

Aus der Klinik für Neurochirurgie

der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Hans-Jakob Steiger

**Mono- und Bisegmentale Versorgungen bei degenerativen  
Erkrankungen der Halswirbelsäule, eine Analyse bezüglich  
klinischem Outcome und radiographischen Parametern**

**Dissertation**

Zur Erlangung des Doktorgrades der Humanmedizin

Der medizinischen Fakultät

Vorgelegt von

Klaus Christian Mende

2017

Als Inauguraldissertation gedruckt mit der Genehmigung der  
medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Gez. :

Dekan: Prof. Nikolaj Klöcker

Referent: Prof. Dr. med. Friedrich Weber

Koreferent: Priv. Doz. Dr. med. Jan Cornelius

Teile dieser Arbeit wurden veröffentlicht:

Mende KC, Kahl N, Detzner M, Lefering R, Franke J, Weber F (2015) Comparison of Dual Level Fusion and Hybrid Treatment in the Cervical Spine Based on Patient Outcome. J Spine 4:218. doi: 10.4172/2165-7939.1000218

## Zusammenfassung

**Aktueller Forschungsstand:** In aktuellen Studien wurde der Arthroplastie im Vergleich zu einer Fusion eines ausgeräumten Segmentes bei symptomatischer zervikaler Wirbelsäulendegeneration ein Outcomevorteil für die behandelten Patienten bescheinigt (McAfee[1]). Für bisegmentale Hybrid (Arthroplastie kombiniert mit Fusion) versus Fusions Versorgungen wurde dies jüngst auch in einigen Studien gezeigt (Gao[2], Jia[3], Shen[4]). Zur Sinterung wurde bisher kein negativer Effekt auf das Outcome beschrieben, auch in einer groß angelegten Meta-Analyse von Karikari[5] wurde diese Indifferenz beschrieben. Der Zusammenhang zwischen den Cagemaßen und der Sinterung wurde zuletzt von Yang[6] beschrieben.

**Fragestellung:** Ziel war die Untersuchung eines Lebensqualitätsvorteils der Hybridversorgung gegenüber der etablierten bisegmentalen Fusion. Außerdem wurde in der monosegmentalen Versorgung mit Cages der Zusammenhang zwischen Sinterung, Größen und Höhenauswahl der Cages und der Lebensqualität dargestellt, unter der Hypothese, dass eine Sinterung und eine geringe Höhe des Bandscheibenfaches und der damit verbundenen Foramengröße zu einer reduzierten Lebensqualität aufgrund einer ausgeprägten Schmerzsymptomatik führen.

**Methodik:** Es wurde eine monozentrische retrospektive Datenanalyse der Nachuntersuchungen von 402 Patienten mit degenerativer Erkrankung der Halswirbelsäule und durchgeführter operativer Therapie zwischen 1999 und 2010 durchgeführt. Erfasst wurden die prä- und postoperativen Symptome sowie prä- und postoperativer VAS und postoperativer ODI. Die Datenerhebung erfolgte mittels standardisierter Fragebögen im Rahmen der Follow-Up Untersuchungen. Es wurden 243 Röntgenbildersets der HWS in 2 Ebenen mit oder ohne Funktionsaufnahmen für die einzelnen Versorgungsgruppen hinsichtlich Cage-Dislokation und zervikaler Ausrichtung mittels Harrison's Tangente ausgewertet. Der Oswestry Score fand sich für 372 (92,5%) der Patienten. VAS Scores waren für >50% der Patienten verfügbar und wurden Regionsspezifisch (Arm/Kopf/Nacken) erhoben und ausgewertet.

