ziel wissenschaftlicher Studien ist daher, Faktoren zu ermitteln, die gehäuft mit Komplikationen einhergehen, um diese künftig zu vermeiden und Komplikationsraten zu senken.

Eine mögliche Komplikation sind dorsale Schraubenlockerungen; relevant insbesondere dann, wenn sie eine Revision nötig machen. Es gibt bei 360-Grad-Fusionen keinen einheitlichen Konsens darüber, welche Relation ventrale und dorsale Stabilisierungssysteme haben sollten. Genauer gesagt, ob es sinnvoll ist, dass dorsale Fusionen die gleichen Segmente beinhalten wie die ventralen, oder ob es Vorteile hat, eine langstreckigere Fusion durchzuführen.

Ziel dieser Studie ist daher herauszufinden, ob es bei solchen Fusionen häufiger in Segmenten zu Lockerungen kommt, die nur von dorsal fusioniert wurden.

Dazu wurden retrospektiv Daten von 210 Patienten erhoben, die im Zeitraum von 2000 - 2018 eine 360-Grad-Fusion an der Universitätsklinik des Saarlandes erhielten. Anhand von CT-Bildern und Befunden wurden Schraubenlagen und Lockerungen erhoben. Außerdem wurden klinische Daten nach Revisionseingriffen untersucht.

Zur Beantwortung der Fragestellung wurde ein Minimum Follow-up von sechs Monaten vorausgesetzt. Dies erfüllten 152 Patienten. Bei 108 Patienten (Gruppe 1) wurden ventral und dorsal die gleichen Segmente fusioniert, bei 44 Patienten gab es Segmente, die nur von dorsal fusioniert wurden (Gruppe 2). In Gruppe 2 kam es mit 11,3 % signifikant ( $p = 0,032$ ) häufiger zu Revisionen bei Lockerungen als in Gruppe 1 (2,7 %). Die Lockerungen traten in allen Fällen in den Segmenten auf, die von ventral nicht fusioniert wurden. Dabei fiel außerdem auf, dass das Durchschnittsalter der Patienten, die aufgrund von Schraubenlockerung revidiert werden mussten, mit 56,3 Jahren deutlich unter dem des restlichen Patientenguts lag (64,6 Jahre).

Insgesamt wurden dorsal 1460 Schrauben eingebracht, die meisten (87,7 %) in die Massa lateralis. Davon kam es bei 40 Schrauben zu einer Lockerung, wovon 27 revidiert werden mussten. Insgesamt musste bei 14,6 % der Patienten eine Revisionsoperation aufgrund von Komplikationen des Osteosynthesematerials durchgeführt werden.

Die Studie hat gezeigt, dass es nicht sinnvoll ist, die dorsale Stabilisation über mehr Segmente durchzuführen als die ventrale. Es sollte also künftig – wenn möglich – vermieden werden, dass es

Segmente gibt, die nur von dorsal fusioniert werden. Dies ist ein Faktor, um Komplikationsraten langfristig zu verringern.

## 2 Summary

### **Revision surgery due to screw loosening in cervical ventro-dorsal fusions**

Cervical stabilization is a common technique to treat instability or decompress the spinal cord. Frequent indications are cervical spinal stenosis, traumas, neoplasia and inflammatory diseases. The stabilization can be performed ventrally, dorsally or ventro-dorsally. The combined surgery is known as 360-degree-fusion. The frequency of these fusions is increasing constantly. In consequence, the number of complications is increasing as well. Object of scientific studies is to identify factors that correlate with increased complication rates.

One common complication is dorsal screw loosening, which is especially relevant when the patient has to be reoperated. There is no consensus about the relation of ventral and dorsal segments that should be fused in a 360-degree-fusion. To be more precise there is no consensus, whether it is appropriate to fuse the same segments ventrally and dorsally or to prefer to fuse more dorsal segments than ventral ones.

Objective of this study is to find out whether screw loosening occurs more often in segments that are only fused dorsally.

Therefore, data of 295 patients who got a 360-degree-fusion between 2000 and 2018 was collected. Using CT-images and radiological findings, screw positions and loosening were evaluated. Furthermore, clinical data was scanned to find information about reoperations.

152 patients had a minimum follow-up of six months. For 108 patients (group 1), the same segments were fused ventrally and dorsally, for 44 patients segments were only fused dorsally (group 2). There was significantly more screw loosening with revisions in group 2 (11.2 vs. 2.7 %). Screws loosened in segments only fused dorsally in every case. It was interesting that the average age of patients with screw loosening was noticeably younger than the rest (56.3 years vs. 64.6 years).

Overall, 1460 screws were inserted. Most frequently, lateral mass screws were used (87.7 %). Screw loosening occurred in 40 screws, 27 screws had to be revised. In total 14.6 % patients required a reoperation because of implant-related complications.

The study has demonstrated that it is not appropriate to prefer the dorsal instrumentation over more segments to the ventral one. This should be avoided to prevent patients from reoperation and decrease complication rates in the future.

### 3 Einleitung

Wie viele Bereiche der Medizin befindet sich auch die Wirbelsäulenchirurgie durch den demographischen Wandel in ständiger Veränderung. In den USA nahm die Häufigkeit der Eingriffe an der Halswirbelsäule zwischen 1992 und 2008 deutlich zu: Anteriore zervikale Fusionen stiegen um das 2,8-fache auf 116.914 pro Jahr, die Anzahl posteriorer zervikaler Fusionen nahm sogar um den Faktor 4,6 auf 23.963 pro Jahr zu. [81] Diese Zahlen lassen sich durch das häufigere Auftreten degenerativer Erkrankungen bei älteren Menschen erklären. [81]

Insbesondere dorsale Eingriffe an der Halswirbelsäule haben eine lange Geschichte. Bereits 1891 beschrieb Dr. Berthold Earnest Hadra erstmals eine Instrumentierung an der Halswirbelsäule mittels intraspinaler Drahtschlingen. [23,57] Im Jahr 1975 entwickelte Paul Harrington ein Haken-Stab-System, welches die Grundlage der heute verwendeten Schrauben-Stab-Systeme bildet. [8] Diese wurden vor allem durch die Entwicklung von Massa lateralis Schrauben – zunächst durch Roy-Camille, später durch Magerl, Anderson und An – bis zum heutigen Stand weiterentwickelt. [4,5,99] Der Eingriff von dorsal war bis zur Mitte des letzten Jahrhunderts der Standardzugang. [70] Die Historie der ventralen Eingriffe geht nicht so lange zurück. Erst 1952 konnten durch Erschließung des anterolateralen Zugangs Operationen von ventral an der Halswirbelsäule durchgeführt werden. [94] 1955 beschrieben Smith und Robinson sowie Cloward die Diskektomie mittels ventralen Zugangs und interkorporeller Fusion durch einen Beckenkammknochenspan. [105] Erst vor etwa 50 Jahren begannen die ersten ernsthaften Versuche, einen Wirbelkörperersatz durchzuführen. [90]

Bis zum heutigen Zeitpunkt stehen Wirbelsäulenoperationen gesellschaftlich oft in der Kritik. Hohe Dotierungen würden sie für Ärzte wirtschaftlich interessant machen und dabei die rechtfertigende Indikation in den Hintergrund rücken lassen. Tatsächlich ist jeder Eingriff an der Halswirbelsäule mit Risiken und Folgen für den Patienten verknüpft. Die teilweise erheblichen Bewegungseinschränkungen nach Fusionen der Halswirbelsäule können die Lebensqualität stark beeinträchtigen. Verbunden mit den nicht unerheblichen OP-Risiken sollte daher eine strenge Indikationsstellung erfolgen.

Ziele neurochirurgischer Forschungen sollten daher sein, Risiken und Komplikationen zu untersuchen, um bessere Prognosen abgeben zu können und Faktoren, die häufiger mit Komplikationen einhergehen, zu vermeiden.

Einen wichtigen Teil solcher Komplikationen bildet die Rate der Patienten, die nochmal operiert werden müssen. Die primäre Operation war in diesen Fällen nicht oder nicht langfristig erfolgreich. Da immer mehr Menschen an der Halswirbelsäule operiert werden, kommt es zwangsläufig häufiger zu Problemen. Das Auftreten von Komplikationen wird auch zukünftig nicht vermeidbar sein. Dennoch gilt es, Faktoren zu ermitteln, welche häufiger zu Reoperationen führen, um diese künftig vermeiden zu können.

### 3.1 Fragestellung

In der vorliegenden Studie wurden Patienten eingeschlossen, die eine 360-Grad-Fusion an der Universitätsklinik des Saarlandes erhielten. Bei diesen Patienten wurden Daten zu durchgeführten Operationen von ventral und dorsal sowie Schraubenlagen und Revisionen erhoben. Zum einen wurde untersucht, ob die ventrale Operationstechnik einen Einfluss auf die Häufigkeit von Revisionen aufgrund von dorsalen Schraubenlockerungen hat. Weitergehend wurde die Relation der dorsalen zur ventralen Fusion bestimmt. Bezogen darauf wurde untersucht, ob es häufiger in Segmenten zu Lockerungen kam, die nur von dorsal fusioniert wurden.

## 4 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel wird die zum Verständnis der Dissertation relevante Theorie erläutert. Dies beinhaltet die häufigsten Krankheitsbilder, die zur Operation führten, sowie verwendete Spondylodeseverfahren.

### 4.1 Pathophysiologien der Halswirbelsäule

In diesem Abschnitt werden die häufigsten Operationsindikationen der vorliegenden Studie vorgestellt. Es wird dabei sowohl auf Pathophysiologie als auch auf Diagnostik und Therapiemöglichkeiten der zervikalen Ausprägung eingegangen. Die detaillierte Durchführung der operativen Therapie wird im Kapitel 4.2 beschrieben.

#### 4.1.1 Degenerative Erkrankungen

Die häufigste degenerative Erkrankung im vorliegenden Patientenkollektiv ist die Spinalkanalstenose, auf die hier näher eingegangen wird.

In einer Studie von Teresi et al. wurden bei 26 % eines älteren (über 64 Jahre) asymptomatischen Patientenkollektivs MR-tomographische Zeichen der zervikalen Spinalkanalstenose gefunden. [60,91] Anhand der Pathophysiologie dieser Erkrankung wird ersichtlich, weshalb vornehmlich ältere Menschen betroffen sind. Die Ursache liegt im natürlichen Aufbrauchprozess der stark beanspruchten Bandscheiben, genauer gesagt, der Dehydration des Nucleus pulposus. Dieser kann sich im Laufe der Zeit durch den geschwächten Faserring in den Spinalkanal vorwölben und so zu einer ventralen Einengung des Spinalkanals führen. Die damit verbundene Höhenminderung des dorsalen Bandscheibenfachs führt zu einer Spannungsabnahme der Ligamenta flava. Auf Grund dessen wird das Elastin durch Kollagen ersetzt, was eine Pseudohypertrophie herbeiführt. Diese Volumenzunahme führt zur Einengung des Spinalkanals von dorsal. Aus den genannten Gründen ergibt sich eine Veränderung der mechanischen Belastung, die eine beschleunigte Degeneration in Form von Spondylarthrose auslöst. Die Folge davon sind Spondylophyten, also Neubildungen des Knochens, die zu einer weiteren Einengung der spinalen Strukturen führen. [11]

Ihre hohe Mobilität macht die Halswirbelsäule anfällig für die Entstehung der Spinalkanalstenose. Dies betrifft vor allem die Halswirbel C5 und C6. Daneben sind, wegen der hohen axialen Gewichtskraft, die Lendenwirbel L4 und L5 und der Sakralwirbel S1 häufig betroffen. [11,65]

Klinisch bemerkbar macht sich die zervikale Spinalkanalstenose zunächst unspezifisch durch Schmerzen, die typischerweise pseudoradikulär oder seltener radikulär auftreten. Außerdem treten häufig gesteigerte Muskeleigenreflexe auf. Als Spätfolge ist die zervikale Myelopathie gefürchtet. Hierbei kommt es – in Abhängigkeit vom Schweregrad – zu diffusen Parästhesien,

Pyramidenbahnzeichen und der pathognomonischen langsam progredienten Paraparese der Beine. Diese führt zu einem breitbeinigen, unsicheren Gangbild. [15]

Zur Abklärung einer Spinalkanalstenose kommen die bildgebenden Verfahren konventionelles Röntgen, CT, Myelographie und MRT zur Anwendung. Während die MRT eine Standarduntersuchung beim Verdacht auf Spinalkanalstenose darstellt, da vor allem die Weichteilstrukturen gut darstellbar sind, ist oft auch eine CT nicht vermeidbar. Ein großer Vorteil der CT gegenüber der MRT ist die gute Darstellung ossärer Strukturen, die relevante präoperative Informationen liefern. Außerdem wird sie häufig mit intrathekaler Kontrastmittelgabe kombiniert, woraus sich eine sogenannte Myelo-CT ergibt. Röntgenaufnahmen können wichtige Hinweise auf die Stabilität liefern, dies gilt insbesondere für Flexions- bzw. Extensionsaufnahmen. [65]

Hinsichtlich der Therapiemöglichkeiten lassen sich grundsätzlich konservative von operativen Optionen unterscheiden, wobei es keine evidenzbasierten Vor- bzw. Nachteile einer Therapieart gibt. [60] Bei einer ausgeprägten zervikalen Myelopathie ist die Progredienz derer allerdings unumstritten und eine Operation indiziert. [92]

Zu den konservativen Therapiemöglichkeiten zählen unter anderem Immobilisation, Schmerztherapie und Stärkung der Schulter- und Nackenmuskulatur. [60] Möglichkeiten der operativen Therapie sind, neben Dekompression, die stabilisierenden Verfahren. [15] Ob hierbei ein ventrales, dorsales oder kombiniertes Verfahren angewandt wird, hängt von Ausdehnung und Lage der Stenose sowie der Stabilität der Halswirbelsäule ab. [43]

#### 4.1.2 Neoplasien

Tumore spielen in der Wirbelsäulen Chirurgie eine wichtige Rolle: 10 % aller primären Knochentumore und 30 % aller Skelettmetastasen sind in der Wirbelsäule lokalisiert. [15] Das Mammakarzinom bei Frauen und das Prostatakarzinom bei Männern metastasieren am häufigsten in das Skelett. Von den primären Knochentumoren treten vor allem das Chordom, das Plasmozytom, die aneurysmatische Knochenzyste, das Osteoidosteom, das Osteoblastom und das Hämangiom primär in der Wirbelsäule auf. [15]

Klinisches Leitsymptom dieser Tumore ist der Schmerz. Außerdem können sie zu Instabilität und Schädigung des Rückenmarks und peripherer Nervenwurzeln führen. [15]

Radiologisch gilt es, Lokalisation des Tumors, Osteolysen, Sinterung und Weichteilbefall zu erfassen. Aus ähnlichen Gründen wie bei der Spinalkanalstenose ist die Kombination aus MRT mit Kontrastmittel und CT zur Diagnostik meist unumgänglich. Zudem sollte eine 3-Phasen-Skelettszintigraphie zum Aufsuchen weiterer Knochenherde und als Teil eines onkologischen Stagings durchgeführt werden.

Wie bei vielen anderen Tumorerkrankungen sind die wichtigsten therapeutischen Möglichkeiten die operative Resektion sowie die Strahlen- und Chemotherapie. Abhängig von der Histologie sollte hier ein multimodales und interdisziplinäres Konzept durchgeführt werden. Zu den konservativen Therapiemöglichkeiten werden neben der Gabe von Kortikosteroiden und Bisphosphonaten auch die

Strahlen- und Chemotherapie gezählt. Die Indikation zur chirurgischen Intervention muss gut überlegt sein, da die Lebenserwartung bei Tumorpatienten häufig deutlich eingeschränkt ist. Es besteht in der Literatur Konsens darüber, dass offen chirurgische Therapiemaßnahmen nur bei Patienten mit einer Lebenserwartung über drei Monaten vertretbar sind. [75] Ziele der chirurgischen Intervention sind Schmerzlinderung oder Verbesserung und Vermeidung neurologischer Ausfallerscheinungen sowie Wiederherstellung der Stabilität. [75]

#### 4.1.3 Traumata

Traumata der Halswirbelsäule sind bezüglich der Ätiologie als auch dem therapeutischen Vorgehen sehr different.

Grundlegend muss zwischen oberer (C0 – C2) und unterer (C3 – C7) Halswirbelsäule unterschieden werden, auch wenn die Bereiche selbstverständlich nicht gänzlich voneinander trennbar sind. Die obere Halswirbelsäule ist insbesondere für die Rotation, die untere vor allem für die Flexion und Extension verantwortlich. [69]

Die Gruppe der Traumata stellt in dieser Arbeit eine gewisse Sonderposition dar, da es sich häufig um Notfalleingriffe handelt.

Nicht zuletzt deswegen ist bei der Diagnostik häufig die Kombination aus MRT und CT unumgänglich, um sowohl Verletzungen der Weichteile einzuschätzen als auch das knöcherne Ausmaß der Verletzung zu erkennen. [76]

##### 4.1.3.1 Traumata der oberen Halswirbelsäule

Zur oberen Halswirbelsäule wird der Bereich von C0 (Okzipitalkondylen) bis zur Bandscheibe C2/3 gezählt. In diesen Bereich fällt etwa ein Drittel aller Halswirbelsäulenverletzungen. [55] Da die anatomischen Gegebenheiten in diesem Bereich sehr unterschiedlich sind, lässt es sich kaum vermeiden, auf die einzelnen Segmente gesondert einzugehen.

Etwa 13 % aller Verletzungen der Halswirbelsäule betreffen den Atlas, wobei Männer doppelt so häufig betroffen sind wie Frauen. [55] Klinisch stehen dauerhafte Nackenschmerzen und damit verbundene Bewegungseinschränkungen im Vordergrund. Ursache von Atlasfrakturen sind meist Verkehrsunfälle und Stürze. [45,55]

Stabile Frakturen des Atlas werden in der Regel konservativ – durch eine Ruhigstellung für 4 – 6 Wochen – behandelt. [55] Klinikabhängig hingegen ist die Behandlung stabiler dislozierter und instabiler dislozierter Verletzungen. [45,74,103] Es ist sowohl eine Ruhigstellung mittels Halo-Fixateur als auch eine operative Spondylodese C1/C2 möglich. Sollte nach konservativem Therapieversuch eine Instabilität bleiben, wird eine endgültige C1/C2-Fusion empfohlen. [45,74] Im Gegensatz zu diesem Vorgehen sollten atlantoaxiale Dislokationen direkt, mittels transartikulärer Verschraubung von C1 auf C2, fusioniert werden. [55]

Frakturen des Dens axis kommen bei bis zu einem Viertel aller Halswirbelverletzungen vor. [55] Zudem ist die Densfraktur die häufigste isoliert auftretende Verletzung der Halswirbelsäule. [34,55] Häufigste Ursache der Densfrakturen sind in jungem Alter Hochrasanztraumata wie Verkehrsunfälle, bei älteren Personen reichen bereits Bagatelltraumata im Rahmen von Stürzen oft aus. [58]

Die Densfrakturen werden nach der Klassifikation von Anderson und D'Alonso eingeteilt. Typ 1 ist eine Fraktur der Densspitze und sehr selten. Beim Typ 2 handelt es sich um eine Fraktur der Densbasis, die häufig aus einem Hyperflexions- bzw. Hyperextensionstrauma resultiert. Hierbei wird operativ die ventrale Versorgung mittels Zugschraubenosteosynthese empfohlen. [34] Alternativ kann eine dorsale Fusionierung von C1 auf C2 durchgeführt werden, die allerdings mit erheblichen Bewegungseinschränkungen einhergeht. [34] Die Typ 3-Fraktur verläuft im Axiskörper und kann meist konservativ mit guter Prognose behandelt werden. [55]

#### 4.1.3.2 Traumata der unteren Halswirbelsäule

Verletzungen der unteren Halswirbelsäule sind bei Männern etwa doppelt so häufig zu finden wie bei Frauen. [50] Die untere Halswirbelsäule betreffen circa 56 % aller Verletzungen der Halswirbelsäule. [50] Die Hauptlokalisation der Verletzungen in diesem Bereich stellen die Segmente C5/6 und C6/7 dar. [50] In den meisten Fällen (ca. 50 %) ist ein Verkehrsunfall Ursache der Verletzung, der zweithäufigste Grund ist ein Sturz aus großer Höhe (ca. 24 %). [50] Da, wie oben erwähnt, häufig Unfälle zu Halswirbelsäulenverletzungen führen, kommt der Versorgung durch den Notarzt am Unfallort eine besondere Rolle zu. Bis zum Beweis des Gegenteils sollte bei entsprechenden Unfallmechanismen immer von einer Halswirbelsäulenverletzung ausgegangen werden. [50]

Klinisch zeigen sich Verletzungen der unteren Halswirbelsäule durch Schmerzen, welche gegebenenfalls mit Bewegungseinschränkungen einhergehen, paravertebralem Hartspann, Schwellung der Halsweichteile, Schwindel oder neurologischen Ausfällen. [76] Einteilen lassen sich die Verletzungen der Halswirbelsäule nach der ABC-Klassifikation in Kompressionsverletzungen (Typ A), Distraktionsverletzungen (Typ B) und Rotationsverletzungen (Typ C). [95] Hierbei sind Typ B- und C-Frakturen per Definition instabil und bedürfen einer Operation. [3] Eine konservative Therapie ist prinzipiell bei leichter keilförmiger Wirbelkörperdeformierung, isolierten Frakturen der Quer- oder Dornfortsätze sowie einfachen stabilen dorsalen Bogenfrakturen möglich. [50] Die heute nur noch selten angewandte Option des Halo-Fixateurs stellt einen Mittelweg zwischen konservativer und operativer Therapie dar. Dabei wird über Pins ein Ring am Kopf fixiert, der durch Stäbe mit einem Korsett verbunden ist. [50]

Alle instabilen Frakturen oder Luxationsfrakturen erfordern eine operative Fusionierung zur dauerhaften Stabilisierung. Man versucht hierbei, möglichst wenige Segmente miteinzuschließen, da ein großer Bewegungsverlust nicht zu umgehen ist. [76] Der ventrale Zugang wird aus verschiedenen Gründen zur Therapie bevorzugt. [76] Zum einen ist bei polytraumatisierten Patienten eine Operation in Rückenlage zeitsparender und schonender, zum anderen lassen sich von ventral sowohl Dekompression von Myelon und Nervenwurzel als auch eine Stabilisierung bei instabiler Verletzung durchführen. [76] Teilweise

sind dorsoventrale Fusionierungen nötig. [76] Selten, unter anderem bei verhakten Facettenluxationsfrakturen, kann eine alleinige dorsale Spondylodese indiziert sein. [50,76]

#### 4.1.4 Entzündliche Erkrankungen

Die am häufigsten in dieser Untergruppe zusammengefasste Diagnose ist die Spondylodiszitis, weshalb hier nur näher auf dieses Krankheitsbild eingegangen wird.