**Ergebnisse und Diskussion:** Es besteht ein gutes Outcome (ODI <20%) für alle Versorgungen. Es erfolgte eine deutliche Reduktion der VAS Scores im prä- zu postoperativen Vergleich, auch der postoperative ODI bildete dies ab, mit signifikanten Vorteil für die Hybridversorgung 27,5% ODI versus 20,1% ( $p < 0,005$ ). Hinsichtlich Rückkehr zur Arbeitsfähigkeit zeigte dieser Vorteil keinen Einfluss. Fusionierte Prothesen zeigten ebenfalls vorteilhafte Outcome Scores mit VAS Scores von 1,9 im Nacken und 0,9 im radikulär ausstrahlenden Bereich. Der ODI zeigte sich mit im Mittel 16,2% ebenfalls sehr vorteilhaft ( $p = 0,01$ ). Monosegmentale Cages zeigten bei eingetretener Sinterung erhöhte Fusionsraten 27,1% versus 45,4% ( $p = 0,006$ ). Hinsichtlich der sagittalen Cagepositionierung bestand eine zunehmende Verbesserung der Lebensqualität bei zunehmender Hinterkantennähe für VAS und ODI ( $p < 0,05$ ), ebenfalls zeigte sich hierbei eine vermehrte Sinterung der Cages 52% ( $p = 0,04$ ). Cages mit einer größeren Auflagefläche zeigten insgesamt geringere Sinterungstendenzen ( $p = 0,005$ ).

**Schlussfolgerungen:** Cagefusion und Hybridversorgung zeigen sich bei bisegmentalen Versorgungen hinsichtlich des Outcomes mindestens gleichwertig, im Sinne guter ODI und VAS Scores mit einem Indikator für einen Vorteil der Hybridversorgung hinsichtlich des ODI. Auch unbewegliche Prothesen in diesen Konstrukten bewirken in der Regel eine Schmerzlinderung und Verbesserung der Lebensqualität. Implatatdislokationen scheinen nicht gehäuft geschlechtsgebunden aufzutreten, eine Dislokation geht in der Regel nicht mit einer reduzierten Lebensqualität einher, die Dauer der Arbeitsunfähigkeit zeigt sich jedoch prolongiert.

## **Abkürzungsverzeichnis**

Cage	Platzhalter für den Zwischenwirbelraum
CI	Konfidenzintervall
CT	Computertomographie
CWQ	Cage-Wirbelkörper Quotient
HWK	Halswirbelkörper
MRT	Magnetresonanztomographie
NRS	Numerische Rating Skala
NSAR	Nicht-steroidale anti Rheumatika
ODI	Oswestry Disability Index
ROM	Range-of-Motion, Bewegungsspielraum
SD	Standardabweichung
VAS	Visuelle Analog Skala

# **Inhaltsverzeichnis**

## **1. Einleitung**

- 1.1. Epidemiologie
- 1.2. Embryologie der Wirbelsäule
- 1.3. Anatomie und Pathophysiologie
- 1.4. Klinische Präsentation
- 1.5. Behandlungsoptionen
- 1.6. Operationstechniken
  - 1.6.1. Modifizierte Operationstechnik nach Smith und Robinson
  - 1.6.2. Risiken der Operation
  - 1.6.3. Anschlussdegeneration
  - 1.6.4. Materialdislokation

## **2. Ziele der Arbeit**

- 2.1. Lebensqualitätsvorteil für Hybridversorgungen
- 2.2. Lebensqualitätsvorteil für Patienten ohne radiologisch nachgewiesene Implantatdislokation
- 2.3. Schmerzprovokation durch kleine Cages

## **3. Material und Methoden**

- 3.1. Patientenkollektiv
- 3.2. Versorgungsmethoden im Vergleich
- 3.3. Oswestry Disability Index
- 3.4. Visuelle Analog Skala
- 3.5. Röntgentechnik und Auswertung
- 3.6. Statistik
- 3.7. Ethische Voraussetzungen

## **4. Ergebnisse**

- 4.1. Hybridversorgung versus Bisegmentale Fusion
- 4.2. Implantatdislokation versus regelhafter Implantatsitz

## **5. Diskussion**

## **6. Schlussfolgerungen**

## **7. Literatur und Quellenverzeichnis**

## **8. Anhang**

# **1 Einleitung**

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die aktuelle Versorgungssituation degenerativer Erkrankungen der Halswirbelsäule untersucht, im speziellen der ventrale Zugang nach Smith Robinson[7] für 2 Höhen mit Implantation eines Bandscheibenersatzes auf jeder Höhe. Auch wurde das Sinterungsverhalten (Materialverschiebung in die angrenzenden Wirbelkörper nach Operation) der Implantate auf ein, sowie zwei Höhen gesondert analysiert.

## **1.1 Epidemiologie**

Die Erkrankungen der Wirbelsäule, insbesondere im Sinne erworbener und degenerativer Veränderungen stellen in der heutigen Gesellschaft einen wichtigen Faktor im medizinischen wie auch im sozioökonomischen Bereich dar. In Deutschland leiden nach Angaben des Robert-Koch Institutes aus dem Jahr 2009 schätzungsweise 22% der Frauen und 15% aller Männer an chronischen Rückenschmerzen. 1998 ist der Rückenschmerz in allen Altersgruppen nach Bundes-Gesundheitssurvey die häufigste Schmerzart.[8] Insgesamt geht man davon aus dass jeder Mensch während seines Lebens mindestens einmal Rückenschmerzen hat, die Punktprävalenz wird von Krämer mit 37% und die Jahresprävalenz mit fast 70% angegeben.[9] Lumbale Schmerzsymptome sind hier typischerweise prädominant und werden von 62% der Patienten mit Rückenschmerzen beschrieben, jedoch entfallen weiterhin 36% der Schmerzen auf die Halswirbelsäule[9]. Die Prävalenz von Nackenschmerzen ist ein Problem welches besonders die urbanen Kultur der Industrieländer betrifft, ländliche Gebiete und Länder mit niedrigerem Entwicklungsstand zeigen sich hier deutlich weniger betroffen[10]. Die Schmerzen der Halswirbelsäule treten hier häufig in multiplen Episoden auf, in einer kanadischen Studie wurde gezeigt, dass 37,7% der Patienten mit Nackenschmerzen persistierende Probleme und 9,9% sogar eine Aggravation der Symptome im Rahmen des Follow-Ups angaben[11]. In einer Studie der Mayo Klinik wird die Rate der persistierenden Schmerzsymptomatik sogar mit nahezu 50% angegeben[12] wobei besonders Co-Faktoren wie niedrige Arbeitszufriedenheit und schlechte Arbeitsbedingungen, psychopathologische

Co-Morbiditäten, schlechte Coping Skills mit der Entwicklung von Nackenschmerzen assoziiert werden.[12]

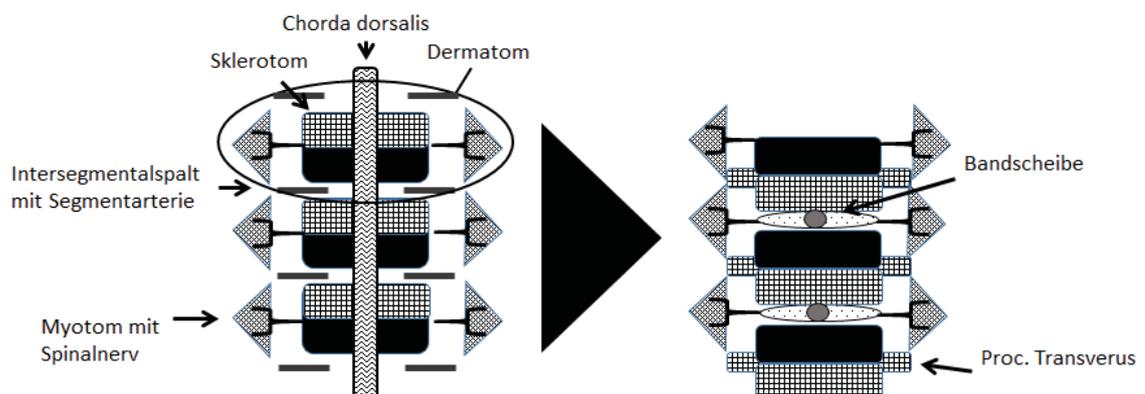
Nach Angaben der WHO Global „burden of disease study“ nehmen Rücken und Nackenschmerzen zusammengefasst den 2. Platz hinsichtlich der durch Krankheit in ihrer Lebensqualität verminderten Lebensjahre (QUALY) ein. Dabei entfallen 83.06 Mio. YLD („Years Lived with Disease“ = Lebensjahre mit Erkrankung) auf Schmerzen des unteren Rückens und 33.06 Mio. YLD auf Schmerzen des Nackens[13]. Dies ist auch aus gesundheitsökonomischer Sicht belastend, da Patienten mit chronischen Rückenschmerzen hohe Kosten für die Gesellschaft verursachen. Indirekte Kosten wie Erwerbsunfähigkeit und der folgende Produktivitätsausfall machen hier das Gros der Kosten aus, nur rund 15% entfallen auf die medizinische Behandlung der Patienten.[8]