Die Spondylodiszitis ist eine bakterielle Entzündung, die primär von der Bandscheibe ausgeht und sekundär den Wirbelkörper befällt. Im klinischen Alltag wird aber häufig nicht unterschieden zwischen Spondylodiszitis und Spondylitis, die ihren Ursprung primär im Knochen hat.

Auch wenn zervikale Spondylodiszitiden mit 18 % selten sind, stellen sie in dieser Studie einen relevanten Stabilisierungsgrund dar. [71] Prädispositionsfaktoren sind neben Alter, Multimorbidität, Adipositas und Diabetes mellitus unter anderem Immunsuppression und Drogenabusus. [83] Häufigste Erreger der unspezifischen Spondylodiszitiden sind *Staphylococcus aureus* (39 %) und *Escherichia coli* (23 %). [62,83] Auslöser der deutlich selteneren spezifischen Spondylodiszitis ist definitionsgemäß ein Bakterium der Tuberculosis Spezies. [15]

Die klinisch uncharakteristische Symptomatik erschwert die Diagnosestellung erheblich, weshalb es oft Wochen bis Monate dauert, bis die Diagnose gestellt wird. [71] Zu Beginn kann es neben Nacken- und Rückenschmerzen teilweise zu einer B-Symptomatik mit Fieber, Gewichtsverlust und nächtlichem Schwitzen kommen. Im fortgeschrittenen Stadium sind zudem neurologische Ausfallerscheinungen möglich.

Da es sich um eine entzündliche Erkrankung handelt, spielt die Labordiagnostik eine wichtige Rolle. Vor allem die Parameter Leukozyten, CRP und die Blutsenkungsgeschwindigkeit sind zu bestimmen. [15,71] Die MRT hat sich als Goldstandard der Bildgebung bei Verdacht auf eine Spondylodiszitis etabliert. [15] Insbesondere die Früherkennung, die durch die MRT möglich ist, stellt den entscheidenden Vorteil gegenüber den anderen bildgebenden Verfahren dar. [15,18] Individuell können zudem konventionelles Röntgen, Skelettszintigraphie und CT hinzugezogen werden. Die CT spielt insbesondere aufgrund der häufig angewandten CT-gesteuerten Punktion zur Erregersicherung eine wichtige Rolle. [15,18]

Neben der immer durchzuführenden Ruhigstellung und intravenösen Antibiotikatherapie können je nach Ausmaß der Entzündung ein operatives Débridement oder eine Dekompression des Spinalkanals sowie Wiederherstellung der Stabilität nötig sein. [39,83] Eine operative Therapie ist immer bei Abszedierung, neurologischen Ausfallerscheinungen sowie knöcherner Destruktion und Deformität durchzuführen. [83] Ziele der Operation sind in diesen Fällen Verhinderung oder Beseitigung einer neuralen Kompression, radikales Débridement des entzündlichen Herdes und Beseitigung der Instabilität. [31,83] Die höchste Stabilität wird hierbei mit einer 360-Grad-Fusion erreicht, wobei diese ein größeres Operationsrisiko und einen größeren Materialaufwand als eine alleinige dorsale Stabilisierung mit sich bringt. Welches Vorgehen gewählt wird, ist vom individuellen Befund des Patienten abhängig. [18]

## 4.2 Therapie

In diesem Kapitel werden die operativen Techniken vorgestellt, die im Rahmen dieser Studie von Relevanz sind.

Grundsätzlich zu unterscheiden ist im Rahmen des operativen Spektrums, ob der Zugang von ventral oder dorsal gewählt wird. Werden diese beiden Zugänge kombiniert, ein Patient also von ventral und dorsal fusioniert, spricht man von der sogenannten 360-Grad-Fusionierung.

### 4.2.1 Ventrale Spondylodesetechniken

In der Literatur wird der ventrale Zugang häufig als der zu bevorzugende bezeichnet, da er mit weniger Komplikationen vergesellschaftet sei. [30,56,93] Kato, So et al. (2017) haben in ihrer prospektiven Studie allerdings gezeigt, dass sich die Komplikationsraten des ventralen und dorsalen Zuganges nicht signifikant unterscheiden (ventral: 14,5 %, dorsal: 13,3 %). [48] Die Arten der Komplikationen unterscheiden sich allerdings erheblich. Der ventrale Zugang ist aufgrund der anatomischen Gegebenheiten zwischen Trachea, Ösophagus, Schilddrüse und Vagina carotica in der Regel wenig traumatisierend. Dennoch kommt es in 3 – 11 % zu einer Schädigung des N. recurrens und somit zu einer Heiserkeit. [92] Eine permanente Dysphagie verbleibt bei 1 – 7 %. [34,92] In 2,6 – 10 % entsteht im Anschluss an eine ventrale Fusion eine Pseudarthrosis. [92] Im Vergleich zum dorsalen Zugang ist die Infektionsrate mit 1,6 % deutlich geringer (dorsal: 5 %). [92] Insgesamt ergibt sich bei Fusionen mit ventralem Zugang eine Gesamtkomplikationsrate von 14,5 %. [48] Die entsprechende Beschreibung des dorsalen Zugangs finden sich in Kapitel 4.2.2.

#### 4.2.1.1 Ventrale Diskektomie und Fusion (ACDF)

Die ventrale Diskektomie und Fusion dient einer kurzstreckigen Dekompression von ventral, verbunden mit einer Stabilisierung über mindestens ein Segment, mittels Bandscheibenersatz durch Cage oder Knochenspan.



**Abbildung 1:** Ventrale Diskektomie und Fusion

Der Eingriff erfolgt in Rückenlage mit rekliniertem und optional eingespanntem Kopf, wobei der OP-Tisch so gekippt werden sollte, dass der Kopf über dem Niveau des Herzens liegt, um eine venöse Stauung im OP-Bereich zu vermeiden. [54] Der Hautschnitt erfolgt in der Regel paramedian, einer Hautspalte folgend. Wird der Zugang zu drei oder mehr Segmenten benötigt, verwendet man in der Regel einen Längsschnitt am vorderen Rand des M. sternocleidomastoideus. [54] Nachdem Platysma und oberflächliche Halsfaszie durchtrennt wurden, wird die gerade Halsmuskulatur medialisiert und das Gefäß-Nerven-Bündel des Halses lateralisiert. Hypopharynx, Luft- und Speiseröhre werden ebenfalls medialisiert. Im letzten Schritt der Vorbereitung wird die prävertebrale Halsfaszie inzidiert und abgeschoben. Mittels Röntgenkontrolle erfolgt eine Höhenbestimmung. In die Wirbelkörper des beteiligten Segments werden Schrauben eingebracht, an denen durch den Wirbelkörpersperrer eine leichte Distraction ausgeübt wird. Nun wird das Bandscheibenfach mithilfe einer Faszange und einem scharfen Löffel komplett ausgeräumt. Knöchernen Anbauten sowie das hintere Längsband werden mittels Fräse oder Flachfußstanzen entfernt, so dass es zu einer vollständigen Dekompression nervaler Strukturen kommt. [54] Anschließend wird ein passender Cage ins Bandscheibenfach eingebracht, dessen Größe zuvor mittels Probeimplantat ermittelt wurde. Dies geschieht in der Regel unter Bildwandlerkontrolle. Befestigt wird der Cage neben kleinen Spikes an Grund- und Deckplatten vor allem durch die Oberflächenbeschaffung selbst. Wurden früher meist Beckenkammspäne als Diskusersatz genutzt, verwendet man heute meist Cages aus Titan oder Polyetherketon (PEEK). [54,92] Optional kann zusätzlich eine Platte verwendet werden. Wurde ein Diskusersatz über eine oder zwei Höhen durchgeführt, erzielen beide Möglichkeiten – ob mit oder ohne Platte – ein ähnliches klinisches und radiologisches Outcome. [28] Ab einem Diskusersatz von drei und mehr Höhen wird aufgrund der zusätzlich gewonnenen Stabilität eine Platte empfohlen. [22] Goldstandard ist hierbei der Einsatz von Titan-Platten, da Titan sehr fest, erosions- und temperaturbeständig ist und ein geringes Gewicht hat. Die Platte wird am Wirbelkörper oberhalb sowie unterhalb des Cages mit Schrauben befestigt. Dazu werden entweder mono- oder bikortikale Schrauben verwendet. Prinzipiell bieten bikortikale Schrauben einen besseren Halt, bergen aber das Risiko, bei bereits geringer Überlänge das Myelon zu schädigen. [54] Bei guter Knochensubstanz verwendet man daher häufig monokortikale Schrauben.

Es gibt winkelstabile und winkelvariable Platten. Winkelstabile Platten werden häufig bei starker Instabilität, wie beispielsweise nach Traumata, verwendet. Bei degenerativ bedingter Instabilität werden in der Regel winkelvariable Platten gewählt. [54]

Die Kombination aus Cage und Platte ist im vorliegenden Patientenkollektiv eine häufige Voroperation. In wenigen Fällen wurde ein alleiniger Diskusersatz mittels Cage ohne Plattenosteosynthese durchgeführt.

#### 4.2.1.2 Ventrale Korporektomie und Fusion (ACCF)

Kommt es zu langstreckigen ventralen Kompressionen des Myelons, muss häufig der Wirbelkörper entfernt werden und durch ein Implantat ersetzt werden. Aus Stabilitätsgründen ist zusätzlich auch immer eine ventrale Plattenosteosynthese erforderlich. [54]

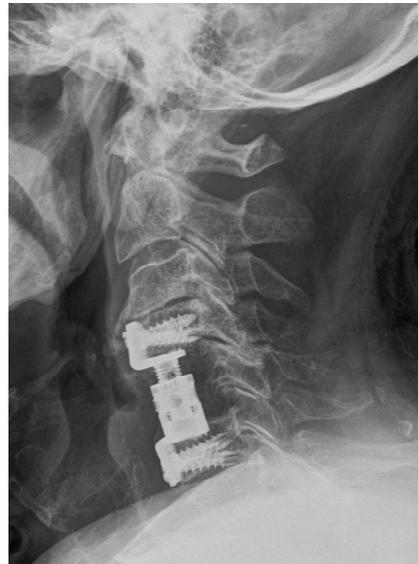
Der Zugang zur Korporektomie erfolgt auf gleiche Weise wie im vorherigen Kapitel beschrieben. Die Entfernung des Wirbelkörpers erfolgt mittels High-Speed-Drill, Rosen-Fräse, Luer-Zangen und Stanzen. Auch das hintere Längsband wird mittels Flachfußzange abgetragen. Nun wird die Größe des benötigten Implantates gemessen und dieses eingesetzt. Nach Ablassen der Distraction wird das Implantat eingepresst und somit fixiert. Analog zum im vorherigen Kapitel beschriebenen Vorgehen wird eine Platte angebracht.

Eine Ausnahme bildet hier das Implantat ADDplus (ulrich medical, Ulm, Deutschland), das neben der einstellbaren Größe auch integrierte Schrauben zur Befestigung hat. Somit ist keine zusätzliche Plattenosteosynthese nötig, was die Operation vereinfacht. Ein Nachteil des ADDplus sowie des Korrelats ohne integrierte Befestigung, aber ebenfalls höhenverstellbar, der ADD (ulrich medical, Ulm, Deutschland), ist die fehlende physiologische Lordosierung. [54] Andere Implantate, wie beispielsweise das PEEK-Implantat ATHLET (Signus, Alzenau, Deutschland), können je nach benötigter Höhe durch Kombination zweier PEEK-Elemente auf eine Höhe von bis zu 50 mm eingestellt werden. Zudem kann bei diesem Implantat der zentrale Kanal mit autologem Knochenmaterial oder biokeramischen Material aufgefüllt werden. Als Ersatz des Wirbelkörpers kann außerdem ein Beckenkammspan verwendet werden. [54]

Die Auswahl des Wirbelkörperersatzes obliegt dem Operateur und ist individuell sehr unterschiedlich. In der Klinik, in der diese Studie durchgeführt wurde, wird meist das Implantat ADD verwendet.



**Abbildung 2:** ACCF mit ADD der Firma ulrich medical



**Abbildung 3:** ACCF mit ADDplus der Firma ulrich medical

#### 4.2.1.3 Zugschraubenosteosynthese Dens axis

Da die ventrale Versorgung von Densfrakturen beim untersuchten Patientenkollektiv immer mittels Zugschraubenosteosynthese durchgeführt wurde, wird an dieser Stelle auch auf diese Operationstechnik eingegangen.

Eine Zugschraubenosteosynthese ist insbesondere bei Typ 2-Frakturen indiziert, sofern die Frakturlinie nach dorsal absteigt, sowie seltener bei Typ 3-Frakturen. [46,85]

Während bei jungen Patienten die Prognose gut ist, besteht eine signifikante Assoziation zwischen steigendem Patientenalter und der Ausbildung von Pseudarthrosen. [96] Diese Gegebenheit ist hier besonders zu erwähnen, da häufig mittels einer dorsalen Verschraubung reagiert wird. Da in der vorliegenden Studie die OP von dorsal das Einschlusskriterium ist, wurden alle Patienten, die Teil der Studie sind und mittels Zugschraubenosteosynthese versorgt wurden, auch zusätzlich von dorsal stabilisiert.

Weitere Komplikationen sind Schluckstörungen, unzureichende Frakturposition, Materialversagen und Materiallockerung. [19]

Präoperativ sollten Röntgenbilder der HWS in zwei Ebenen sowie Denszielaufnahmen veranlasst werden. Häufig ist auch eine CT zur genauen Darstellung knöcherner Strukturen unerlässlich.

Die Durchführung der Operation erfolgt in Rückenlage. Die Inzision sollte analog zu den oben genannten Eingriffen bevorzugt in einer Hautquerfalte erfolgen. Nachdem Kutis, Subkutis, Platysma und oberflächliche Halsfaszie eröffnet wurden, orientiert man sich am Vorderrand des M. sternocleidomastoideus. Durch stumpfe Präparation gelangt man medial der A. carotis zur prävertebralen Region, die kranial bis zum Segment C2/3 entfernt wird. [46]

Nun kann mit der Schraubenplatzierung begonnen werden. Häufig kann bereits mit einer Schraube ausreichende Stabilität gewonnen werden, meist werden jedoch zwei Schrauben verwendet.

Der korrekte Schraubeneintrittspunkt befindet sich an der Unterkante der Densbasis. Zunächst wird mittels Kirschnerdraht besetztem, kanüliertem Bohrer ein Bohrkanal bis zur Perforation der Densspitze für die Schraubenführung vorgebohrt. Dieser wird ausgemessen, während der Kirschnerdraht im Bohrkanal belassen wird. Über diesen wird eine kanülierte, bikortikale Schraube eingebracht. [46,85]

Postoperativ sollte 6 – 8 Wochen eine Orthese getragen werden. [85]



**Abbildung 4:** Densverschraubung ventral

## 4.2.2 Dorsale Spondylodesetechniken

Die dorsalen Spondylodesetechniken können entweder ergänzend zu ventralen Techniken oder als alleinige Stabilisation durchgeführt werden. [70] Ein großer Nachteil des dorsalen Zugangs ist, dass die Nackenmuskulatur von den hinteren Teilen der Wirbelsäule traumatisch abgelöst werden muss. Resultierende Nackenschmerzen sind bei bis zu 18 % der Patienten die Folge. [92] Das Risiko einer Verletzung der Nervenwurzel C5 ist beim dorsalen Zugang deutlich höher. [14] Wie beim ventralen Zugang schon beschrieben, liegt die Infektionsrate des dorsalen Zugangs mit 5 % deutlich über der des ventralen Zugangs. [48] Mit einer Gesamtkomplikationsrate des dorsalen Zugangs von etwa 13,3 % unterscheiden sich die beiden Zugangsarten allerdings nicht erheblich. [48]

Die Schraubenlage der von dorsal eingebrachten Schrauben birgt aufgrund der Nähe zu relevanten anatomischen Strukturen einige Risiken. Insbesondere muss auf das Myelon, die A. vertebrales im Foramen transversarium und die Nervenwurzeln geachtet werden. [80]

Zur Lagerung bei Operationen von dorsal wird im Allgemeinen die Mayfieldhalterung verwendet.

Da das Rotationszentrum der Halswirbelsäule der Flexion und Extension ventral gelegen ist, ist die Steifigkeit dorsaler Spondylodesen ventralen überlegen. [93]

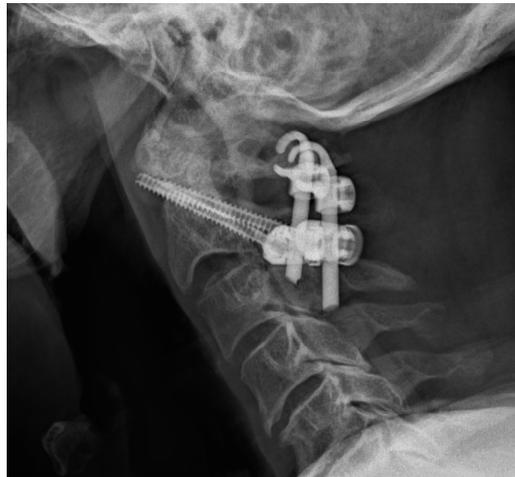
### 4.2.2.1 Transartikuläre Verschraubung nach Magerl

Die transartikuläre Stabilisierung nach Magerl ist eine effektive Methode, um eine biomechanisch gute Fixation des atlantoaxialen Segmentes zu erreichen (C1/C2). [97] Sie kann auch mit einer okzipitozervikalen Stabilisierung kombiniert werden.

Indikationen für eine transartikuläre Verschraubung sind atlantoaxiale Instabilitäten, Pseudarthrosen, Densfrakturen, die nicht von ventral verschraubt werden können, sowie Densfrakturen, bei denen durch dorsale Verschraubung keine ausreichende Stabilität erreicht werden konnte. Wichtig ist, präoperativ die Knochen- und Gefäßverhältnisse abzuklären, da bei bis zu 23 % der Patienten eine Anomalie im Verlauf der A. vertebralis festgestellt werden kann. [10]

Die Schnittführung erfolgt medial über den Dornfortsätzen und schließt den Bereich von Protuberantia occipitalis bis zum zervikothorakalen Übergang mit ein. [13] Nachdem die Nackenmuskulatur abgetrennt wurde und die dorsalen Strukturen von Atlas und Axis sowie die Wirbelgelenke C2/3 dargestellt wurden, gilt es, den Schraubeneintrittspunkt festzulegen. [10] Dieser sollte im kaudomedialen Quadranten der Rückfläche des Wirbelbogens C2 liegen. Zielpunkte sind die Massae laterales von C1, oberhalb des Tuberculum majus atlantis in seitlicher Projektion. [10,70] Hierbei können zunächst Kirschnerdrähte verwendet werden, die durch kanülierte Schrauben ersetzt werden. Vor der endgültigen Positionierung der Schrauben muss die atlantoaxiale Fehlstellung unter Bildwandlerkontrolle reponiert werden. Sollte es beim Einbringen der ersten Schraube zu einer Verletzung der ipsilateralen A. vertebralis gekommen sein, darf die kontralaterale Seite nicht zusätzlich gebohrt werden. Grund dafür ist, dass ein beidseitiger Vertebralisverschluss eine hohe Mortalitätsrate

mit sich bringt. [10] Optional kann die transartikuläre Verschraubung mit einer Atlasklammer kombiniert werden, was im untersuchten Patientenkollektiv eine gängige Methode darstellt.