## **1.2 Embryologie der Wirbelsäule**

Das Myelon entsteht entwicklungsgeschichtlich aus dem so genannten Neuralrohr. Zunächst kommt es zur Proliferation von neuralen Epithelzellen in der Nähe des Neuralkanales. Der Zellzuwachs bedingt hier eine Reduktion des Durchmessers des Neuralkanales bis nur noch der Zentralkanal als Residuum verbleibt. Das Gewebe, nun bestehend aus den schon erwähnten neuroepithelialen Zellen folgt einer weiteren Differenzierung, so dass zentral eine ventrikuläre Zone, gefolgt von einer mittleren Mantelzone und einer äußeren Marginalzone entsteht. Aus der Ventrikulärzone entstehen später die Zellen der Makroglia (Astro- und Oligodendrozyten). Zunächst entwickelt sich jedoch aus der Marginalzone die weiße Substanz des Rückenmarkes durch Einsprossung von Axonen aus Gehirn und peripheren Ganglien. Die Nuclei der Zellen werden im Rahmen dieses Prozesses nach innen abgedrängt und formen die graue Substanz des Rückenmarkes. Es folgen weitere Zelleinsprossungen und Proliferationsvorgänge wodurch es zur wulstigen Vorwölbung der lateralen Wände des ehemaligen Neuralrohres kommt. Im anterioren und posterioren Anteil des Neuralrohres findet kein derartiges Wachstum statt, so dass durch die Wölbung die charakteristische Schmetterlingsform des Rückenmarkes entsteht. Mit Funktionsaufnahme der Fasern folgt die Myelinisierung der Axone im weiteren Verlauf.[14, 15]

Die Rückenmarkshäute entwickeln sich im Wesentlichen aus den das Neuralrohr umgebenden Mesenchymzellen. Nach Einsprossung von Zellen der Neuralleiste beginnt die umgebende äußere Schicht vermehrt Kollagene zu bilden was eine Verdickung zur Folge hat. Hieraus geht die Dura mater (harte Hirnhaut) hervor. Respektive findet im inneren Blatt keine Anreicherung mit Kollagen statt, so dass hier die Leptomeninx (weiche Hirnhaut) entsteht. Im weiteren Verlauf entstehen aus dieser die Pia und Arachnoidea mater, deren gemeinsamer Ursprung sich auch beim Erwachsenen noch durch die Arachnoidalfortsätze zurückverfolgen lässt.[14]

Die knöcherne Wirbelsäule entsteht aus mesenchymalen Zellverbänden, die als sogenannte Sklerotome schon in der 4. Woche der embryonalen Entwicklung um das Neuralrohr herum angeordnet sind. Die Sklerotome sind jeweils paarige Anlagen welche sich in einer kraniale mit lockeren Zellverbänden und kaudale mit dicht gepackten Zellen angereicherte Zone unterteilen. Ein Teil der Zellen des kaudalen Anteils macht eine Wanderung nach kranial durch, wo er später einen Teil der Bandscheibe bildet. Im Prozess der Resegmentierung fusionieren jeweils die zwei Anteile des Sklerotoms und zwar der dicht gepackte kaudale Anteil mit dem lockeren Anteil des darunterliegenden Sklerotoms so dass es zu einer in diesem Prozess namensgebenden Verschiebung der Segmente kommt[15]. Hier bilden sich jeweils die entsprechenden Wirbelkörper. (Abbildung 1)



**Abbildung 1: Embryologische Entwicklung der columna vertebralis**

Die dorsalen Laminae werden durch dort angrenzende mesenchymale Zellverbände geformt. Der verbleibende Rest des lockeren zuvor migrierten Zellverbandes organisiert sich nun zum Anulus fibrosus der Bandscheibe

während aus Residuen der Chorda der gallertige Nucleus pulposus als zentrales Element der Bandscheibe entwickelt wird.[14] Im Bereich der Halswirbelsäule zeigen sich bei diesem Prozess einige Besonderheiten, so bilden die ersten 5 Sklerotome keine Wirbelkörper aus, sondern fließen in die Entwicklung des occipitalen Schädelknochens und der Schädelbasis mit ein.[15] Ebenso wird der Dens Axis nicht aus nur einem Sklerotom sondern, wie seine Lage innerhalb des cervicalen Knochengefüges schon vermuten lässt, aus den Sklerotomen 5 und 6 zusammen gebildet. Die Wirbelbögen des Atlas und des Axis bestehen im Gegensatz zu den restlichen Wirbelbögen jeweils nur aus dem kaudalen Anteil eines Sklerotoms ( Atlas Sklerotom 5, Axis Sklerotom 6)[15].

Im Verlauf des Wachstumsprozesses kommt es in der Wirbelsäule zu einer Inkongruenz, die das Rückenmark umgebenden Strukturen zeigen insgesamt ein deutlich schnelleres Wachstumsverhalten als das Mark selbst, so dass es zu einem progredienten „Anstieg“ des Myelons in Relation zu den Wirbelkörpern kommt. So liegt der Conus medullaris als unterster Ausläufer des Rückenmarks bei einem 8 Wochen alten Embryo mit den knöchernen Enden der Wirbelsäule gleich auf, nach 24 Wochen Entwicklung ist der Konus schon auf Höhe des ersten Sakralwirbelkörpers zu finden. Zum Zeitpunkt der Entbindung ist der Aszensus noch weiter fortgeschritten so dass das Mark hier ca. auf Höhe des 3. Lendenwirbelkörpers zu erwarten ist. Beim Erwachsenen Menschen befindet sich der Conus auf Höhe des 1. Lendenwirbelkörpers.[14]