**Abbildung 5:** transartikuläre Verschraubung nach Magerl mit Atlasklammer

#### 4.2.2.2 Verschraubung nach Harms

Eine alternative posteriore Stabilisation von C1 auf C2 mittels Multiaxialschrauben und Stäben beschrieben Harms und Melcher (2001). Hierbei werden in C1 zwei Pedikelschrauben nach Harms und in C2 zwei Pedikelschrauben nach Judet eingebracht. [13] Diese werden mit Stäben verbunden. Vorteile dieser Technik gegenüber der transartikulären Verschraubung sind ein geringeres Risiko der Vertebralisverletzung, keine Zerstörung der Atlantoaxialgelenke und sie setzt keinen intakten Atlasbogen voraus. Ein weiterer Vorteil ist, dass diese Technik generell flexibler den anatomischen Gegebenheiten angepasst werden kann, da für jeden Wirbelkörper eigene Schrauben verwendet werden. [88] Außerdem können die Schrauben gegebenenfalls mit einer weiteren Fusion der Halswirbelsäule verbunden werden. Die Indikationen decken sich mit den zuvor beschriebenen Indikationen der transartikulären Verschraubung. [10]



**Abbildung 6:** C1/2 Verschraubung nach Harms

#### 4.2.2.3 Okziputplatte

Eine Okziputplatte kommt zum Einsatz, wenn eine okzipitozervikale Fusion durchgeführt werden muss. Indikationen hierfür sind atlanto-okzipitale Dissoziationen, Jefferson-Fraktur oder Frakturkombinationen von Atlas und Axis. Grundlage dieser Fusionen ist kranial eine Platte, die am Okziput befestigt wird, und zervikal eine transartikuläre Magerl-Verschraubung oder weiter distal gelegene Pedikel- oder Massa lateralis Schrauben. Die Verschraubung am Okziput gelingt durch speziell geformte Okziputschrauben, der beste Halt gelingt median der Crista occipitalis interna/externa. Diese Komponenten werden über Stäbe verbunden und fixieren so den kraniozervikalen Übergang. Sie sollten vom Okziput bis mindestens C2, besser bis C3 oder C4 reichen. Mögliche Komplikationen beim Anbringen der Okziputplatte sind Duraverletzungen oder intrakranielle Verletzungen und Blutungen. [13] Die Bewegungseinschränkung ist bei dieser Technik deutlich größer als bei C1/C2-Fusionierungen. [46]



**Abbildung 7:** Okziputplatte, transartikuläre Verschraubung C1/2, Massa lateralis Schrauben C3

#### 4.2.2.4 Massa lateralis Schrauben

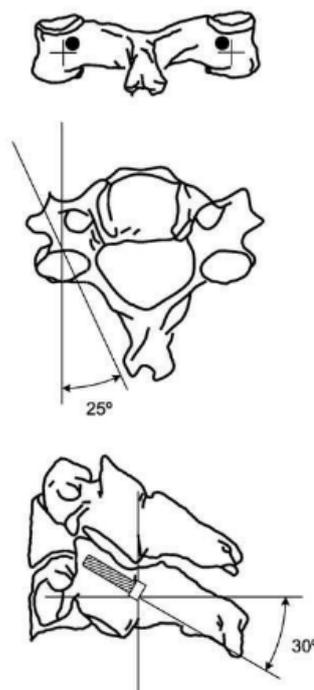
Die dorsale Stabilisierung der Halswirbelsäule mittels Massa lateralis Schrauben ist eine der am häufigsten verwendeten Techniken bei instabiler Wirbelsäule, verursacht durch Trauma, Tumor, degenerative Erkrankungen oder bei Instabilität nach anteriorer Fusion. [47,68,70] Eine alleinige dorsale Fixierung erfordert eine stabile ventrale Säule. [93] Durch die Verwendung von Schrauben in Massa lateralis oder Pedikel kann eine mono- oder multisegmentale Spondylodese der Halswirbelsäule erreicht werden. Dazu werden die Schrauben mithilfe der nachfolgend beschriebenen Techniken in den Wirbel eingebracht und anschließend mit Stäben verbunden. Verbunden hiermit wird häufig eine Dekompression von dorsal, meist in Form einer Laminektomie, durchgeführt.

Massa lateralis Schrauben in der Technik nach Magerl sind in der vorliegenden Studie die am häufigsten verwendete Technik zur dorsalen Spondylodese an der Halswirbelsäule. Vor allem in den Wirbelkörpern

C3 bis C6 sind sie Methode der Wahl. Da die Massae lateralis in C2 und C7 kleiner sind, werden hier häufig Pedikelschrauben verwendet, aber auch dort können Massa lateralis Schrauben eingesetzt werden. [2,106]

Wie der Name der Massa lateralis Schrauben verrät, werden diese in die Massa lateralis der Wirbel eingebracht. Zugang ist der dorsale Standardzugang wie oben beschrieben, wobei sehr weit nach lateral freipräpariert werden muss, um die Massa lateralis gut darzustellen. Schraubeneintrittspunkt in der Technik nach Magerl ist leicht medial und oberhalb der Mitte der Massa lateralis. Die Schraubenrichtung sollte 25 Grad nach lateral und parallel zur Gelenkoberfläche des Facettengelenks zeigen. [16,70] Der Kanal wird erst vorgebohrt und dann ausgetastet, um sicherzustellen, dass er komplett knöchern umgeben ist. [54] Dann wird er ausgemessen und eine passende Schraube eingesetzt. Die Länge der Schrauben beträgt meist zwischen 10 – 16 mm bei einem Durchmesser von 3,5 oder 4 mm. [37,49] Sind alle Schrauben eingebracht, wird die Länge des benötigten Verbindungsstabes ausgemessen. Nachdem dieser zugeschnitten und zurechtgebogen ist, werden sogenannte Verriegelungsschrauben verwendet, um Stab mit Massa lateralis Schrauben zu konnektieren. Dies beschreibt das Konzept der Top-loading-Technik, welches in unserer Studie Standard ist. [54]

Eine weitere zu erwähnende Technik zum Einbringen ist die nach Roy-Camille, wobei der Schraubeneintrittspunkt im Zentrum der Massa lateralis liegt und die Schraube zehn Grad nach lateral und parallel zur sagittalen Ebene liegt. [52] Diese Technik ist der nach Magerl allerdings hinsichtlich Schraubenhalt und Erhalt der Facettengelenke unterlegen. [16,63] Bezüglich der Gefahr einer Nervenwurzelverletzung hat die Technik aufgrund des Schraubeneintrittspunktes hingegen ein geringeres Risiko. [25]



**Abbildung 8:** Massa lateralis Schrauben, Magerl-Technik [99]

Vorteil der Massa lateralis Schrauben im Bereich der Halswirbelsäule gegenüber der im Folgenden beschriebenen Pedikelschrauben ist insbesondere ihr vergleichsweise technisch einfaches Einsetzen. Dies ist dadurch zu begründen, dass der Pedikel der Halswirbelkörper sehr schmal und von wichtigen anatomischen Strukturen wie Arteria vertebralis, Myelon und Nervenwurzel umgeben ist. [2,40] Die Vorteile der Pedikelschrauben werden im nächsten Unterkapitel dargestellt.



**Abbildung 9:** Massa lateralis Schrauben C3 – 6

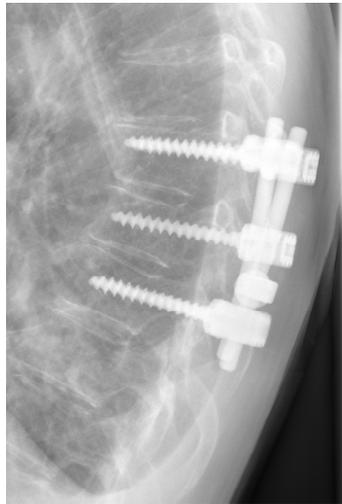
#### 4.2.2.5 Pedikelschrauben

Prinzipiell dienen Pedikelschrauben dem gleichen Ziel wie Massa lateralis Schrauben und werden ebenso über Stäbe verbunden, um eine Spondylodese zu erreichen. Es können auch verschiedene Schraubentechniken in einer Fusion kombiniert werden.

Unter biomechanischen Gesichtspunkten liefern Pedikelschrauben die höchste Stabilität und ermöglichen vor allem bei monosegmentalen Fusionen besseren Halt. [40,41,58,63] Der Einsatz gilt allerdings als technisch anspruchsvoll und erfordert einige Erfahrung.

Mit Ausnahme von C2 und C7 wird der Einsatz von Pedikelschrauben in der Halswirbelsäule als sehr riskant angesehen. [2] In C7 ist die Verwendung von Pedikelschrauben dem Einsatz von Massa lateralis Schrauben vorzuziehen, da die Massa lateralis der Wirbelkörper von C3 nach kaudal immer kleiner wird und die Gefahr einer Nervenverletzung beim Einsatz von Massa lateralis Schrauben immer größer. [52] Der intraoperative Ablauf gleicht, abgesehen der Schraubenpositionierung, dem der Spondylodese mittels Massa lateralis Schrauben. Häufig muss ein etwas längerer Hautschnitt erfolgen, da für den Eintrittswinkel der Schrauben mit einer Konvergenz von etwa 40 Grad mehr Platz nach lateral benötigt wird. Der Schraubeneintrittspunkt liegt etwas lateral des Zentrums der Massa lateralis und kurz unterhalb der oberen Gelenkfläche des Facettengelenks. Genau wie bei der Massa lateralis Schraube wird erst vorgebohrt, der Kanal ausgetastet, gemessen und anschließend die Schraube eingebracht. Diese soll dann im 40 Grad-Winkel zur Mittellinie und parallel zur Bandscheibe verlaufen. [1,2] Sie sind mit

16 – 34 mm deutlich länger als Massa lateralis Schrauben. [102,107] Wie schon erwähnt, besteht hierbei das Risiko, Arteria vertebralis nach lateral, Myelon nach medial und Nervenwurzeln zu verletzen. [2,70] Zur Minimierung von Komplikationen können die Schrauben unter Fluoroskopie eingebracht werden oder die Schraubenlagen mittels intraoperativem CT überprüft werden. [72,101,104]



**Abbildung 10:** Pedikelschrauben C7 – Th2

#### 4.2.3 Ventro-dorsaler Zugang – 360-Grad-Fusion

Neben alleinigen ventralen oder dorsalen Operationen können beide Verfahren auch kombiniert angewandt werden. Dadurch kann im Vergleich zu einseitigen Operationen eine höhere Stabilität erreicht werden. [24]

Insbesondere langstreckige Fusionen von ventral mit multisegmentalen Korporektomien sollten durch eine dorsale Fusion unterstützt werden. [7] Dadurch kann der Spinalkanal großzügiger dekomprimiert werden, ohne dass es zu Instabilitäten führt. Außerdem sinkt das Risiko für ventrales Implantatversagen. [12,51] Der Bewegungsumfang wird dabei im Vergleich zu einem einseitigen Eingriff nur minimal mehr eingeschränkt. [23]

Es gibt keine einheitlichen Empfehlungen, wann eine ventro-dorsale Fusion angestrebt werden sollte. [51]

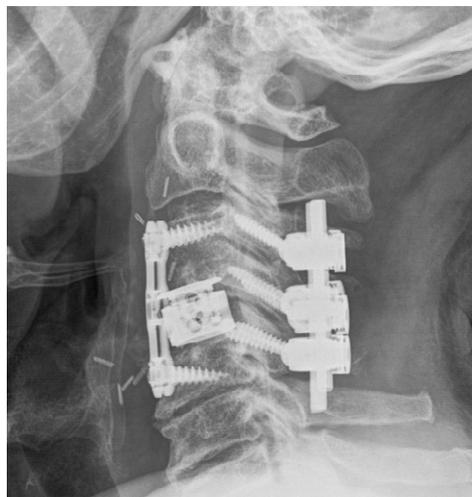
Kim et al. (2006) empfehlen einen kombinierten Zugang bei instabilen Traumata der Wirbelsäule, wie Flexions-Distraktionsfrakturen oder Berstungsfrakturen, da es bei diesen Verletzungen, wenn sie nur von einer Seite fusioniert wurden, häufiger zu Pseudarthrosen kommt. [51,73] Kommt es nach einer Dekompression durch Laminektomie zur sogenannten „postlaminectomy-kyphosis“ wird auch ein ventro-dorsaler Zugang empfohlen, um Implantatversagen und postoperative Instabilität zu verringern. Generell profitieren laut Kim et al. (2006) Patienten mit Komorbiditäten, die die Knochenqualität verschlechtern, wie Rauchen, Osteoporose, rheumatoide Arthritis oder bei renaler Dialyse, von einem kombinierten Eingriff. Auch bei Tumoren, aneurysmatischen Knochenzysten, Metastasen und

Instabilitäten nach alleiniger anteriorer oder posteriorer Operation ist häufig ein kombinierter Eingriff indiziert. [51] Die Empfehlungen von Aryan et al. (2007) decken sich mit den zuvor genannten weitgehend, sie gehen aber noch etwas weiter und raten bei anteriorer Dekompression mit Korporektomie von mehr als zwei Leveln generell auch von dorsal zu stabilisieren. [6]

Ein kombinierter ventro-dorsaler Eingriff kann auf zwei Weisen durchgeführt werden. Werden beide Operationen unmittelbar nacheinander durchgeführt, spricht man von einem einzeitigen Eingriff. Bei einer zeitlichen Trennung beider Eingriffe wird er zweizeitig genannt.

Verschiedene Studien haben gezeigt, dass einzeitige Eingriffe für den Patienten besser sind. [27,59,64,89] Bei einem einzeitigen Eingriff ist ein entscheidender Vorteil, dass nur eine Anästhesie durchgeführt wird und damit verbundene In- und Extubationsrisiken vermindert werden können. [51]. Die insgesamt Operations- und Anästhesie-Zeit sowie Blutverlust und Länge des Krankenhausaufenthaltes können durch einen einzeitigen Eingriff vermindert werden. [86] Da längerer postoperativer Krankenhausaufenthalt häufig mit Immobilität und Bettruhe verbunden ist, bedeutet dies einen Vorteil für den Patienten. [59] Bei älteren multimorbiden Patienten mit hohem Risiko bei lange anhaltender Narkose wird dennoch oft ein zweizeitiger Eingriff empfohlen, da die jeweilige Anästhesiedauer bei diesem Prozedere kürzer ist. [51]

Diese ventro-dorsale Technik wird auch als 360-Grad-Fusion bezeichnet.



**Abbildung 11:** ventro-dorsale Fusion C3 – 5

## 5 Material und Methodik

### 5.1 Patientenkollektiv

Für die Datenbank wurden Daten von 295 Patienten erhoben, die in den Jahren 2000 bis 2017 in der Klinik für Neurochirurgie der Universitätsklinik des Saarlandes von dorsal an der Halswirbelsäule fusioniert wurden. Ausgeschlossen wurden nur solche Patienten, bei denen keine vollständigen Daten erhoben werden konnten.

Zur Beantwortung der Fragestellung sind allerdings nur die Patienten relevant, welche sowohl von ventral als auch von dorsal operiert wurden. Daher ergibt sich ein Patientenkollektiv von 210 Patienten. Nähere Informationen zum Patientenkollektiv werden im Ergebnisteil aufgeführt.

### 5.2 Datenbank

Als Datenbank wurde das System Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corporation, Redmond, WH, USA) für Mac verwendet. Die Pseudonymisierung erfolgte durch das Verwenden von Patientenfallzahlen von 1 bis 295. Patientenbezogene Daten wurden in einer separaten Liste aufbewahrt, die nur am Klinikarbeitsplatz gespeichert und lediglich den durchführenden Personen zugänglich ist.

### 5.3 Datenerhebung

Über das Kodierungssystem der Universitätsklinik des Saarlandes wurden die Patienten ausgewählt, die möglicherweise ins Patientenkollektiv der Studie fallen könnten. Dazu wurden zunächst alle Patienten gesucht, die zwischen dem 01.01.2000 und dem 31.12.2017 eine Operation der Wirbelsäule erhalten hatten. Da in dieser Studie nur der zervikale Anteil von Interesse war, wurden Patienten mit Operationen an BWS oder LWS ausgeschlossen. Anschließend wurden die Patienten gefiltert, bei denen ein dorsaler Zugang durchgeführt wurde. Von allen Patienten, die eine dorsale Operation der HWS erhielten, wurden wiederum die gefiltert, bei denen eine Stabilisierung der Wirbelsäule erfolgte. Die verbleibenden Patienten wurden schließlich einzeln geprüft. Dazu wurde die Patienten ID in die Suchfunktion des SAP-Programmes (SAP SE, Walldorf, Deutschland) der Uniklinik Homburg einzeln eingegeben und alle Dokumente eines Patienten studiert. Diese sind in der elektronischen Patientenakte patientenbezogen zusammengeführt. Passten die Patienten ins Studiendesign, wurden diese Daten in eine Excel Tabelle übertragen. Insgesamt passten 295 Patienten ins Studiendesign, deren Daten detailliert erhoben wurden. Dazu wurde die elektronische Patientenakte chronologisch nach Ambulanz- und Arztbriefen sowie Operationsberichten und anderen Dokumentationen durchsucht und gelesen.

### 5.3.1 Patientenbezogene Daten

Erhobene patientenbezogene Daten wurden, wie oben beschrieben, pseudonymisiert. Persönliche Daten, die in der Datentabelle gesammelt wurden, waren Geburtsdatum und Geschlecht. Diese Daten wurden in der Datentabelle belassen, da sie relevant für Altersberechnung bei den Eingriffen sowie für die Geschlechterauswertung waren. Name und Patienten ID wurden lediglich in einer Liste auf dem Klinikcomputer mit beschränktem Zugriff für eingewiesene Personen gespeichert.

### 5.3.2 Diagnose

Zunächst war von Interesse, welche Diagnose die Indikation für einen Eingriff darstellte. Die Pathologien sind im Grundlagenteil genauer beschrieben und wurden, wie in Tabelle 1, dargestellt kodiert.

**Tabelle 1:** Kodierung Diagnosen

<b>Kodierung</b>	<b>Diagnose</b>
1	Degenerative Erkrankungen
2	Entzündliche Erkrankungen
3	Traumata
4	Neoplasien

### 5.3.3 Operation ventral

Da in den meisten Fällen die Operation von ventral vor dem dorsalen Eingriff durchgeführt wurde, wurde diese bei einer chronologischen Vorgehensweise zuerst erhoben. Zunächst war von Interesse, welche Diagnose die Indikation einer Operation stellte. Dies wurde im Abschnitt 5.3.2 thematisiert. Operationsbezogene Daten, die erhoben wurden, waren neben dem Datum der Operation das Alter der Patienten, die durchgeführte Operationstechnik und die Anzahl der operierten Segmente. Bei Wirbelkörperersatz wurde die Anzahl der ersetzten Wirbelkörper sowie deren Segmente dokumentiert. Zusätzlich wurde erhoben, ob zum Ersatz des Wirbelkörpers ein ADD oder ein ADDplus verwendet wurde. Auf die Kodierung der Operationstechniken wird im Unterpunkt 5.3.5 genauer eingegangen.

### 5.3.4 Operation dorsal

Auch bei der dorsalen Operation wurden Datum, Alter der Patienten, Diagnose sowie Anzahl und Höhen der fusionierten Segmente erhoben. Zusätzlich wurden Operationsdauer, Hersteller des verwendeten Osteosynthesematerials und die Tatsache, ob während des Eingriffes zusätzlich eine Dekompression durchgeführt wurde, dokumentiert. Hier war von besonderem Interesse, ob von dorsal die gleichen, mehr oder weniger Segmente wie von ventral fusioniert wurden.

### 5.3.5 Operationstechniken

Die jeweils angewendete Operationstechnik sowie die Informationen über die fusionierten Segmente wurden anhand der Operationsberichte erhoben. Verwendete Osteosynthesematerialien konnten über die Dokumentation der chirurgischen Pflege ausfindig gemacht werden. Die radiologischen Bilder und Befunde wurden zur exakten Erhebung zusätzlich über das Programm SECTRA (Sectra AB, Linköping, Schweden) analysiert.

#### 5.3.5.1 Kodierung ventraler Operationstechniken

Eine detaillierte Übersicht der ventralen Operationstechniken wurde in Kapitel 4.2.1 beschrieben. Kodiert wurden die Techniken wie in Tabelle 2 dargestellt.

**Tabelle 2:** Kodierung der ventralen Operationstechnik

<b>Kodierung</b>	<b>Operationstechnik</b>
1	ACDF
2	ACCF
3	Densverschraubung
4	Stand alone
5	Sonstige
9999	Keine Ventrale Operation

#### 5.3.5.2 Kodierung dorsaler Operationstechniken

Auch die dorsalen Operationstechniken wurden in Kapitel 4.2.2 detailliert beschrieben. Da bei vielen Patienten Schrauben mit Hilfe verschiedener Techniken eingebracht wurden, wurden die dorsalen Schraubentechniken zunächst nicht in einer Spalte zusammenfassend kodiert. Stattdessen wurde jedem Patienten mit 0 und 1 in einer Spalte der jeweiligen Technik zugeordnet, ob diese Technik verwendet wurde. Diese Techniken wurden in einer zusätzlichen Tabelle jeder Schraube einzeln zugeordnet und werden im folgenden Unterpunkt thematisiert. Zudem wurden Anzahl, Länge und Durchmesser der bei einem Patienten verwendeten Schrauben festgehalten.

### 5.3.6 Daten der Schrauben

Um die Schraubentechniken und -lagen einzeln auswerten zu können, wurde zusätzlich eine Tabelle angelegt, die lediglich Daten der Schrauben enthält. Dabei wurde jeder Schraube die Technik, das Segment sowie die Lage zugeordnet. Außerdem wurde erhoben, ob der Patient insgesamt eine Revision erhielt und welche Schrauben genau revidiert werden mussten. Die verwendeten Techniken mit Kodierung sind in Tabelle 3 dargestellt.

**Tabelle 3:** Kodierung der dorsalen Operationstechnik

<b>Kodierung</b>	<b>Operationstechnik</b>
1	Massa lateralis Schrauben
2	Pedikelschrauben
3	C1/2 Transartikulär
4	C1/2 nach Harms

### 5.3.6.1 Kodierung der Schraubenlage

Die Schraubenlage wurde anhand der radiologischen Bilder in Kombination mit den beschriebenen Befunden begutachtet. Falls keine Auskunft über Schraubenlage und -länge in Operationsberichten oder Befunden zu finden waren, wurden diese alleinig anhand der CT-Bilder beurteilt.

Die Schraubenlage wurde in folgende Kategorien (vgl. Tabelle 4) eingeteilt:

**Tabelle 4:** Kodierung der Schraubenlage

	<b>Kodierung</b>	<b>Lage der Schrauben</b>
<b>Schraubenlage</b>	0	Keine Schraube
	1	Korrekte Lage
	2	Schraubenlockerung
	3	Nahe der A. vertebralis
	4	Im Neuroforamen
	5	Laterale Lage
	6	Im Facettengelenk
	9999	Lage nicht erhebbar

Eine korrekte Lage der Schrauben setzte voraus, dass Länge und Ausrichtung der Schrauben richtig gewählt waren, keine umliegenden Strukturen verletzt wurden sowie keine Zeichen der Lockerung im erfassten Follow-up auftraten.

Eine Schraubenlockerung wurde anhand eines Lockerungssaumes um die Schraube im CT-Bild erkannt. Dabei handelt es sich um einen hypodensen Saum, der die Schraube umgibt. An diesen Stellen liegt die Schraube nicht direkt dem Knochen an, es kam entsprechend zu einer Lockerung. In Abbildung 12 ist ein Lockerungssaum um die dorsale Schraube links im Bild sichtbar und in Abbildung 13 bei den oberen beiden Schrauben.



**Abbildung 12:** Schraubenlockerung im axialen Schnitt



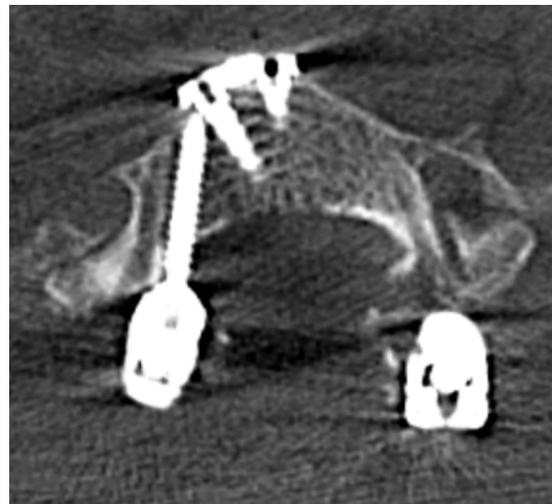
**Abbildung 13:** Schraubenlockerung im sagittalen Schnitt

Liegt die Schraube, meist die Spitze der Schraube, zumindest teilweise im Foramen transversarium, durch das die Arteria vertebralis verläuft, wurde die Lage mit drei (nahe der A. vertebralis) kodiert. Dies ist in Abbildung 14 links im Bild erkennbar.

Verlief eine Schraube zumindest teilweise durch das Neuroforamen, wurde die Lage mit vier kodiert. In Abbildung 15 liegt die Schraube links im Bild teilweise im Neuroforamen.

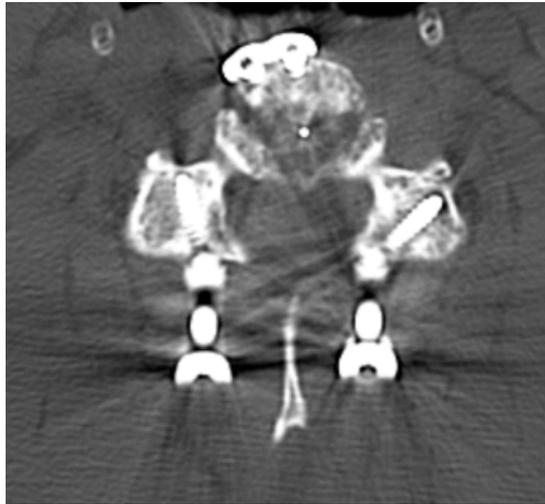


**Abbildung 14:** Schraubenspitze im Foramen transversarium



**Abbildung 15:** Schraube im Neuroforamen

Als lateral wurden Schrauben kodiert, die deutlich von der erwünschten Lage nach lateral abweichend lagen. Dies ist in Abbildung 16 bei der rechts im Bild liegenden Schraube dargestellt.



**Abbildung 16:** Lateral liegende Schraube

Schrauben, die im Verlauf das Facettengelenk verletzten, wurden mit der Zahl sechs kodiert. Die in Abbildung 17 im Sagittalschnitt der Wirbelsäule dargestellte Schraube verletzt das Facettengelenk.



**Abbildung 17:** Schraube im Facettengelenk

### 5.3.7 Revisionen

Die Befunde der Patientenakten wurden bis zum aktuellen Zeitpunkt nach Wiedervorstellung und Operationen durchsucht, um Revisionsoperationen zu erfassen. Hierbei wurden Indikation der Revision, ob die Revision dorsal, ventral oder von beiden Seiten nötig war, sowie jeweils die Technik und die Segmente erhoben. Dabei wurden für die Indikation der Revision folgende Kodierungen (Tabelle 5) gewählt. Unter „Sonstige“ wurden Stürze, Traumata, Tumorprogress und andere seltene Diagnosen zusammengefasst.

**Tabelle 5:** Indikation der Revisionsoperationen

<b>Kodierung</b>	<b>Indikation Revision</b>
1	Wundheilungsstörung
2	Schraubenfehlage
3	Schraubenlockerung dorsal
4	Dislokation ventrales Osteosynthesematerial
5	Lockerung ventrales und dorsales Osteosynthesematerial
6	Sonstige

### 5.3.8 Klinische Daten

Um die Dauer des stationären Aufenthaltes bestimmen zu können, wurde das Entlassungsdatum dokumentiert. Außerdem wurde bei jedem Patienten die Klinik in Form von bestehender Radikulopathie, Schmerzen in Arm oder Nacken, Paresen, Gangstörung, Störungen der Feinmotorik sowie gesteigerte Reflexe erhoben. Alle Parameter wurden zum Zeitpunkt vor der dorsalen Operation, bei Entlassung und zum Zeitpunkt der letzten Nachsorgeuntersuchung erhoben. Die klinischen Daten wurden in dieser Dissertation nicht aufgearbeitet. Anhand der Vorstellungstermine konnte aber ein Follow-up bezüglich des Auftretens von Revisionen erfasst werden.

## 5.4 Datenauswertung

Die retrospektive Analyse der Daten erfolgte mit Hilfe des Statistikprogrammes IBM SPSS 24 (IBM Corporation, Armonk, USA). Hierfür wurden zunächst Variablen in SPSS erstellt und diese mit den Daten aus der Excel Tabelle gefüllt. Für beschreibende Variablen wurden deskriptive Analysen verwendet. Außerdem wurden Messwertanalysen und der Chi-Quadrat-Test verwendet.

Das statistische Signifikanzniveau wurde mit  $\alpha = 0,05$  festgelegt. Ergebnisse mit einem  $p$  – Wert  $< 0,05$  gelten somit als statistisch signifikant.

## 6 Ergebnisse

Eingeschlossen wurden nur die Patienten aus dem Patientenkollektiv, die von ventral und dorsal operiert worden waren.

Somit wurden 210 Patienten in die Studie inkludiert, von denen 28,6 % (n = 60) weiblich und 71,4 % (n = 150) männlich sind.

Das Durchschnittsalter beim dorsalen Eingriff lag bei 64,9 Jahren, wobei der jüngste Patient 17 Jahre und der älteste Patient 91 Jahre alt war.

**Tabelle 6:** Gesamtpatientenkollektiv

<b>Parameter</b>		<b>Anzahl</b>	<b>Prozent [%]</b>
<b>Patienten</b>		210	
<b>Geschlecht</b>	männlich	150	71,4
	weiblich	60	28,6
<b>Indikation</b>	Degenerative Erkrankungen	124	59
	Trauma	45	21,4
	Neoplasien	30	14,3
	Entzündliche Erkrankungen	11	5,2
<b>Durchführung</b>	einzeitig	75	35,7
	zweizeitig	135	64,3

Die am häufigsten zur Operation führende Indikation waren mit 59 % (n = 124) degenerative Erkrankungen der Halswirbelsäule. Traumata führten mit 21,4 % (n = 45) am zweithäufigsten zur Operation. Neoplasien mit 14,3 % (n = 30) und entzündliche Erkrankungen mit 5,2 % (n = 11) der Fälle stellten die selteneren Indikationen dar.

Bei 75 Patienten wurden ventraler und dorsaler Eingriff am gleichen Tag durchgeführt, also eine einzeitige Methode gewählt. Bei den restlichen 135 Patienten wurden die Eingriffe zeitlich getrennt vorgenommen. Davon wurde bei den meisten Patienten (n = 132; 97,7 %) die ventrale vor der dorsalen Operation durchgeführt. Der durchschnittliche Abstand zwischen beiden Eingriffen lag bei 238,7 Tagen mit einem Minimum von einem Tag und einem Maximum von 15,9 Jahren.

Von ventral wurde bei 69,5 % (n = 146) der Patienten ein Wirbelkörperersatz durchgeführt. Bei 21,9 % (n = 46) wurde die Bandscheibe ersetzt und die Segmente fusioniert. Bei 4,3 % (n = 9) wurde von ventral der Dens axis verschraubt. In 3,3 % (n = 7) der Fälle wurde die Bandscheibe durch einen Cage in Stand-alone-Technik ersetzt. Im Schnitt wurden dabei von ventral 2,44 Segmente fusioniert mit einem Minimum von einem und einem Maximum von fünf Segmenten.

Tabelle 7: Operationstechnik

Technik	Anzahl	Prozent [%]
<b>ventral</b>	ACCF	146 69,5
	ACDF	46 21,9
	Densverschraubung	9 4,3
	Stand-alone	7 3,3
<b>dorsal</b>	Massa lateralis Schrauben	201 91,9
	Pedikelschrauben	48 22,9
	C1/2 Transartikulär	9 4,3
	C1/2 nach Harms	3 1,4
	Okziputplatte	2 1,0

Bei der Operation mit dorsalem Zugang wurden häufig mehrere Techniken kombiniert verwendet. Massa lateralis Schrauben wurden bei 91,9 % (n = 201) der Patienten eingesetzt. Pedikelschrauben kamen bei 22,9 % (n = 48) der Patienten zum Einsatz. Eine transartikuläre Verschraubung nach Magerl C1/2 wurde bei 4,3 % (n = 9) der Patienten durchgeführt. Die ebenfalls der C1/2 dienenden Fusion nach Harms wurde bei 1,4 % (n = 3) eingesetzt. Eine Okziputplatte in Kombination mit zervikalen Schrauben zur okzipitozervikalen Fusion wurde bei 1,0 % (n = 2) benötigt. Daher ergibt sich in Tabelle 7 ein Prozentgesamtwert von über hundert Prozent.

Bei 51,0 % (n = 107) wurde im Rahmen des dorsalen Eingriffs eine Dekompression, meist in Form einer Laminektomie, durchgeführt.

Beim dorsalen Eingriff wurden im Schnitt 2,75 Segmente fusioniert (Range: 1–6).

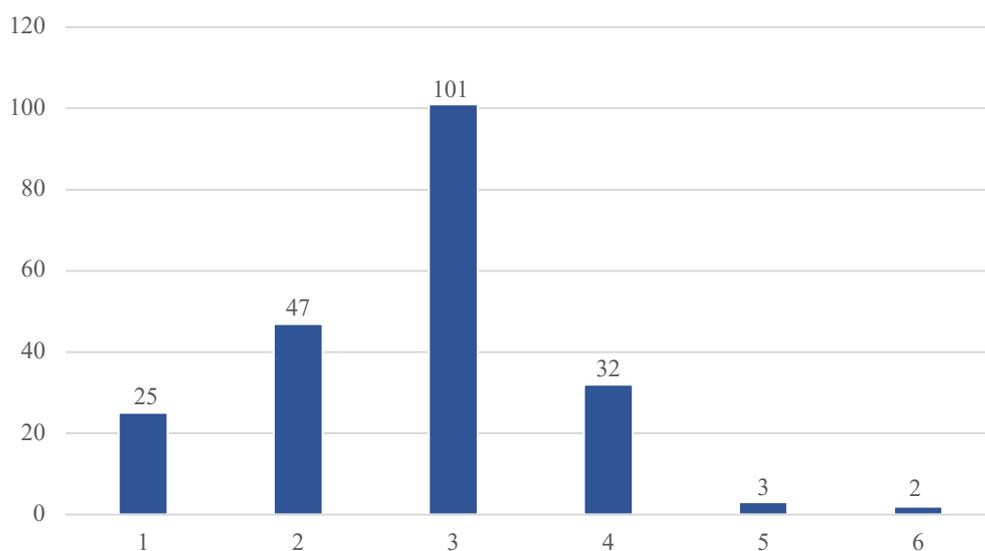
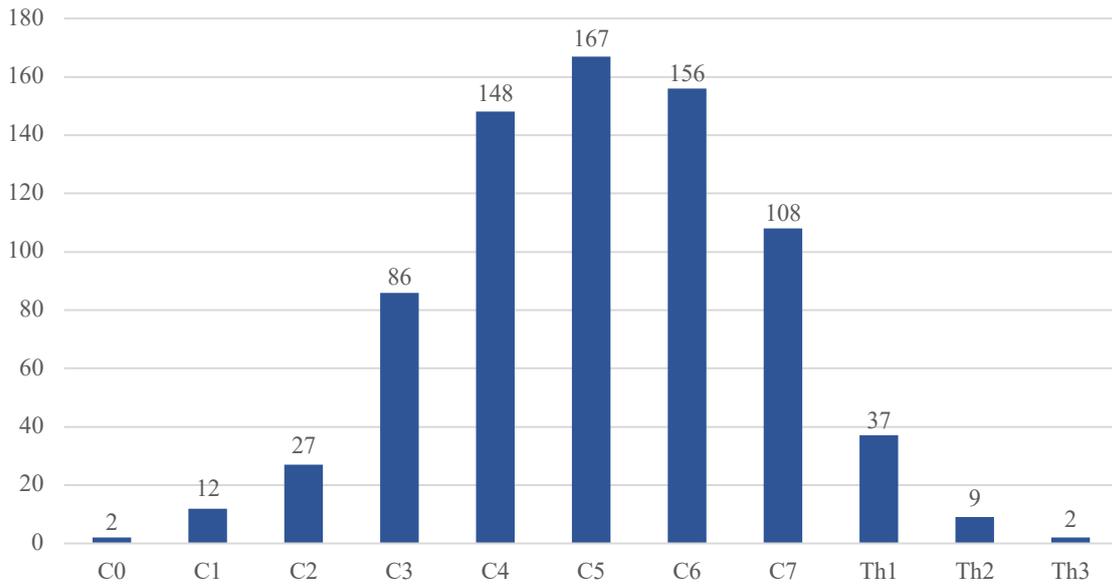
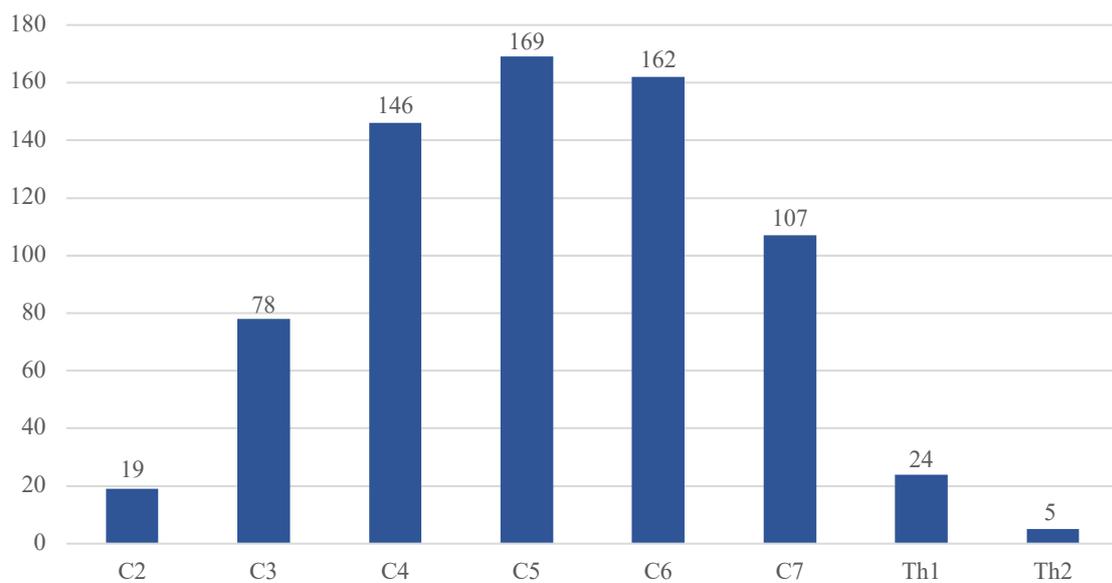


Abbildung 18: Anzahl fusionierter Segmente dorsal



**Abbildung 19:** Häufigkeit der dorsal in die Fusion eingeschlossenen Segmente



**Abbildung 20:** Häufigkeit der ventral in die Fusion eingeschlossenen Segmente

Die Operationsdauer des dorsalen Eingriffs betrug im Durchschnitt 2:27 Stunden (n = 198) mit einer Standardabweichung von einer Stunde. Die kürzeste Operation dauerte 51 Minuten, die längste 6:14 Stunden.

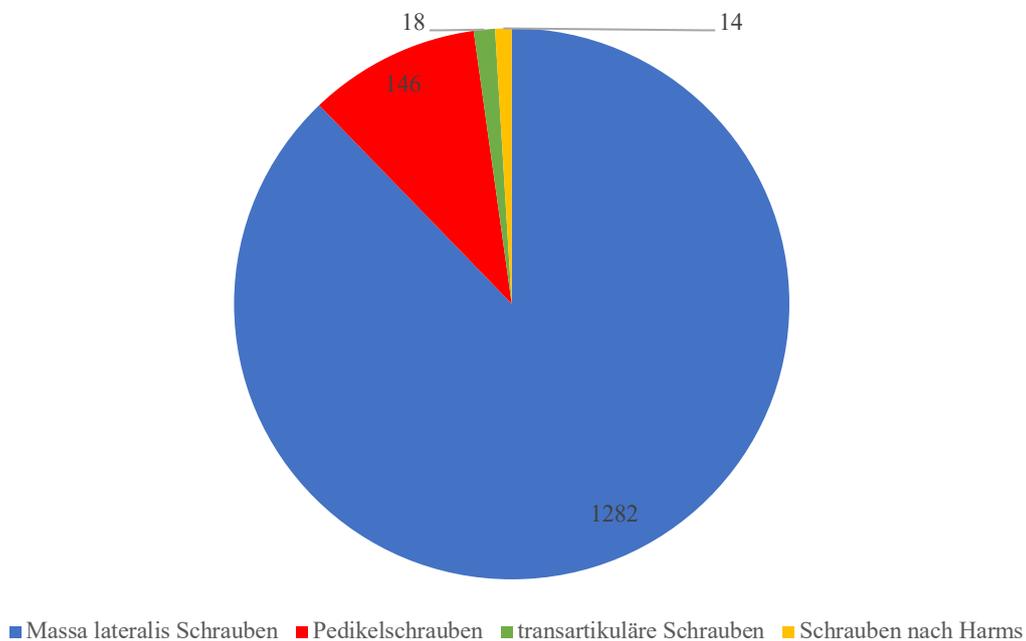
Der durchschnittliche postoperative Krankenhausaufenthalt nach der dorsalen Operation betrug 13,28 Tage mit einer Standardabweichung von 11,02. Der kürzeste postoperative Aufenthalt betrug drei Tage, der längste 104. Sechs Patienten verstarben während des postoperativen Krankenhausaufenthaltes und wurden in die Berechnung des durchschnittlichen Krankenhausaufenthaltes nicht einberechnet. Bei drei Patienten war Herz-Kreislaufversagen die Todesursache. Bei zwei Patienten kam es postoperativ zu

einer tödlichen Sepsis und bei einem Patienten zu einem kardiogenen Schock infolge von linksseitigen Thrombosen in Vena jugularis interna und Vena axillaris mit akutem Nierenversagen. Der Todeszeitpunkt war im Schnitt am neunten postoperativen Tag (Range: 2–26).