### **1.3 Anatomie und Pathophysiologie**

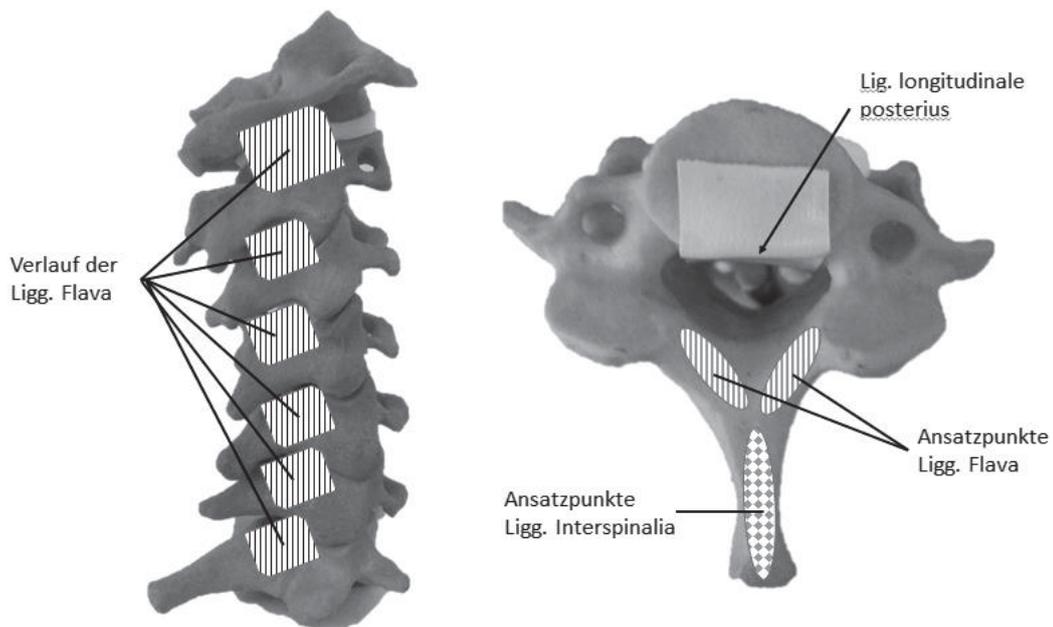
Die Anatomie der Wirbelsäule ist im Wesentlichen von ihrer „tragenden“ Rolle im Zentrum des menschlichen Bewegungsapparates geprägt. So werden durch das komplexe Zusammenspiel von Muskeln, Knochen, Bändern und nicht zuletzt Bandscheiben vielfältige Bewegungsmuster auch unter höchster Beanspruchung ermöglicht. Die Hauptaufgaben der Wirbelsäule (Abbildung 2) als Achsenskelett des Menschen bestehen im Schutz des Rückenmarkes, der Vermittlung von Stabilität für den Gesamten Körper und der Kraftübertragung und Kontrolle der Bewegung der sich anschließenden Extremitäten.[16]



**Abbildung 2: Wirbelsäule von vorne[17]**

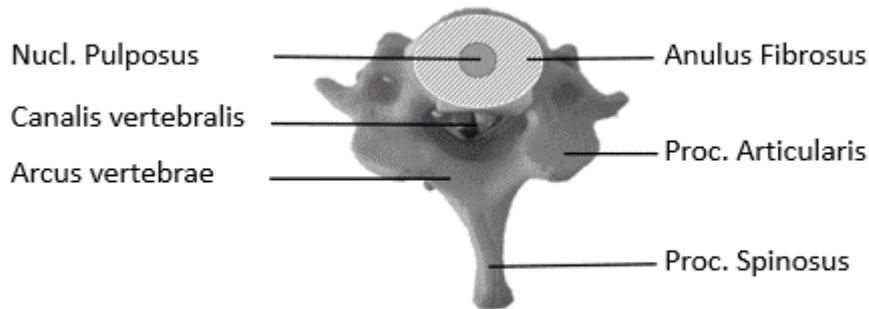
Die Wirbelsäule als solche besteht im Regelfall aus 24 einzelnen Knochensegmenten, 7 davon im Halsbereich, 12 im Bereich der Brustwirbelsäule und weitere 5 bilden die Lendenwirbelsäule aus. Die Wirbelkörper des Kreuzbeins, ebenfalls 5 an der Zahl, sind in den allermeisten Fällen zu einem einzelnen Knochen fusioniert und bilden zusammen mit den Darmbeinschaufeln die hintere Begrenzung des Beckens. Die gelenkige Verbindung der Wirbelkörper erfolgt im Rahmen einer sogenannten Synchondrose (knorpeligen Verbindung) über die zwischengelagerten Bandscheiben. Ausnahmen hiervon bilden der erste und zweite Halswirbel, die über ein „echtes“ Gelenk miteinander verbunden sind. Neben der Artikulationsfläche der Bandscheibe wird die Bewegung außerdem über die dorsalen kleinen Wirbelgelenke, die sogenannten Facettengelenke (bestehend aus den Procc. Articularis superior und inferior) gesteuert.