## 6.1 Schrauben

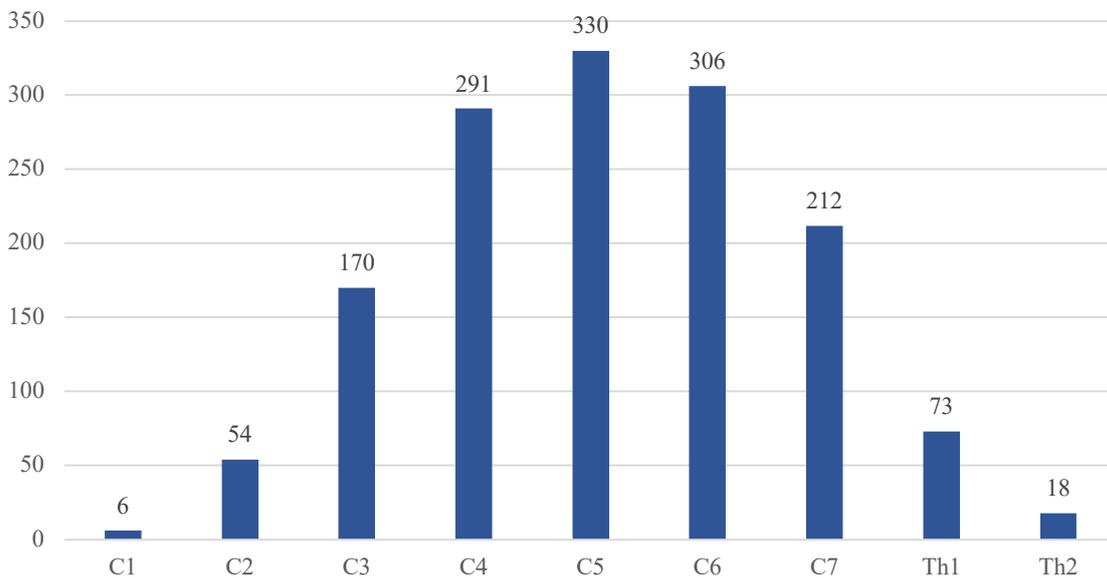
Bei den 210 Patienten wurden von dorsal insgesamt 1460 Schrauben eingesetzt.

Die am häufigsten angewandte Technik war mit 87,7 % (n = 1282) das Einbringen von Massa lateralis Schrauben. Deutlich seltener wurden Pedikelschrauben (n = 146; 10 %), transartikuläre Schrauben (n = 18; 1,2 %) und Schrauben nach Harms (n = 14; 1,0 %) eingesetzt.



**Abbildung 21:** Schraubentechnik

Dabei wurden hauptsächlich (84 %) Schrauben der Längen 10 – 16 mm verwendet. Am häufigsten wurden 10 mm lange Schrauben (n = 525), gefolgt von 12 mm (n = 435), 14 mm (n = 209) und 16 mm (n = 57), eingesetzt.



**Abbildung 22:** Anzahl der Schrauben in den einzelnen Segmenten

### 6.1.1 Schraubenlage

Die Lage der Schrauben konnte in 1429 Fällen anhand des vorliegenden Bildmaterials bestimmt werden.

**Tabelle 8:** Schraubenlage

	Häufigkeit	Prozent [%]
Korrekte Lage	1216	85,1
Lockerung	40	2,8
Nahe A. vertebralis	9	0,6
Neuroforamen	34	2,4
Lateral	35	2,4
Im Facettengelenk	95	6,6
<b>Gesamt</b>	<b>1429</b>	<b>100,0</b>

Bei 1216 Schrauben wurde die Schraubenlage als korrekt bewertet. Zwölf der korrekt liegenden Schrauben mussten im Verlauf dennoch revidiert werden (0,9 %). In 40 Fällen kam es zu einer Lockerung. Auf die Revisionen dieser Gruppe wird im Kapitel 6.3 genauer eingegangen. Neun Schrauben lagen nahe der Arteria vertebralis, davon wurde lediglich eine Schraube revidiert (11,1 %). Bei 34 Schrauben wurde postoperativ eine Lage im Neuroforamen festgestellt. Davon wurden elf Schrauben revidiert (32,4 %). Insgesamt 35 Schrauben hatten eine nach lateral abweichende Lage. Sieben dieser lateral liegenden Schrauben wurden im Verlauf revidiert (20 %). Am häufigsten war die

Fehllage der Schrauben im Facettengelenk. Dies war bei 95 Schrauben der Fall. Dennoch mussten lediglich sechs dieser Schrauben revidiert werden (6,3 %).

**Tabelle 9:** Revision der Schrauben nach Lage

	Revision der Schraube		Gesamt	
	nein	ja (Prozent [%])		
	Korrekte Lage	1204	12 (0,9)	1216
	Lockerung	13	27 (67,5)	40
<b>Schraubenlage</b>	Nahe A. vertebralis	8	1 (11,1)	9
	Neuroforamen	23	11 (32,4)	34
	Lateral	28	7 (20)	35
	Im Facettengelenk	89	6 (6,3)	95
<b>Gesamt</b>		1365	64	1429

## 6.2 Revisionen

Von den 210 Patienten mussten 43 (20,5 %) aufgrund von Komplikationen mit dem Osteosynthesematerial oder dorsalen Wundheilungsstörungen revidiert werden.

Bei 5,7 % (n = 12) der Patienten kam es zu oberflächlichen Wundheilungsstörungen, die operativ behandelt werden mussten. Da in dieser Studie das Osteosynthesematerial im Vordergrund steht, werden diese Revisionen im Folgenden nicht mehr berücksichtigt.

Demzufolge wurden 31 Patienten aufgrund von Komplikationen, die das Osteosynthesematerial betrafen, revidiert.

Davon wurden 15 Patienten nur von dorsal revidiert, neun nur von ventral und sieben Patienten wurden von ventral und dorsal erneut operiert.

### 6.2.1 Indikation der Revision

Indikationen, die zur Revisionsoperation führten, waren in jeweils sechs Fällen Schraubenfehllagen beziehungsweise Schraubenlockerung dorsal. Ebenfalls in sechs Fällen war die Dislokation des ventralen Osteosynthesematerials Grund für die Revisionsoperation. In fünf Fällen lockerten sich ventrales und dorsales Osteosynthesematerial. In acht Fällen waren Stürze, Traumata, Tumorprogress und Ähnliches Grund für die Revision. Diese wurden unter „Sonstige“ zusammengefasst.

**Tabelle 10:** Indikation Revisionsoperation

		Häufigkeit	Prozent der Revisionen [%]	Prozent aller Patienten [%]
	Schraubenfehllage	6	19,4	2,8
	Schraubenlockerung dorsal	6	19,4	2,8
<b>Indikation</b>	Dislokation ventrales	6	19,4	2,8
<b>Revision</b>	Osteosynthesematerial	5	16,1	2,4
	Lockerung ventrales und dorsales	5	16,1	2,4
	Osteosynthesematerial	8	25,8	3,8
	Sonstige	8	25,8	3,8
<b>Gesamt</b>		31	100	14,6

### 6.2.2 Technik der ventralen Operation bei Revisionen

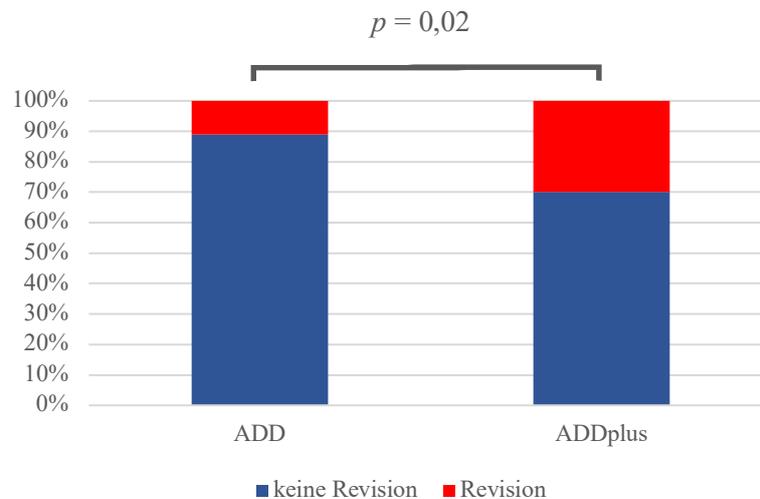
In der folgenden Tabelle sind die Techniken der ventralen Operationen bezogen auf die Häufigkeit der Revisionen dargestellt.

**Tabelle 11:** Technik ventrale Operation und Revisionen

		Keine Revision		Revision		Gesamt
		Anzahl	Prozent [%]	Anzahl	Prozent [%]	
	ACCF	123	(82,2)	23	(15,8)	146
<b>Technik</b>	ACDF	41	(89,1)	5	(10,9)	46
<b>ventrale</b>	Densverschraubung	9	(100)	0	(0)	9
<b>Operation</b>	Stand-alone	5	(71,4)	2	(28,6)	7
	Sonstige	1	(50,0)	1	(50,0)	2
<b>Gesamt</b>		179	(85,2)	31	(14,8)	210

Prozentual am häufigsten mit 28,6 % (n = 2) wurden Patienten revidiert, bei denen ventral lediglich ein Cage als Bandscheibenersatz ohne zusätzliche Fusion durchgeführt wurde. Allerdings ist die Gesamtanzahl mit sieben Patienten sehr gering. Patienten bei denen eine Diskektomie mit Fusion mittels Platte (ACDF) durchgeführt wurde (n = 41), lag die Revisionsrate bei 10,9 % (n = 5). Bei 146 Patienten wurde ein Wirbelkörperersatz mit Fusion durchgeführt. Davon mussten 15,8 % (n = 23) aufgrund von Versagen des Osteosynthesematerials revidiert werden. Bei sieben Patienten war eine Lockerung der dorsalen Schrauben Grund für die Revision. Als Wirbelkörperersatz wurde in den meisten Fällen (n = 85) ein ADD oder ADDplus der Firma Ulrich Medical verwendet. Nach Einsatz eines ADD (n = 72) kam es bei 11,1 % (n = 8) zu einer Revision. Prozentual mit 30 % deutlich häufiger kam es beim Einsatz

des ADDplus (n = 30) zu Revisionsoperationen (n = 9). Der Zusammenhang, dass es bei Einsatz des ADDplus häufiger zu Revisionen kam im Vergleich zum ADD, ist statistisch signifikant ( $p = 0,02$ ).



**Abbildung 23:** ADD und ADDplus im Vergleich bezogen auf Revisionsrate

Wurden drei Wirbelkörper ersetzt (n = 18), lag die Revisionsrate mit 27,7 % am höchsten. Bei einem ersetzten Wirbelkörper wurden 18,5 %, bei zwei Wirbelkörpern 14,8 % revidiert. Es gibt keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Anzahl der ersetzten Wirbelkörper und Revisionen.

#### 6.2.2.1 Technik der ventralen Operation bei Revisionen aufgrund von Schraubenlockerung dorsal

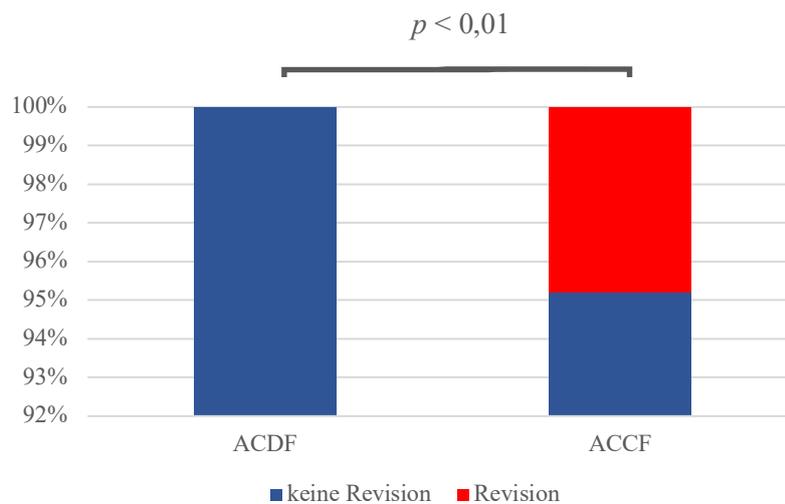
Betrachtet man die Revisionsoperationen aufgrund von dorsalen Schraubenlockerungen, ergibt sich folgendes in Tabelle 12 dargestelltes Ergebnis.

**Tabelle 12:** Technik ventrale Operation bei dorsaler Schraubenlockerung

		Revision bei Lockerung dorsal (Anteil der Gesamtgruppe [%])		
		Nein	Ja	Gesamt
<b>Technik ventrale Operation</b>	ACDF	46 (23)	0 (0)	46
	ACCF	139 (69,5)	7 (70)	146
	Densverschraubung	9 (4,5)	0 (0)	9
	Stand-alone	5 (2,5)	2 (20)	7
	Sonstige	1 (0,5)	1 (10)	2
<b>Gesamt</b>		200	10	210

Die ventrale Diskektomie und Fusion (ACDF) wurde in 46 Fällen angewendet. Dabei kam es in keinem Fall zu einer Revision aufgrund einer Schraubenlockerung dorsal. Bei der mit 146 Fällen deutlich häufiger angewendeten Technik des Wirbelkörperersatzes (ACCF) kam es in sieben Fällen zu einer Revision bei Schraubenlockerung dorsal. Dies entspricht 4,7 % der Gruppe. Die Gruppen der deutlich seltener vorkommenden OP-Techniken sind zu klein, um statistisch signifikante Ergebnisse zu erzielen. Bezüglich der Frage, ob die ventrale Operationstechnik einen relevanten Zusammenhang zu Revisionen

bei Schraubenlockerung dorsal hat, ergibt sich folgende Überlegung: Wenn die ventrale OP-Technik keinen Einfluss hätte, entspräche der Anteil der Revisionen einer ventralen Technik dem Erwartungswert. Dieser ist in Tabelle 12 als prozentualer Anteil der Gesamtgruppe in Klammern angegeben. Beim Wirbelkörperersatz (ACCF) wird dieser Erwartungswert mit 70 %-igen Anteil an OP-Technik und Revisionen bei dorsalen Schraubenlockerungen erreicht. Bezogen auf die Technik ACDF bleibt der tatsächliche Wert mit null deutlich unter dem Erwartungswert. Dieser Zusammenhang ist statistisch signifikant ( $p < 0,01$ ). Wurde ventral ein Wirbelkörperersatz durchgeführt, kam es signifikant häufiger zu Revisionen bei Schraubenlockerung dorsal als bei ventraler Diskektomie und Fusion.



**Abbildung 24:** Ventrale Technik bei Revisionen wegen Schraubenlockerung dorsal

### 6.2.3 Zeitpunkt der Revision

Die Revisionsoperationen erfolgten in einem Fall am ersten postoperativen Tag und maximal 5,3 Jahre nach der dorsalen Operation. Im Schnitt lagen zwischen OP und Revisionsoperation 7,3 Monate.

Bei Revisionen aufgrund von Schraubenlockerungen dorsal ( $n = 10$ ) lag der Mittelwert bei 7,06 Monaten (Range: 1 Tag – 34,53 Monate).

### 6.2.4 Zusammenhang Dekompression, Anzahl der Segmente, ausgelassene Segmente

Es gibt keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Revisionen des Osteosynthesematerials und der Variablen, ob während der dorsalen Operation gleichzeitig eine Dekompression durchgeführt wurde ( $p > 0,05$ ). Ebenso gibt es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Anzahl der Segmente der dorsalen Operation und Revisionen ( $p > 0,05$ ). Auch ob von dorsal Segmente ausgelassen wurden, ergibt keinen signifikanten Zusammenhang mit Revisionshäufigkeit ( $p > 0,05$ ).

## 6.3 Schraubenlockerungen

### 6.3.1 Häufigkeit der Schraubenlockerungen

Bei 40 Schrauben (2,7 %) kam es im Verlauf zu einer Lockerung. Davon waren 38 Schrauben (95 %) in die Massa lateralis eingesetzte Schrauben und zwei Pedikelschrauben (5 %). Von den gelockerten Schrauben mussten 27 (67,5 %) revidiert werden.

Prozentual gesehen lockerten Schrauben besonders häufig in C2 mit 14,8 % aller Schrauben, die in C2 eingebracht wurden. In Th2 mit 5,5 % und C3 mit 5,3 % waren die Lockerungsraten ebenfalls erhöht im Vergleich zu den übrigen Segmenten. Dort lag die Lockerungsrate unter 3 %. In Abbildung 25 ist im linken Balken jeweils die absolute Anzahl an aufgetretenen Lockerungen pro Segment dargestellt. Der rechte Balken verdeutlicht, wie viele Schrauben von allen, in diesem Segment eingebrachten Schrauben, lockerten.

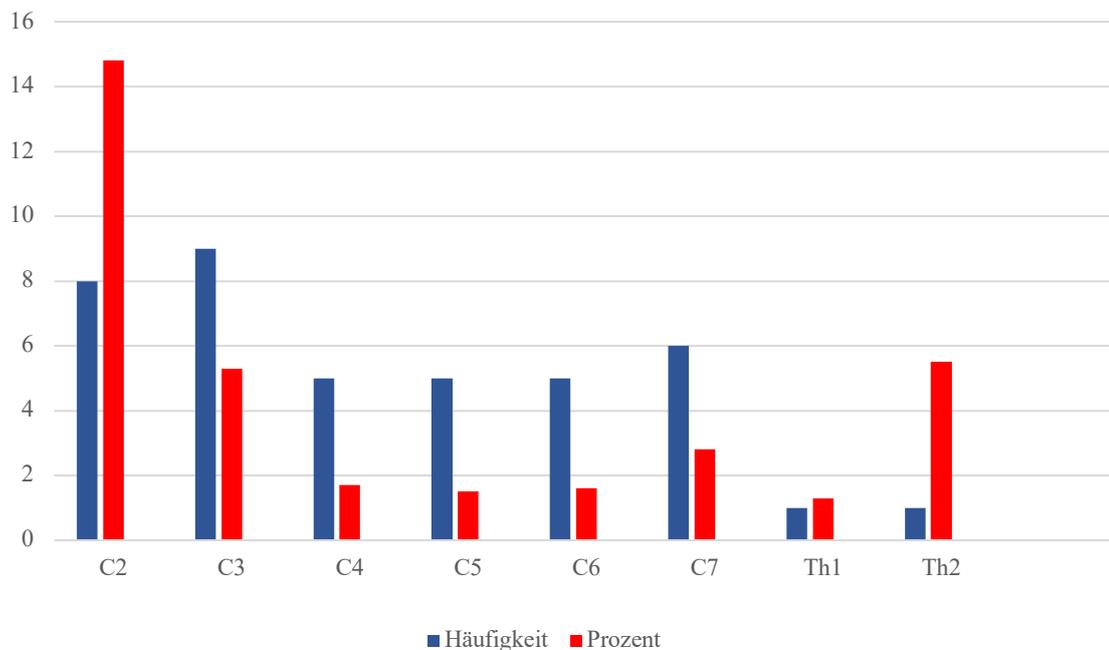


Abbildung 25: Segmente bei Schraubenlockerung

### 6.3.2 Lockerungen in ventral nicht fusionierten Segmenten

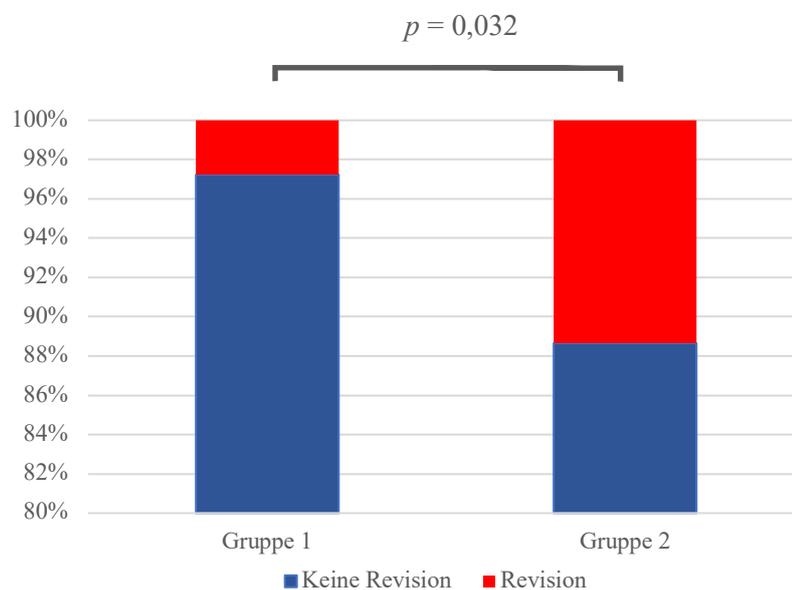
Um diese Fragestellung zu beantworten, haben wir ein Minimum-Follow-Up von sechs Wochen vorausgesetzt. Dies ist der Zeitpunkt für die standardmäßige erste Nachkontrolle nach Spondylodeseoperationen. Von 210 Patienten verstarben sechs Patienten, wie oben beschrieben, während des postoperativen Krankenhausaufenthaltes, 52 Patienten erschienen nicht zur Nachkontrolle. Die Voraussetzung erfüllten demnach 152 Patienten. Davon mussten insgesamt acht Patienten (5,2 %) revidiert werden, weil sich dorsale Schrauben lockerten. Um die Fragestellung zu beantworten, wurden die Patienten in zwei Gruppen eingeteilt. Patienten in Gruppe 1 wurden ventral und dorsal in den

gleichen Höhen fusioniert. Bei Patienten in Gruppe 2 wurden von dorsal mehr Segmente als von ventral fusioniert. Hier gibt es also Segmente, die lediglich von dorsal fusioniert wurden. Dies war bei 44 Patienten der Fall. Gruppe 1 wurden demzufolge 108 Patienten zugeteilt.