Die Belastungsstabilität der Wirbelsäule wird insbesondere durch die bandhaften Verbindungen der Wirbelkörper zueinander garantiert, hier spielen insbesondere das vordere und hintere Längsband welche an der vorderen und hinteren Wirbelkörperkante entlangziehen. Weiterhin werden die Wirbelbögen welche sich nach hinten fortsetzen durch sogenannte gelbe Bänder (ligg. flava) flexibel verbunden (Abbildung 3).



**Abbildung 3: Bandhafte Verbindung der Wirbelkörper durch Ligg. Flava (gestreift dargestellt)**

Die Form der Wirbelsäule welche sich im Verlauf der menschlichen Entwicklung verändert ist im Erwachsenenalter von einer S-Form geprägt, diese entsteht durch eine Lordose der Halswirbelkörper zueinander, eine sich anschließende Kyphose im Brustbereich und eine weitere Lordose im Bereich der Lendenwirbelsäule. Auch die Sakralwirbelkörper in Form des Kreuzbeines schließen sich diesem Muster an, hier erfolgt erneut ein kyphotischer Umschlag. Beim Neugeborenen liegen diese natürlichen Krümmungsverläufe des Achsenskelettes noch nicht vor, hier zeigt sich mit Ausnahme der Sakralkyphose lediglich eine Andeutung der zukünftigen Formgebung. Die Halslordose wird erst durch die Hebung des Kopfes mit 2-3 Monaten eingeleitet, sukzessive entwickelt sich mit der Sitzhaltung im Alter von ungefähr 6 Monaten die Kyphose im Thorax Bereich. Die Lendenlordose wird erst durch den aufrechten Stand mit Beendigung des ersten Lebensjahres ausgebildet.[18]



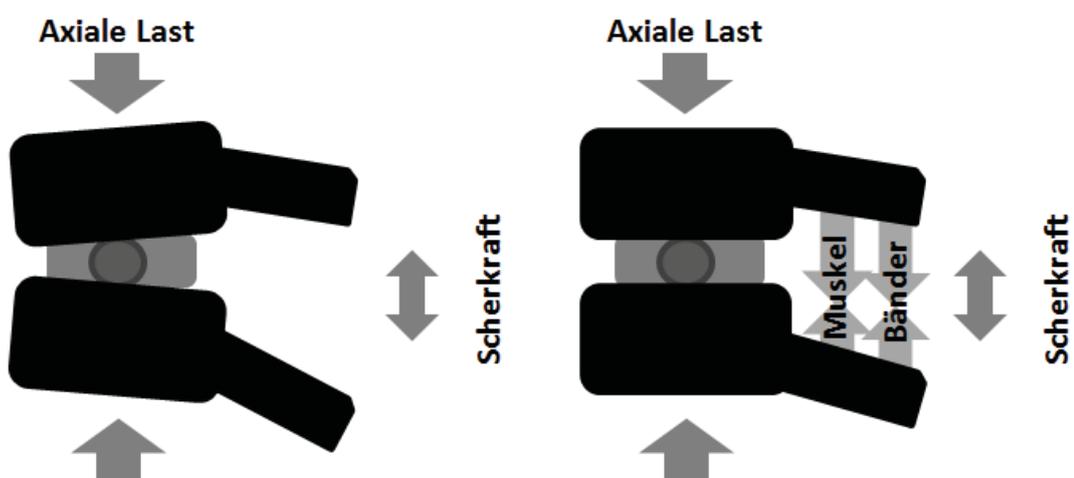
**Abbildung 4: Anatomie des Halswirbelkörpers und der zwischengelagerten Bandscheiben**