**Tabelle 13:** Revision bei Lockerung

Revision bei Lockerung (Anteil der Gruppe [%])				
	ja	nein	Gesamt	
<b>Gruppe 1</b>	3 (2,7)	105 (97,3)	108	
<b>Gruppe 2</b>	5 (11,3)	39 (88,7)	44	
<b>Gesamt</b>	8 (5,3)	144 (94,7)	152	

In Gruppe 1 kam es zu drei Revisionen bei Lockerung, in Gruppe 2 zu fünf. Obwohl die Gruppe quantitativ deutlich kleiner ist, kam es also zu mehr Revisionen. Der Zusammenhang ist statistisch signifikant ( $p = 0,032$ ). Diese Schraubenlockerungen waren zu 100 % in den Segmenten, die von ventral nicht fusioniert wurden. Der Zeitpunkt der Lockerungen lag im Schnitt bei 10,9 Monaten nach dem dorsalen Eingriff (Range: 0,79–34,53 Monate).



**Abbildung 26:** Revisionen bei Schraubenlockerung

## 7 Diskussion

Die Diskussion befasst sich zunächst mit den Einschränkungen von Material und Methoden dieser Studie. Anschließend werden die Ergebnisse der Studie mit der aktuellen Literatur zu diesen Themen diskutiert sowie die Fragestellung, ob es im Hinblick auf Stabilität, Komplikations- sowie Revisionsraten sinnvoll ist, ventro-dorsale Fusionen durchzuführen. Anschließend werden Schraubenlockerungsraten und Faktoren, die Schraubenlockerungen beeinflussen können, betrachtet.

### 7.1 Diskussion von Material und Methoden

Das Patientenkollektiv umfasst alle zwischen 2000 und 2017 in der Neurochirurgie der Universitätsklinik Homburg dorsal an der Halswirbelsäule stabilisierten Patienten. Durch diesen relativ langen Zeitraum wurden viele Patienten erfasst und es gibt keine Selektion innerhalb des Patientenkollektivs. Dies entspricht einer realitätsnahen Versuchsgruppe mit Patienten verschiedenen Alters und unterschiedlichen Diagnosen. Dadurch ist das Patientenkollektiv allerdings auch sehr inhomogen in genau diesen Punkten. Dennoch wurde die Verteilung so belassen, da dadurch eine große Patientenzahl eingeschlossen werden konnte und die reale Gesamtheit der Patienten wiedergespiegelt ist. Durch die sehr heterogene Gruppe mit vielen verschiedenen Diagnosen war es nötig, diese in verschiedene Teilgruppen zu gliedern. Dazu wurde die Gruppierung in degenerative Erkrankungen, entzündliche Erkrankungen, Traumata und Neoplasien gewählt. Diese Einteilung wird auch in anderen Veröffentlichungen verwendet, wobei sich Studien dabei häufig nur mit einer der Gruppen auseinandersetzen. [20,21,77,78,87]

Die Einteilung der Operationsmethoden von ventral und dorsal wurde unabhängig voneinander bestimmt. Hierbei gab es, insbesondere in frühen eingeschlossenen Jahren, seltene angewandte Techniken, die in „Sonstige“ zusammengefasst wurden. Wären diese einzeln aufgeführt worden, wäre jede einzelne Gruppe so klein gewesen, dass es keine statistisch auswertbaren Daten ergeben hätte. Deswegen stellt die Gruppe „Sonstige“ eine Zusammenfassung dar, ohne dass sie für Revisionsergebnisse verwertet wurde.

Die Einteilung der Schraubenlagen wurde in dem durchführenden Institut schon häufiger verwendet und ist insofern im kleinen Rahmen etabliert. Dennoch gibt es hierbei einige einschränkende Kriterien. Zum einen wird die Schraubenlage nur zu einem Zeitpunkt erfasst und dementsprechend nur einer Gruppe zugeteilt. Läge eine Schraube zunächst beispielsweise zu lateral, lockert im Verlauf aber zusätzlich, würde die Schraube nur der Gruppe Lockerung zugeordnet werden. Zum anderen wurde kein einheitlicher Zeitpunkt der Lagebestimmung festgelegt. Dies ist insbesondere dadurch begründet, dass es sich um eine retrospektive Studie handelt und Daten nicht rückwirkend erhoben werden können.

Zudem rechtfertigt die Bestimmung der Schraubenlage im Rahmen einer Studie ohne klinische Konsequenz nicht die Strahlenbelastung, die mit einer CT einhergeht.

In der vorliegenden Studie wurde die Schraubenlage lediglich von einer Person, der Doktorandin, bestimmt. Dies hat den Vorteil, dass es keine Verfälschung durch verschiedene Begutachter gab. Gleichzeitig stellt es auch einen Nachteil dar, weil eine Objektivierung durch verschiedene Untersucher entfiel. Der hohe zeitliche Aufwand ließ eine breitere Beurteilung im klinischen Alltag nicht zu. Die Gliederung der Schraubenlage wurde aber gemeinsam erarbeitet und bei den ersten und unklaren Fällen gemeinsam mit den betreuenden Ärzten durchgeführt.

Die Gruppe der Lockerungen ist trotz des großen Patientenkollektivs recht klein. Dies ist klinisch erfreulich, vereinfacht die statistische Auswertung allerdings nicht. Wenn die ohnehin schon kleine Gruppe an Lockerungen auf verschiedene Techniken und Diagnosen aufgeteilt wird, ergeben sich sehr kleine Untergruppen mit teils einstelligen Patientenzahlen. Dies könnte dadurch behoben werden, ein noch größeres Patientenkollektiv zu erheben. Da die Dokumentation vor dem Jahr 2000 nicht ausreichend digitalisiert ist und kaum bildgebende Daten vorliegen, konnte die Recherche nicht auf frühere Jahre ausgedehnt werden. Dennoch gelang es in der vorliegenden Studie, relevante und teils statistisch signifikante Ergebnisse zu erzielen.

In dieser Studie wurden die Operateure nicht erfasst. Da es sich um eine Studie über einen langen Zeitraum handelt, wäre die Zahl der Operateure sehr groß und inhomogen. Zudem wurden die Patienten jeweils von ventral und dorsal operiert und das meist an verschiedenen Tagen und von verschiedenen Operateuren. Dadurch entsteht ein komplexes Netz aus verschiedenen Operateuren, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten ihrer Lernkurve operierten und mit mehreren Operateuren an einem Patienten. Das erlaubt keine sinnvolle statistische Auswertung. Die große Zahl von Operateuren mit unterschiedlichem Erfahrungshintergrund entspricht allerdings den Bedingungen der alltäglichen Krankenversorgung in Deutschland und ist daher realitätsnah. Da es sich um eine unizentrische Studie handelt, galten gleiche Standards bezüglich Operationstechniken und Nachsorge, was das Patientengut besser vergleichbar macht.

Die Follow-Up-Zeiten sind mit einem vorausgesetzten Minimum von sechs Wochen eher gering. Dieser Zeitpunkt wurde gewählt, da in der durchführenden Klinik nach sechs Wochen die erste standardmäßige postoperative Nachkontrolle stattfindet. Obwohl möglicherweise durch ein recht kurzes Follow-Up einiger Patienten auch Revisionen ungeachtet bleiben könnten, wurde dieser Zeitpunkt bewusst ausgewählt. Mit großer Wahrscheinlichkeit kamen Patienten, die keine Komplikationen hatten, nicht mehr zu Kontrollen, weil es ihnen gut ging. Dahingegen stellten sich Patienten mit Beschwerden, die teilweise zu Revisionen führten, erneut vor.

## 7.2 Diskussion der Schraubenlagen

In dieser Studie wurde die Lage von 1429 Schrauben anhand radiologischer Bilder erfasst und in sechs Gruppen eingeteilt. Bei 1216 Schrauben wurde die Schraubenlage als korrekt bewertet. Neun Schrauben lagen nahe der Arteria vertebralis, bei 34 Schrauben wurde postoperativ eine Lage im Neuroforamen festgestellt. Insgesamt 35 Schrauben hatten eine zu laterale Lage. Am häufigsten war die Fehllage der Schrauben im Facettengelenk. Dies war bei 95 Schrauben (6,6 %) der Fall. Schraubenlockerungen werden im Kapitel 7.3 diskutiert.

In einer Studie von Sekhon et al. wurden 1026 Schraubenlagen bestimmt. Diese wurden in folgende Kategorien eingeteilt: bikortikaler Halt, Verletzung des Facettengelenks, Lage der Schraube im Foramen transversarium (0 – 1 mm oder > 1 mm), Lage der Schraube im Foramen intervertebrale und Verletzung des Neuroforamen. [77] Laut ihrer Studie lagen 92,4 % bikortikal, also in erwünschter Position. In der hier durchgeführten Studie wurden 85,1 % als korrekt liegend bewertet. Insgesamt sind also mehr Schrauben einer Fehllage zugeordnet worden. Es gibt jedoch einige Unterschiede im Studiendesign. Bei Sekhon et al. wurden Schrauben lediglich von C3 bis C6 eingebracht. Dies ist wichtig, da die Schraubenfehllagen in der hier durchgeführten Studie besonders häufig in C7 und C2 auftraten. In den Segmenten C3 bis C6 lag das Auftreten von Fehllagen insgesamt bei 12,8 %. Dahingegen wurden in C7 in 23,6 % Fehllagen festgestellt und in C2 in 20,4 %. Sekhon et al. verwendeten zudem lediglich Massa lateralis Schrauben, wohingegen in der hier durchgeführten Studie auch Pedikelschrauben berücksichtigt wurden. Dies ist insbesondere für die Lage im Neuroforamen relevant, auf die weiter unten im Abschnitt eingegangen wird. Ein wichtiger Unterschied ist, dass bei Sekhon et al. lediglich ein Operateur alle Schrauben eingesetzt hat. Es ist also von einem konstanten bis steigenden Lernniveau, ohne Verzerrung durch verschiedene Personen und Techniken, auszugehen. Des Weiteren wurden Daten für die Studie von Sekhon et al. über 50 Monate erhoben, wohingegen die hier durchgeführte Studie einen Zeitraum von 18 Jahren erfasst. Dies erhöht wiederum die Anzahl verschiedener beteiligter Operateure und den Wandel von operativen Standards. Fehllagen im Facettengelenk traten in der hier durchgeführten Studie in 6,6 % der Schrauben auf. Bei Sekhon et al. wurde lediglich bei 0,8 % der Schrauben eine Verletzung des Facettengelenks beschrieben. Hier dürfte insbesondere die Durchführung durch lediglich eine Person und gegebenenfalls unterschiedliche Bewertungsmaßstäbe herangezogen worden sein. Zusätzlich ist zu erwähnen, dass eine Lage im Facettengelenk selten zu Revisionen oder anderen Komplikationen führt. Die zu laterale Lage wurde in der Veröffentlichung von Sekhon et al. nicht beachtet. Ob diese nicht auftraten oder nur nicht klassifiziert wurden, ist den Daten nicht zu entnehmen. Die Fehllage im Neuroforamen ist in dieser Studie mit 2,3 % deutlich höher als bei Sekhon et al. mit null Fällen. Ein Teil kann dadurch erklärt werden, dass bei den hier erhobenen Daten auch

Pedikelschrauben einbezogen wurden. Diese verletzten in 10 % das Neuroforamen, wohingegen Massa lateralis Schrauben nur in 1,5 % der Fälle das Neuroforamen verletzten. Seltener als bei Sekhon et al. mit 1,9 % trat bei den hier analysierten Schrauben mit 0,6 % eine Lage im Foramen transversarium auf. Generell wurden von Sekhon et al. längere Schrauben (14 mm) verwendet. In dieser Studie wurden hauptsächlich Schrauben der Längen 10 und 12 mm verwendet. Die Wahrscheinlichkeit für eine Verletzung des Foramen transversarium wird dadurch unwahrscheinlicher.

### 7.3 Diskussion der Schraubenlockerungen

In der hier vorliegenden Studie kam es bei 40 Schrauben (2,7 %) im Verlauf zu einer Lockerung. Davon waren 38 Schrauben (95 %) in die Massa lateralis eingesetzte Schrauben und zwei Pedikelschrauben (5 %). Von den gelockerten Schrauben mussten 27 (67,5 %) revidiert werden.

Prozentual gesehen lockerten Schrauben besonders häufig in C2 mit 14,8 % aller Schrauben, die in C2 eingebracht wurden. In Th2 mit 5,5 % und C3 mit 5,3 % waren die Lockerungsraten ebenfalls erhöht im Vergleich zu den übrigen Segmenten, wo die die Lockerungsraten unter 3 % lagen.

Es gibt nur wenige Studien, die sich mit Lockerungsraten von Massa lateralis Schrauben beschäftigen. Bei den meisten handelt es sich um generelle Komplikationen oder Revisionen, woraus sich die Schraubenlockerungsraten ablesen lassen. Einer dieser Studien von Sekhon et al. inkludiert 143 Patienten mit 1026 Schrauben. [78] Dabei lockerten in einem Zeitraum von 50 Monaten nach der Operation sechs Schrauben (0,5 %) bei drei Patienten (2 %). Alle Schrauben wurden in die Wirbelkörper C3 – C7 eingebracht. [77] Dies stellt einen Unterschied zur hier vorliegenden Studie dar, bei der Schrauben in C1 bis Th2 untersucht wurden. Da in dieser Studie häufig Schrauben in C2 und Th2 lockerten, erklärt dies die höheren Lockerungsraten von 2,7 %. Betrachtet man lediglich die Schrauben der Segmente C3 – C7, ergibt sich eine etwas geringere Lockerungsrate von 2,3 %.

Andere Studien berichten auch von sehr geringen Lockerungsraten bei Massa lateralis Schrauben. Ishak et al. berichten in ihrer Studie mit 6059 mittels CT-gestützter Navigation eingebrachten Schrauben von Lockerungsraten von 0,2 % aller Schrauben, wobei nicht unterschieden wird, in welchen Teil der Wirbelsäule diese implantiert wurden. [42] Ein literaturgestütztes Review von Coe et al. ergibt eine Lockerungsrate von 0,8 % bei 1818 Schrauben in 280 Patienten. [17,29,38,98,99]

## 7.4 Diskussion von Komplikationen

Generell stellt sich die Frage, ob der Eingriff von beiden Zugängen überhaupt notwendig ist. Würde ein alleiniger Eingriff von entweder ventral oder dorsal zu weniger Komplikationen bei gleichem Erfolg führen, wäre dieser natürlich vorzuziehen.

Wie in Kapitel 4.2.3 erwähnt, gibt es dazu keinen einheitlichen Konsens.

Laut Hartmann et al. ergab eine Befragung von 302 deutschsprachigen Neurochirurgen, dass ein Drittel bei Korporektomien von zwei und mehr Wirbelkörpern eine zusätzliche dorsale Stabilisierung durchführen. [35] Verschiedene Studien untersuchten das Ergebnis nach alleiniger anteriorer oder posteriorer bzw. kombinierter Operation auf Fusionsraten, Komplikationen und klinischem Outcome.

Bram et al. untersuchten retrospektiv das Outcome von 21 Patienten, bei denen eine 360-Grad-Fusion durchgeführt wurde. [12] Insgesamt kam es bei 42,3 % der Patienten zu mindestens einer Komplikation, am häufigsten waren Schluckstörungen. Keine Patienten starben postoperativ oder mussten im Follow-Up-Zeitraum (3 Monate) revidiert werden. Der neurologische Status verbesserte sich bei 19 von 20 Patienten. [12] Gok et al. verglichen in ihrer Studie Komplikationen bei Patienten, die nur von anterior operiert wurden, mit solchen, die von anterior und posterior operiert wurden. [33] Die Komplikationsraten lagen mit 28,6 % (nur anterior) und 24 % (anterior-posterior) nicht weit auseinander. Eine Studie von Aryan et al. untersuchte retrospektiv 53 Patienten, die sich ebenfalls einer 360-Grad-Fusion unterzogen hatten. [6] Hierbei zeigten 23 % eine unveränderte, 77 % eine verbesserte neurologische Funktion. Der Schmerz konnte bei 85 % gelindert werden. Bei allen Patienten konnte eine knöcherne Fusion erreicht werden. An postoperativen Schluckstörungen litten 19 % der Patienten, 6 % mussten aufgrund von Wundinfektionen revidiert werden. Bei jeweils einem Patienten hielten die Schluckstörungen an oder kam es zu einem Abszess. Die Komplikationsraten nach alleinigen anterioren oder posterioren Operationen unterscheiden sich davon mit 11 – 25,4 % nicht erheblich. [30,32,33,48] Laut Song et al. führt der kombinierte Zugang bei degenerativer Kyphose zu besserer Korrektur der sagittalen Ausrichtung sowie zur Erhaltung des korrigierten Winkels, geringeren Pseudarthrosenraten (0 % vs. 20 %) und weniger Komplikationen mit den Implantaten (0 % vs. 26 %) im Vergleich zu alleiniger anteriorer Fusion. [84]

Eine Studie beschränkte sich auf 360-Grad-Fusionen bei traumatisch bedingten Frakturen. Hierbei konnten im Ein-Jahres-Follow-Up bei allen 24 Patienten eine knöcherne Fusion und neurologische Verbesserung festgestellt werden. [21]

Verschiedene Studien haben gezeigt, dass bezüglich der Stabilität ein kombinierter Zugang dem dorsalen überlegen ist. Bei einseitigen Eingriffen führt der alleinige dorsale zu einer höheren Stabilität als der ventrale. [23,82]

Zusammenfassend sind sich die Studien einig, dass – sofern die Indikation stimmt – ein kombinierter anterior-posteriorer Eingriff eine sichere und komplikationsarme Option ist. [6,12,21,26,35,51,61]

## 7.5 Diskussion der Revisionen

Die Häufigkeit der zervikalen Fusionen nimmt seit vielen Jahren stetig zu. Somit steigt auch die Anzahl der Patienten, bei denen Revisionsoperationen durchgeführt werden müssen. Daher ist es Ziel der Forschung, Gründe für Revisionen sowie Faktoren, die häufiger dazu führen, zu detektieren. Wenn Faktoren erkannt werden, kann man zukünftig entsprechende Prozesse vermeiden, die Operationsplanung optimieren und differenzierter Empfehlungen an Patienten aussprechen und Prognosen abgeben. Dieses Kapitel beschäftigt sich mit Revisionen aufgrund von Komplikationen der Implantate.

In der hier durchgeführten Studie mussten 31 von 210 Patienten revidiert werden. Dies entspricht einem Anteil von 14,7 %. Diagnosen, die zur Revisionsoperation führten, waren in jeweils sechs Fällen Schraubenfehllagen beziehungsweise Schraubenlockerungen dorsal. Ebenfalls in sechs Fällen war die Dislokation des ventralen Osteosynthesematerials Grund für die Revisionsoperation. In fünf Fällen lockerten sich ventrales und dorsales Osteosynthesematerial. In acht Fällen waren Stürze, Traumata, Tumorprogress und Ähnliches Grund für die Revision. Diese wurden unter „Sonstige“ zusammengefasst.

Verschiedene Studien haben sich mit Revisionsraten nach zervikalen Fusionen befasst. Es ist allerdings schwierig, diese direkt zu vergleichen, da verschiedene Diagnosen und Techniken inkludiert wurden und teilweise kleine Patientenpopulationen mit kurzen Follow-Up-Perioden untersucht wurden.

Die meisten dieser Studien betrachten die Revisionsraten nach anteriorer Fusion, weniger Studien die der posterioren Fusion und nur sehr wenige nach kombinierten Operationen.

Nach anterioren Fusionen liegt die Revisionsrate aufgrund von Komplikationen des Osteosynthesematerials bei 7,4 – 13,4 %. [9,20,36,79] Dabei muss man aber differenzieren, welche Technik verwendet wurde. Puvanesarajah et al. konnten in einer Studie zeigen, dass bei Verwendung von ACCF die Revisionsrate signifikant höher ist als bei ACDF und posterioren Fusionen. [66] Insbesondere bei Korporektomien von drei und mehr Wirbelkörpern kommt es signifikant häufiger zu Implantatversagen. Laut Boakye et al., die eine Patientenpopulation mit 1560 korporektomierten Patienten untersuchten, kam es bei Wirbelkörperersatz von drei und mehr Segmenten in 17,9 % zu Revisionen. [9] Auch in der vorliegenden Studie kommt es bei drei ersetzten Wirbelkörpern deutlich häufiger zu Revisionen (38,4 %) als bei einem (22,7 %) oder zwei (12,1 %), der Zusammenhang ist allerdings statistisch nicht signifikant. Außerdem sind die hier zugrunde liegenden Daten mit den zuvor genannten nicht direkt vergleichbar, da die Patienten in dieser Studie alle zusätzlich von dorsal fusioniert wurden.

Es gibt deutlich weniger Studien, die die Revisionsraten nach alleiniger dorsaler Versteifung betrachten. Laut der Studie von Derman et al. mit Daten der New York State's all-player health care database, die 87.042 Patienten inkludiert, liegt sie bei 7,4 %. [20]

Aus dem gleichen Patientengut gibt es auch Daten zu antero-posterioren Operationen und Revisionsraten, die mit 5,2 % angegeben wird. Laut Sembrano et al., die eine Studie mit 23 ventrodorsal operierten Patienten durchführten, lag die Revisionsrate bei 9 %. [79] In dieser vergleichsweise kleinen Studienpopulation wurden allerdings Patienten ausgeschlossen, die zuvor schon eine Fusion an der Wirbelsäule hatten. Demnach wurden alle Patienten einzeitig oder zumindest mit kurzem Abstand zwischen den Eingriffen operiert. Dies könnte erklären, weshalb die Revisionsraten etwas geringer als in der hier vorliegenden Studie (14,8 %) sind. Hier wurden nur 35,7 % einzeitig operiert, der durchschnittliche Abstand zwischen ventraler und dorsaler Operation lag bei knapp einem Jahr. Bei einigen Patienten war der dorsale Eingriff also schon eine Revision bei ventralem Implantatversagen. Die Stabilität der Wirbelsäule war möglicherweise deutlich verringert, wenn der dorsale Eingriff durchgeführt wurde, was ein häufigeres Implantatversagen dorsal erklären könnte.

In der Studie von Derman et al. fiel auf, dass die durchschnittliche Zeit zwischen OP und Revision beim kombinierten Zugang mit 12,5 Monaten deutlich unter der bei anterioren (25,9 Monaten) und posterioren (14,1 Monate) liegt. [20] Bei Sembrano et al. lag sie sogar bei nur 2,25 Monaten. [79] Mit 7,3 Monaten liegt der Wert in der vorliegenden Studie genau in der Mitte. Dass es nach beidseitigen Eingriffen seltener und wenn, eher früher zu Revisionen kommt, könnte daran liegen, dass die Fusionsraten höher sind und Pseudarthrosen und Instabilitäten, die oft ein Jahr und später nach der Operation symptomatisch werden, seltener sind.

Interessant ist auch der Zusammenhang zwischen Alter und Revisionsrate. Puvanesarajah et al. stellten in ihrem Paper fest, dass Patienten, die älter als 65 Jahre sind, signifikant seltener Revisionsoperationen haben als jüngere Patienten. [66] Dieses Paper untersuchte lediglich einseitige Operationsverfahren von ventral oder dorsal. Auch Derman et al. stützen diese These und fanden bei Patienten im Alter zwischen 18 und 34 Jahren ein erhöhtes Risiko für Revisionsoperationen. [20] In der hier untersuchten Patientenpopulation ist der Altersunterschied zwischen den Patienten, die eine Revision erhielten, mit 64,2 Jahren nur unwesentlich geringer als bei den Patienten, die keine Revision erhielten (65,0 Jahre). Bezogen auf Revisionen bei Lockerungen fällt allerdings ein deutlicher Unterschied auf. Hier liegt die Differenz der Altersdurchschnitte sogar bei acht Jahren. Patienten, die aufgrund einer Lockerung revidiert werden mussten, waren im Schnitt 56,3 Jahre alt. Die Patienten, bei denen das nicht der Fall war, hatten ein Durchschnittsalter von 64,6 Jahren. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte zum einen ein aktiverer Lebensstil jüngerer Menschen sein sowie ein geringerer Bewegungsumfang der HWS bei älteren Leuten. Diese These stellen auch King et al. auf. [53] Außerdem sind bei älteren Menschen häufiger degenerative Erkrankungen Operationsindikation, wohingegen bei jüngeren Menschen Traumata und Tumore eine Rolle spielen. Diese Konstellationen könnten mit höherer Instabilität und uneinheitlicheren Operationsmöglichkeiten einhergehen.

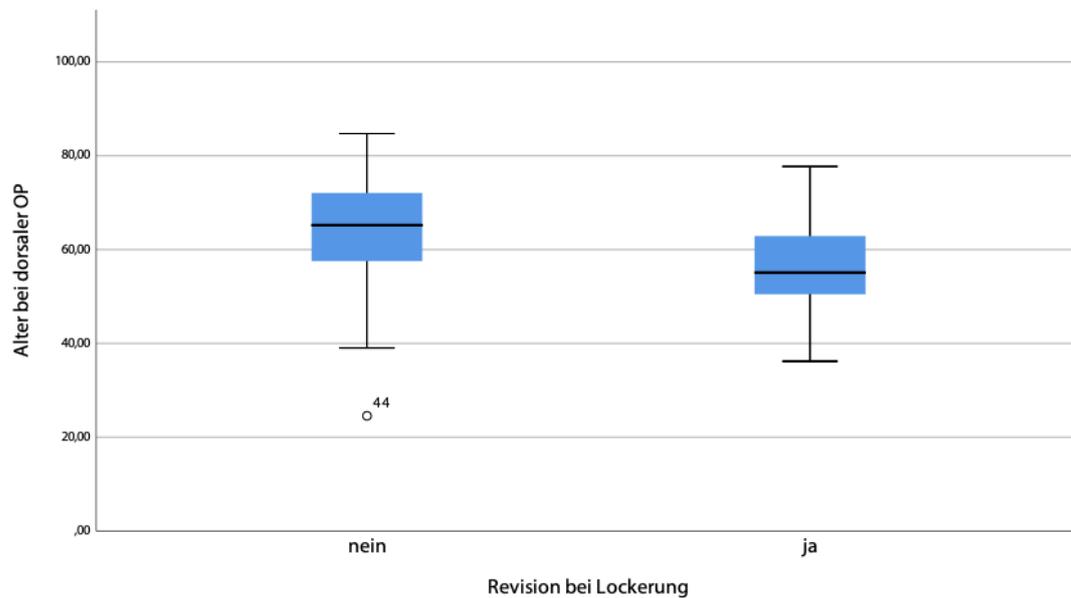


Abbildung 27: Alter bei Revision bei Lockerung

### 7.5.1 Diskussion der ventralen Operationstechnik bei Revisionen wegen Schraubenlockerung dorsal

In dieser Studie wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen ventraler Operationstechnik bei Revisionen aufgrund dorsaler Lockerungen festgestellt. Ventral wurde in 46 Fällen eine ACDF durchgeführt, ohne dass es zu Revisionen aufgrund dorsaler Schraubenlockerungen kam. Wurde ventral einer oder mehrere Wirbelkörper ersetzt ( $n = 146$ ), kam es in sieben Fällen zu einer Revision bei dorsaler Schraubenlockerung. Es besteht ein statistisch signifikant höheres Risiko für Revisionen bei dorsaler Schraubenlockerungen bei ventralem Wirbelkörperersatz gegenüber ventraler Diskektomie und Fusion ( $p < 0,01$ ).

Vergleichbare Fragestellungen wurden trotz ausführlicher Recherche in der Literatur nicht gefunden. Es gibt allerdings einige Studien, die generell den Unterschied der Revisionsraten bei ACCF bzw. ACDF untersuchten.

Puvanesarajah et al. konnten in einer Studie zeigen, dass die Revisionsrate bei Verwendung von ACCF signifikant höher als bei ACDF und posterioren Fusionen ist. [66] Dabei wurden allerdings Patienten, die von ventral und dorsal fusioniert wurden, exkludiert. Dementsprechend wurde nicht die Revisionsrate aufgrund von dorsalen Schraubenlockerungen betrachtet, sondern allgemeine Revisionsraten. Dennoch deuten auch diese Daten darauf hin, dass der ACCF ventral zu einer höheren Revisionsrate führt. Ähnliches beschreiben Quinn et al. in ihrem Review. [67] Insbesondere gegenüber langstreckigen Korporektomien hat eine ACDF biomechanische Vorteile. Beim ACDF über mehrere Segmente können Schrauben in jeden zwischenliegenden Wirbelkörper eingebracht werden. Beim

ACCF hingegen sind Schrauben nur in den oben und unten angrenzenden Wirbelkörpern eingebracht. Der Hebel und somit die Kraft, die auf diese Schrauben wirkt, ist höher. Dies führt häufiger zu Implantatversagen und -lockerung. Bezogen auf die hier durchgeführte Studie ergibt sich folgende mögliche Erklärung für häufigere Schraubenlockerungen bei ACCF: Wenn ventral Komplikationen, insbesondere Lockerungen des Wirbelkörperersatzes auftreten, wirken aufgrund der Umverteilung der Kräfte höhere Kräfte auf die dorsalen Schrauben und führen häufiger zu einer Lockerung.

### 7.5.2 Diskussion der Revisionen bei Lockerungen in ventral nicht fusionierten Segmenten

In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass es signifikant häufiger zu Lockerungen in Segmenten kommt, die lediglich von dorsal einer Fusion zugeführt wurden.

Nach ausführlicher und sorgfältiger Literaturrecherche gibt es bislang keine Arbeiten, die sich mit der hier untersuchten Fragestellung beschäftigen. Lediglich Aryan et al. schreiben, dass sie nicht das Gefühl haben, dass es dorsal häufiger in Segmenten zu Lockerungen kommt, die von ventral nicht fusioniert wurden. Dies belegen sie allerdings nicht mit Zahlen. [6]

Eine mögliche Erklärung für diese Feststellung lässt sich in der Biomechanik finden. In Wirbelkörpern, die nur von dorsal befestigt wurden, liegt die gesamte Krafteinwirkung auf diesen Schrauben. Wurden hingegen auch ventral Schrauben eingebracht, verteilt sich diese Kraft auf doppelt so viele Schrauben. Verschiedene Studien suchten nach Faktoren, welche häufiger zu Schraubenlockerungen führen. Dazu wurden in freigelegten Wirbelsäulen von Körperspendern Schrauben eingebaut und an Maschinen durch wiederholenden Zug die Auszugfestigkeit getestet. Hierbei kamen Johnston et al. zu dem Ergebnis, dass diese bei Pedikelschrauben signifikant zusammenhängt mit der Knochendichte und dem maximal erreichten Drehmoment beim Einschrauben. [44] Bei Massa lateralis Schrauben konnte ein signifikanter Zusammenhang nur mit dem Drehmoment gefunden werden. Je höher die Knochendichte und das Drehmoment beim Einschrauben, desto später lockerten die Schrauben während des Versuchs. [44] In einem ähnlichen Versuchsaufbau kamen auch Heller et al. zu dem Schluss, dass es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Knochendichte und Lockerung bei Massa lateralis Schrauben gibt. [37] Dieses Ergebnis ist bezogen auf die vorliegende Studie deshalb interessant, weil im untersuchten Patientengut mit knapp 30 % nur ein relativ geringer Frauenanteil ist. Da man annehmen könnte, dass Osteoporose ein Risikofaktor für Schraubenlockerung ist und diese Knochenerkrankung bei Frauen häufiger auftritt, wäre das Patientengut nicht repräsentativ für die Allgemeinheit. Diese These wurde allerdings, wie oben beschrieben, widerlegt und stellt somit keine Einschränkung der Verwertbarkeit der Ergebnisse dar.

Die gleiche Studie von Heller et al. hat ergeben, dass die Schrauben in C4 am stabilsten sind und Lockerungen nach kranial und kaudal bis C2 bzw. C7 zunehmen. [37] Eine mögliche Begründung sahen sie darin, dass die Knochenqualität in C4 dichter sei. Sie spekulierten, dass da die Spitze der zervikalen Lordose auf C4 fällt, dort die axial wirkende Kraft am größten ist und demzufolge nach dem Gesetz

nach Wolff die Knochenqualität am dichtesten ist. Auch in der vorliegenden Arbeit konnte bestätigt werden, dass die Lockerungsrate in C4 mit 1,7 % deutlich geringer ist als in C2 (14,8 %) und C7 (2,8 %). Wu et al. kamen in ihrer Studie an 33 Patienten, die alle eine Revision von Pedikelschrauben erhielten, zu dem Ergebnis, dass Pedikelschrauben bei frakturierten Wirbelkörpern und falls es nach dem Eingriff nicht zu einer knöchernen Fusion kam, häufiger lockerten. [100] In der vorliegenden Studie wurden viele Patienten operiert, die ein Trauma erlitten hatten. Dies könnte eine weitere mögliche Erklärung für insgesamt relativ hohe Lockerungsraten sein. Speziell dazu, ob es nach Fusionen in Folge eines Traumas häufiger zu Lockerungen kommt, gibt es leider keine Studien. In den oben genannten Studien wurden zwar Patienten eingeschlossen, die aufgrund von Traumata operiert wurden, es wird bei den aufgetretenen Lockerungen jedoch nicht näher darauf eingegangen, bei welcher Indikation diese auftraten. [77,99]

## 8 Literaturverzeichnis

1. Abumi K, Kaneda K (1997) Pedicle Screw Fixation for nontraumatic Lesions of the Cervical. *Spine* 22:1853–1863
2. Abumi K, Shono Y, Ito M, Taneichi H, Kotani Y, Kaneda K (2000) Complications of pedicle screw fixation in reconstructive surgery of the cervical spine. *Spine* 25:962–969
3. Adermann J, Schmidt C, Josten C (2011) Planung, Vorbereitung und Kontrolle bei traumatisch bedingten Eingriffen im Bereich der BWS und LWS. *Op-Journal* 27:8–17
4. An HS, Coppes MA (1997) Posterior cervical fixation for fracture and degenerative disc disease. *Clin Orthop Relat Res* 335:101–11
5. Anderson PA, Henley MB, Grady MS, Montesano PX, Winn HR (1991) Posterior cervical arthrodesis with AO reconstruction plates and bone graft. *Spine* 16:S72-9
6. Aryan HE, Sanchez-Mejia RO, Ben-Haim S, Ames CP (2007) Successful treatment of cervical myelopathy with minimal morbidity by circumferential decompression and fusion. *Eur Spine J* 16:1401–1409
7. Bayerl SH, Pöhlmann F, Finger T, Prinz V, Vajkoczy P (2018) Two-level cervical corpectomy—long-term follow-up reveals the high rate of material failure in patients, who received an anterior approach only. *Neurosurg Rev* 42:511-518
8. Benzel EC (2012) *Spine Surgery: Techniques, Complication Avoidance, and Management*. 3rd edition. Elsevier, Amsterdam
9. Boakye M, Patil CG, Ho C, Lad SP (2008) Cervical Corpectomy: Complications and Outcomes. *Oper Neurosurg* 63:295–302
10. Börm W, Meyer F (2009) *Spinale Neurochirurgie. Operatives Management von Wirbelsäulenerkrankungen*. Schattauer, Stuttgart
11. Botwin KP, Gruber RD (2003) Lumbar spinal stenosis: anatomy and pathogenesis. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 14:1–15
12. Bram R, Fiore S, Labiak JJ, Davis RP (2017) Combined Anterior-Posterior Decompression and Fusion for Cervical Spondylotic Myelopathy. *Am J Orthop* 64:E97–E104
13. Bühren V, Josten C (2013) *Chirurgie der verletzten Wirbelsäule*. Springer Berlin Heidelberg
14. Campbell PG, Yadla S, Malone J, Zussman B, Maltenfort MG, Sharan AD, Harrop JS, Ratliff JK (2010) Early Complications Related to Approach in Cervical Spine Surgery: Single-Center Prospective Study. *World Neurosurg* 74:363–368
15. Casser H-R, Hasenbring M, Becker A, Baron R (2016) *Rückenschmerzen und Nackenschmerzen*. Springer Berlin Heidelberg
16. Choueka J, Spivak JM, Kummer FJ, Steger T (1996) Flexion failure of posterior cervical lateral mass screws: Influence of insertion technique and position. *Spine* 21:462–468

17. Coe JD, Vaccaro AR, Dailey AT, Skolasky RL, Sasso RC, Ludwig SC, Brodt ED, Dettori JR (2013) Lateral Mass Screw Fixation in the Cervical Spine A Systematic Literature Review. *J Bone Jt Surg* 95:2136–43
18. Cramer J, Haase N, Behre I, Ostermann PAW (2003) Spondylitis und Spondylodiszitis. *Trauma und Berufskrankheit* 5:336–341
19. Cutler HS, Guzman JZ, Lee NJ, Kothari P, Kim JS, Shin JI, Leven DM, Cho SK (2018) Short-Term Complications of Anterior Fixation of Odontoid Fractures. *Glob Spine J* 8:47–56
20. Derman PB, Lampe LP, Hughes AP, Pan TJ, Kueper J, Girardi FP, Albert TJ, Lyman S (2016) Demographic, Clinical, and Operative Factors Affecting Long-Term Revision Rates After Cervical Spine Arthrodesis. *J Bone Jt Surg* 98:1533–1540
21. Dhillon CS, Jakkan MS, Dwivedi R, Medagam NR, Jindal P, Ega S (2018) Outcomes of Unstable Subaxial Cervical Spine Fractures Managed by Posteroanterior Stabilization and Fusion. *Asian Spine J* 12:416–422
22. Di Zhu A, Duo Zhang A, Baoge Liu Chenxi Li BDE Jichao Zhu AC, Zhu D, Zhang are co-first authors Corresponding Author D, Liu B (2019) Can Self-Locking Cages Offer the Same Clinical Outcomes as Anterior Cage-with-Plate Fixation for 3-Level Anterior Cervical Discectomy and Fusion (ACDF) in Mid-Term Follow-Up? *Medical Science Monitor* 25:547–557
23. Dmitriev AE, Kuklo TR, Lehman RA, Rosner MK (2007) Stabilizing Potential of Anterior, Posterior, and Circumferential Fixation for Multilevel Cervical Arthrodesis An In Vitro Human Cadaveric Study of the Operative and Adjacent Segment Kinematics. *Spine* 32:188–196
24. Duff J, Hussain MM, Klocke N, Harris JA, Yandamuri SS, Bobinski L, Daniel RT, Bucklen BS (2018) Does pedicle screw fixation of the subaxial cervical spine provide adequate stabilization in a multilevel vertebral body fracture model? An in vitro biomechanical study. *Clin Biomech* 53:72–78
25. Ebraheim NA, Haman ST, Xu R, Yeasting RA (1998) The Anatomic Location of the Dorsal Ramus of the Cervical Nerve and Its Relation to the Superior Articular Process of the Lateral Mass. *Spine* 23:1968–1971
26. Edwards CC, Riew KD, Anderson PA, Hilibrand AS, Vaccaro AF (2003) Cervical myelopathy: current diagnostic and treatment strategies. *Spine* 3:68–81
27. Epstein NE (2000) The Value of Anterior Cervical Plating in Preventing Vertebral Fracture and Graft Extrusion After Multilevel Anterior Cervical Corpectomy with Posterior Wiring and Fusion: Indications, Results, and Complications. *J Spinal Disord* 13:9–15
28. Etemadifar M, Andalib A, Shafiee H, Samani MK (2018) Comparison of the outcomes of cage-stand-alone with cage-with-plate fixation in one level and two levels for treating cervical disk diseases. *J craniovertebral junction spine* 9:170–174
29. Fehlings MG, Cooper PR, Errico TJ (1994) Posterior plates in the management of cervical instability: long-term results in 44 patients. *J Neurosurg* 81:341–349
30. Fehlings MG, Barry S, Kopjar B, Tim Yoon S, Arnold P, Massicotte EM, Vaccaro A, Brodke DS, Shaffrey C, Smith JS, Woodard E, Banco RJ, Chapman J, Janssen M, Bono C, Sasso R, Dekutoski M, Gokaslan ZL (2013) Spine Anterior Versus Posterior Surgical Approaches to Treat Cervical Spondylotic Myelopathy Outcomes of the Prospective Multicenter AOSpine North America CSM Study in 264 Patients. *Spine* 38:2247–2252

31. Frangen TM, Kälicke T, Gottwald M, Andereya S, Andress HJ, Russe OJ, Müller EJ, Muhr G, Schinkel C (2006) Die operative Therapie der Spondylodiszitis: Eine Analyse von 78 Patienten. *Unfallchirurg* 109:743–753
32. Ghogawala Z, Martin B, Benzel EC, Dziura J, Magge SN, Abbed KM, Bisson EF, Shahid J, Coumans J-VCE, Choudhri TF, Steinmetz MP, Krishnaney AA, King JT, Butler WE, Barker FG, Heary RF (2011) Comparative Effectiveness of Ventral vs Dorsal Surgery for Cervical Spondylotic Myelopathy. *Neurosurgery* 68:622–631
33. Gok B, Sciubba DM, McLoughlin GS, McGirt M, Ayhan S, Wolinsky J-P, Bydon A, Gokaslan ZL, Witham TF (2008) Surgical treatment of cervical spondylotic myelopathy with anterior compression: a review of 67 cases. *J Neurosurg Spine* 9:152–157
34. Gonschorek O, Vordemvenne T, Blattert T, Katscher S, Schnake KJ (2018) Treatment of Odontoid Fractures: Recommendations of the Spine Section of the German Society for Orthopaedics and Trauma (DGOU). *Glob Spine J* 8:12S-17S
35. Hartmann S, Tschugg A, Obernauer J, Neururer S, Petr O, Thomé C (2016) Cervical corpectomies: results of a survey and review of the literature on diagnosis, indications, and surgical technique. *Acta Neurochir* 158:1859–1867
36. Hartmann S, Kavakebi P, Wipplinger C, Tschugg A, Girod PP, Lener S, Thomé C (2018) Retrospective analysis of cervical corpectomies: implant-related complications of one- and two-level corpectomies in 45 patients. *Neurosurg Rev* 41:285–290
37. Heller J, Estes B, Zaouali D, Diop A (1996) Biomechanical Study of Screws in the Lateral Masses : Variables Affecting Pull-out Resistance. *J Bone Jt Surg* 78-A:1315–21
38. Heller JG, Silcox DH, Sutterlin CE (1995) Complications of posterior cervical plating. *Spine* 20:2442–8
39. Heyde CE, Boehm H, El Saghir H, Tschöke SK, Kayser R (2006) Surgical treatment of spondylodiscitis in the cervical spine: a minimum 2-year follow-up. *Eur Spine J* 15:1380–7
40. Hong JT, Sung JH, Son BC, Lee SW, Park CK (2008) Significance of laminar screw fixation in the subaxial cervical spine. *Spine* 33:1739–1743
41. Hong JT, Qasim M, Espinoza Orías AA, Natarajan RN, An HS (2014) A Biomechanical Comparison of Three Different Posterior Fixation Constructs Used for C6–C7 Cervical Spine Immobilization: A Finite Element Study. *Neurol Med Chir* 54:727–735
42. Ishak B, Younsi A, Wieckhusen C, Slonczewski P, Unterberg AW, Kiening KL (2018) Accuracy and revision rate of intraoperative computed tomography point-to-point navigation for lateral mass and pedicle screw placement: 11-year single-center experience in 1054 patients. *Neurosurg Rev* 41:1–11
43. Janka M, Füssel S, Soldner F, Schuh A (2014) HWS-OP verhindert irreversible Schäden. *MMW-Fortschritte der Medizin* 156:43–46
44. Johnston TL, Karaikovic EE, Lautenschlager EP, Marcu D (2006) Cervical pedicle screws vs. lateral mass screws: uniplanar fatigue analysis and residual pullout strengths. *Spine J* 6:667–672
45. Kakarla UK, Chang SW, Theodore N, Sonntag VKH (2010) Atlas fractures. *Neurosurgery* 66:A60–A67

46. Kandziora F, Schnake K, Hoffmann R (2010) Operationsverfahren zur Stabilisierung der oberen Halswirbelsäule. *Unfallchirurg* 113:845–859
47. Kast E, Mohr K, Richter H-P, Börm W (2006) Complications of transpedicular screw fixation in the cervical spine. *Eur Spine J* 15:327–334
48. Kato S, Nouri AM, Wu D, Nori S, Tetreault L, Fehlings MG (2017) Comparison of Anterior and Posterior Surgery for Degenerative Cervical Myelopathy. An MRI-Based Propensity-Score-Matched Analysis Using Data from the Prospective Multicenter AOSpine CSM North America and International Studies. *J Bone Jt Surg* 99:1013–1021
49. Katonis P, Papadakis SA, Galanakos S, Paskou D, Bano A, Sapkas G, Hadjipavlou AG (2011) Lateral Mass Screw Complications Analysis of 1662 Screws. *J Spinal Disord Tech* 24:415–420
50. Katscher S, Verheyden AP (2003) Standards bei der Behandlung von Frakturen und Instabilitäten der HWS zwischen C3 und C7. *Trauma und Berufskrankheit* 5:225–230
51. Kim PK, Alexander JT (2006) Indications for circumferential surgery for cervical spondylotic myelopathy. *Spine* 6:S299–S307
52. Kim SH, Shin DA, Yi S, Yoon DH, Kim KN, Shin HC (2007) Early Results from Posterior Cervical Fusion with a Screw-Rod System. *Yonsei Med J* 48:440–448
53. King JT, Abbed KM, Gould GC, Benzel EC, Ghogawala Z (2009) Cervical spine reoperation rates and hospital resource utilization after initial surgery for degenerative cervical spine disease in 12338 patients in Washington State. *Neurosurgery* 65:1011–1023
54. König SA, Spetzger U (2014) Degenerative Erkrankungen der Halswirbelsäule. Therapeutisches Management im subaxialen Abschnitt. Springer Berlin Heidelberg
55. Kortmann H-R, Eggers C, Schofer M, Hax P-M (2000) Diagnostik und Therapie der Verletzungen der oberen Halswirbelsäule. *Trauma und Berufskrankheit* 2:134–147
56. Liu X, Min S, Zhang H, Zhou Z, Wang H, Jin A (2013) Anterior corpectomy versus posterior laminoplasty for multilevel cervical myelopathy: a systematic review and meta-analysis. *Eur Spine J* 23:362–372
57. Lowry DW, Lovely TJ, Rastogi P (1998) Comparison of tension band wiring and lateral mass plating for subaxial posterior cervical fusion. *Surg Neurol* 50:323–332
58. Matschke S, Wagner C, Wentzensen A (2008) Stabilisierungsverfahren an der HWS. *Trauma und Berufskrankheit* 10:391–398
59. McAfee PC, Bohlman HH, Ducker TB, Zeidman SM, Goldstein JA (1995) One-stage anterior cervical decompression and posterior stabilization. A study of one hundred patients with a minimum of two years of follow-up. *J Bone Joint Surg Am* 77:1791–800
60. Meyer F, Börm W, Thomé C (2008) Die degenerative zervikale Spinalkanalstenose. *Dtsch Aerzteblatt* 105:366–372
61. Mummaneni P V., Haid RW, Rodts GE (2007) Combined ventral and dorsal surgery for myelopathy and myeloradiculopathy. *Neurosurgery* 60:S1-82-S1-89
62. Nolla JM, Ariza J, Gómez-Vaquero C, Fiter J, Bermejo J, Valverde J, Escofet DR, Gudiol F (2002) Spontaneous pyogenic vertebral osteomyelitis in nondrug users. *Semin Arthritis Rheum* 31:271–278

63. Nothwang J, Ulrich C (2005) Operative Versorgung von HWS-Verletzungen. Komplikationsmöglichkeiten. *Trauma und Berufskrankheit* 7:263–270
64. Ogiwara S, Kunogi J (2015) Single-stage Anterior and Posterior Fusion Surgery for Correction of Cervical Kyphotic Deformity Using Intervertebral Cages and Cervical Lateral Mass Screws: Postoperative Changes in Total Spine Sagittal Alignment in Three Cases with a Minimum Follow-up of Five Years. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 55:599–604
65. Papanagiotou P, Boutchakova M (2014) Spinalkanalstenose. *Radiologe* 54:1087–1092
66. Puvanesarajah V, Jain A, Cancienne JM, Shimer AL, Singla A, Shen F, Hassanzadeh H (2017) Complication and reoperation rates following surgical management of cervical spondylotic myelopathy in medicare beneficiaries. *Spine* 42:1–7
67. Quinn JC, Kiely PD, Lebl DR, Hughes AP (2015) Anterior Surgical Treatment of Cervical Spondylotic Myelopathy: Review Article. *HSS J* 11:15–25
68. Rehman L, Bukhari I, Afzal A, Rizvi R (2017) Lateral mass screw fixation in cervical spine injury. *Pakistan J Med Sci* 33:1355–1359
69. Reinhold M, Blauth M, Rosiek R, Knop C (2006) Verletzungen der unteren Halswirbelsäule. Klassifikation und Behandlungskonzept. *Unfallchirurg* 109:471–482
70. Richolt JA, Barth C (2015) Operative Versorgung der Halswirbelsäule. Technische Optionen und Indikationen in Abhängigkeit der jeweiligen Krankheitsbilder. *Akt Rheumatol* 40:388–397
71. Robinson Y, Heyde CE, Kayser R (2007) Diagnostik und Therapie der thorakalen Spondylodiszitis. *Man Medizin* 45:17–20
72. Sai Kiran NA, Sivaraju L, Vidyasagar K, Aryan S, Raj V, Rajagopal N, Mohan D, Thakar S, Rao AS, Hegde AS (2018) Safety and Accuracy of Anatomic and Lateral Fluoroscopic-Guided Placement of C2 Pars/Pedicle Screws and C1 Lateral Mass Screws, and Freehand Placement of C2 Laminar Screws. *World Neurosurg* 118:e304–e315
73. Sasso RC, Ruggiero RA, Reilly TM, Hall P V (2003) Early reconstruction failures after multilevel cervical corpectomy. *Spine* 28:140–2
74. Schären S, Jeanneret B (1999) Atlasfrakturen. *Orthopäde* 28:385–393
75. Schaser KD, Melcher I, Mittlmeier T, Schulz A, Seemann JH, Haas NP, Disch AC (2007) Chirurgisches Management von Wirbelsäulenmetastasen. *Unfallchirurg* 110:137–162
76. Schleicher P, Scholz M, Schnake K, Kandziora F (2008) Standarddiagnostik und Management von subaxialen HWS-Verletzungen. *Trauma und Berufskrankheit* 10:175–181
77. Sekhon LHS (2005) Analysis of 1026 Consecutive Screws in 143 Patients. *J Spinal Disord Tech* 18:297–303
78. Sekhon LHS (2006) Posterior cervical decompression and fusion for circumferential spondylotic cervical stenosis: Review of 50 consecutive cases. *J Clin Neurosci* 13:23–30
79. Sembrano JN, Mehbod AA, Garvey TA, Denis F, Perra JH, Schwender JD, Transfeldt EE, Winter RB, Wroblewski JM (2009) A Concomitant Posterior Approach Improves Fusion Rates but not Overall Reoperation Rates in Multilevel Cervical Fusion for Spondylosis. *J Spinal Disord Tech* 22:162–169

80. Shin EK, Panjabi MM, Chen NC, Wang JL (2000) The anatomic variability of human cervical pedicles: Considerations for transpedicular screw fixation in the middle and lower cervical spine. *Eur Spine J* 9:61–66
81. Shin JI, Kim JS, Steinberger J, Dicapua J, Cho SK (2017) Patient Factors Contributing to Prolonged Postoperative Length of Stay and Increased Rate of Readmission After Elective Posterior Cervical Fusion. *Clin Spine Surg* 31:E55–E61
82. Singh K, Vaccaro AR, Kim J, Lorenz EP, Lim T-H, An HS (2003) Biomechanical Comparison of Cervical Spine Reconstructive Techniques After a Multilevel Corpectomy of the Cervical Spine. *Spine* 28:2352–2358
83. Sobottke R, Seifert H, Fätkenheuer G, Schmidt M, Gossmann A, Eysel P (2008) Current diagnosis and treatment of spondylodiscitis. *Dtsch Arztebl Int* 105:181–7
84. Song K-J, Johnson JS, Choi B-R, Wang JC, Lee K-B (2010) Anterior fusion alone compared with combined anterior and posterior fusion for the treatment of degenerative cervical kyphosis. *J Bone Joint Surg Br* 92-B:1548–1552
85. Spiegl U, Jarvers J-S, Heyde C-E, Josten C (2018) Densfrakturen – ventrale Techniken. *Op-Journal* 34:124–133
86. Spivak JM, Neuwirth MG, Giordano CP, Bloom N (1994) The perioperative course of combined anterior and posterior spinal fusion. *Spine* 19:520–5
87. Strowitzki M, Vastmans J, Vogel M, Jaksche H (2011) Complex 360°-reconstruction and stabilization of the cervical spine due to osteomyelitis. *Eur Spine J* 20:248–252
88. Stulík J, Vyskocil T, Sebesta P, Kryl J (2005) Harms technique of C1-C2 fixation with polyaxial screws and rods. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech* 72:22—27
89. Swank ML, Sutterlin CE, Bossons CR, Dials BE (1997) Rigid internal fixation with lateral mass plates in multilevel anterior and posterior reconstruction of the cervical spine. *Spine* 22:274–82
90. T. Tarhan, D. Froemel, M. Rickert, M. Rauschmann, C. Fleeg (2015) Geschichte des Wirbelkörperersatzes. *Unfallchirurg* 1:S73–S79
91. Teresi LM, Lufkin RB, Reicher MA, Moffit BJ, Vi FV, Wilson GM, Bentson JR, Hanafee WN (1987) Asymptomatic degenerative disk disease and spondylosis of the cervical spine: MR imaging. *Radiology* 164:83–8
92. Tschugg A, Meyer B, Stoffel M, Vajkoczy P, Ringel F, Eicker SO, Rhode V, Thomé C (2018) Operative Versorgung der degenerativen Halswirbelsäule. *Nervenarzt* 89:632–638
93. Ulrich C, Nothwang J (1999) Biomechanik und Klinik der Spondylodese an der unteren HWS. *Orthopäde* 28:637–650
94. Ulrich C, Arand M, Nothwang J (2001) Internal fixation on the lower cervical spine - Biomechanics and clinical practice of procedures and implants. *Eur Spine J* 10:88–100
95. Vaccaro AR, Koerner JD, Radcliff KE, Oner FC, Reinhold M, Schnake KJ, Kandziora F, Fehlings MG, Dvorak MF, Aarabi B, Rajasekaran S, Schroeder GD, Kepler CK, Vialle LR (2016) AOSpine subaxial cervical spine injury classification system. *Eur Spine J* 25:2173–2184

96. Wang H, Wang Q, Ma L, Yang D, Ding W (2018) Predisposing Factors of Fracture Nonunion After Posterior C1 Lateral Mass Screws Combined with C2 Pedicle/Laminar Screw Fixation for Type II Odontoid Fracture. *World Neurosurg* 109:e417–e425
97. Weigel B, Nerlich ML (2011) *Praxisbuch Unfallchirurgie*. 2nd ed. Springer Berlin Heidelberg
98. Wellman BJ, Follett KA, Traynelis VC (1998) Complications of posterior articular mass plate fixation of the subaxial cervical spine in 43 consecutive patients. *Spine* 23:193–200
99. Wu J-C, Huang W-C, Chen Y-C, Shih Y-H, Cheng H (2008) Stabilization of subaxial cervical spines by lateral mass screw fixation with modified Magerl's technique. *Surg Neurol* 70:S25–S33
100. Wu X, Shi J, Wu J, Cheng Y, Peng K, Chen J, Jiang H (2019) Pedicle screw loosening: the value of radiological imagings and the identification of risk factors assessed by extraction torque during screw removal surgery. *J Orthop Surg Res* 14:1–16
101. Xiaoguang Han, Wei Tian, Yajun Liu, Bo Liu, Da He, Yuqing Sun, Xiao Han, Mingxing Fan, Jingwei Zhao, Yunfeng Xu, Qi Zhang (2019) Safety and accuracy of robot-assisted versus fluoroscopy-assisted pedicle screw insertion in thoracolumbar spinal surgery: a prospective randomized controlled trial. *J Neurosurg* 30:615–622
102. Xu R, Bydon M, Macki M, Belkoff SM, Langdale ER, McGovern K, Wolinsky J-P, Gokalsan ZL, Bydon A (2014) Biomechanical impact of C2 pedicle screw length in an atlantoaxial fusion construct. *Surg Neurol Int* 5:S343-6
103. Xue D, Chen Q, Chen G, Zhuo W, Li F (2017) Posterior arthrodesis of C1-C3 for the stabilization of multiple unstable upper cervical fractures with spinal cord compromise: A case report and literature review. *Medicine* 96:1–5
104. Yoshii T, Hirai T, Sakai K, Inose H, Kato T, Okawa A (2016) Cervical pedicle screw placement using intraoperative computed tomography imaging with a mobile scanner gantry. *Eur Spine J* 25:1690–1697
105. Zdeblick TA, Hughes SS, Daniel Riew K, Bohlman HH (1997) Failed Anterior Cervical Discectomy and Arthrodesis ANALYSIS AND TREATMENT OF THIRTY-FIVE PATIENTS. *J Bone Jt Surg* 79:523–532
106. Zhang C, Zhou Q, Arnold PM (2017) Safety and efficacy of lateral mass screws at C7 in the treatment of cervical degenerative disease. *Surg Neurol Int* 8:218
107. Zhao L, Li G, Liu J, Benedict GM, Ebraheim NA, Ma W, Sun S, Xu R, Ruan C (2014) Radiological studies on the best entry point and trajectory of anterior cervical pedicle screw in the lower cervical spine. *Eur Spine J* 23:2175–2181

## 9 Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Abb.	Abbildung
ACCF	Anterior Cervical Corpectomy and Fusion
ACDF	Anterior Cervical Discectomy and Fusion
ADD	anterior distraction device
ADDplus	anterior distraction device plus
BWS	Brustwirbelsäule
bzw.	beziehungsweise
C	Halswirbel
C0	Okziput
ca.	circa
CRP	C-reaktives Protein
CT	Computertomographie
et al.	et alli (lateinisch für „und andere“)
HWS	Halswirbelsäule
L	Lendenwirbel
M.	Musculus
MRT	Magnetresonanztomographie
n	Anzahl
N.	Nervus
OP	Operation
OPS	Operationen- und Prozedurenschlüssel
p	Signifikanzniveau
PEEK	Polyetherketon
Proc.	Processus
S	Sakralwirbel
Tab.	Tabelle
Th	Brustwirbel
vs.	versus

## 10 Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Ventrale Diskektomie und Fusion .....	11
<b>Abbildung 2:</b> ACCF mit ADD der Firma ulrich medical .....	13
<b>Abbildung 3:</b> ACCF mit ADDplus der Firma ulrich medical.....	13
<b>Abbildung 4:</b> Densverschraubung ventral.....	14
<b>Abbildung 5:</b> transartikuläre Verschraubung nach Magerl mit Atlasklammer.....	16
<b>Abbildung 6:</b> C1/2 Verschraubung nach Harms .....	16
<b>Abbildung 7:</b> Okziputplatte, transartikuläre Verschraubung C1/2, Massa lateralis Schrauben C3 .....	17
<b>Abbildung 8:</b> Massa lateralis Schrauben, Magerl-Technik [100] .....	18
<b>Abbildung 9:</b> Massa lateralis Schrauben C3 – 6 .....	19
<b>Abbildung 10:</b> Pedikelschrauben C7 – Th2 .....	20
<b>Abbildung 11:</b> ventro-dorsale Fusion C3 – 5.....	21
<b>Abbildung 12:</b> Schraubenlockerung im axialen Schnitt.....	26
<b>Abbildung 13:</b> Schraubenlockerung im sagittalen Schnitt.....	26
<b>Abbildung 14:</b> Schraubenspitze im Foramen transversarium .....	26
<b>Abbildung 15:</b> Schraube im Neuroforamen .....	26
<b>Abbildung 16:</b> Lateral liegende Schraube.....	27
<b>Abbildung 17:</b> Schraube im Facettengelenk .....	27
<b>Abbildung 18:</b> Anzahl fusionierter Segmente dorsal.....	31
<b>Abbildung 19:</b> Häufigkeit der dorsal in die Fusion eingeschlossenen Segmente .....	32
<b>Abbildung 20:</b> Häufigkeit der ventral in die Fusion eingeschlossenen Segmente.....	32
<b>Abbildung 21:</b> Schraubentechnik.....	33
<b>Abbildung 22:</b> Anzahl der Schrauben in den einzelnen Segmenten.....	34
<b>Abbildung 23:</b> ADD und ADDplus im Vergleich bezogen auf Revisionsrate .....	37
<b>Abbildung 24:</b> Ventrale Technik bei Revisionen wegen Schraubenlockerung dorsal.....	38
<b>Abbildung 25:</b> Segmente bei Schraubenlockerung .....	39
<b>Abbildung 26:</b> Revisionen bei Schraubenlockerung.....	40
<b>Abbildung 27:</b> Alter bei Revision bei Lockerung.....	48

Die Röntgenbilder (Abbildungen 1-7 und 9-11) sowie die CT-Bilder (Abbildungen 12-17) stammen aus den Kliniken für Radiologie des Universitätsklinikums des Saarlandes.

## 11 Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b> Kodierung Diagnosen.....	23
<b>Tabelle 2:</b> Kodierung der ventralen Operationstechnik.....	24
<b>Tabelle 3:</b> Kodierung der dorsalen Operationstechnik.....	25
<b>Tabelle 4:</b> Kodierung der Schraubenlage .....	25
<b>Tabelle 5:</b> Indikation der Revisionsoperationen.....	28
<b>Tabelle 6:</b> Gesamtpatientenkollektiv .....	30
<b>Tabelle 7:</b> Operationstechnik.....	31
<b>Tabelle 8:</b> Schraubenlage.....	34
<b>Tabelle 9:</b> Revision der Schrauben nach Lage .....	35
<b>Tabelle 10:</b> Indikation Revisionsoperation.....	36
<b>Tabelle 11:</b> Technik ventrale Operation und Revisionen .....	36
<b>Tabelle 12:</b> Technik ventrale Operation bei dorsaler Schraubenlockerung .....	37
<b>Tabelle 13:</b> Revision bei Lockerung.....	40

## 12 Danksagung

Danken möchte ich zunächst Herrn Prof. Dr. med. J. Oertel für die Bereitstellung des Themas sowie die konstruktiven Vorschläge, die mich zur Fertigstellung dieser Arbeit geleitet haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Betreuer Dr. med. Simon Müller, der mir über den gesamten Zeitraum stets hilfsbereit und für alle Fragen zur Seite stand.

Dr. med. Christoph Sippl danke ich für die Hilfe bei der statistischen Auswertung der erhobenen Daten.

Meiner Familie, meinem Freund und Weggefährten Benedikt Blasius sowie allen Freundinnen und Freunden, die mich auf diesem Weg durch Studium und Dissertation begleitet haben, bin ich dankbar für die unendliche Unterstützung.

## 13 Lebenslauf

Aus datenschutzrechtlichen Gründen wird der Lebenslauf in der elektronischen Fassung der Dissertation nicht veröffentlicht.