Die Bandscheibe, als Puffer- und Bewegungselement, wird gebildet aus einem gallertartigen Kern dem sog. Nucleus pulposus welcher von einem Ring aus Faserknorpel dem sog. Anulus fibrosus umgeben wird (Abbildung 4). Als Ausdruck fortschreitenden Alterns werden hier bereits physiologischerweise Umbaumaßnahmen vorgenommen. Der Wasseranteil des Knorpels, und somit seine für die uneingeschränkte Funktionalität essentielle Flexibilität nimmt mit zunehmendem Alter immer weiter ab, so dass axialer Stress nicht mehr in ausreichendem Maße verteilt und abgefangen werden kann. Gleichzeitig wird durch diese Veränderung der Faserknorpelring spröde und rissig, so dass es bei Belastungsspitzen und erhaltenem Nucleus pulposus zu einem Vorfall desselben durch den Ring aus Faserknorpel in den Spinalkanal kommen kann. Dies entspricht dem gemeinen Bandscheibenvorfall. Konsekutiv kommt es aufgrund der engen Lagebeziehungen häufig zu einer Bedrängung des Rückenmarkes und der daraus abgehenden Spinalnerven. Eine Kompromitierung neuraler Strukturen im Bereich der Halswirbelsäule kann eine schwere klinische Symptomatik hervorrufen (Abbildung 5).



**Abbildung 5: Biconcave Stenose des Wirbelkanales durch Bandscheibenvorfälle (Pfeile)**

Die Kraftverteilung im Bereich der Wirbelsäule beruht auf einem Kräfteverteilungsprinzip, hierbei werden ca. 80% des einwirkenden Gewichtes auf die im vorderen Bereich der Wirbelsäule liegenden Korpora verteilt. Die im hinteren Bereich der Wirbelsäule liegenden Facettengelenke und Bandstrukturen nehmen die verbleibenden 20% Massenbelastung auf, hier wird jedoch durch das Aufklappen der Wirbelgelenke aus einer axialen Kompressionskraft eine Scherkraft gebildet. [16] Der Scherkraft entgegen wirken die Muskeln der autochthonen Rückenmuskulatur, welche zur Kompensation der Scherkraft für eine Kompression des Wirbelsegmentes sorgen (Abbildung 6).



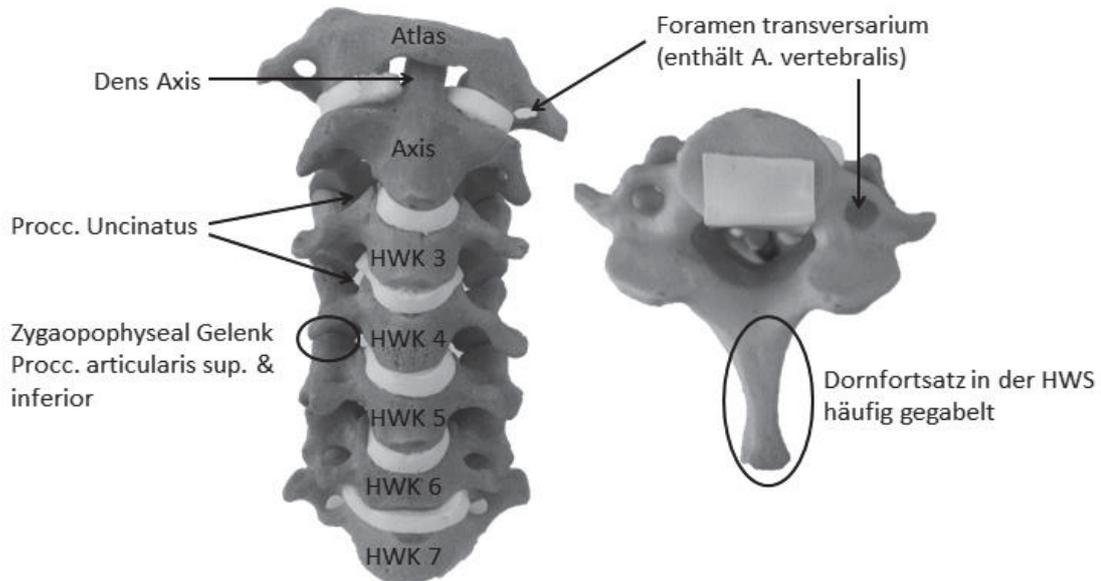
**Abbildung 6: Zuggurtungsprinzip der Wirbelsäule: Links Aufklappen unter Belastung, rechts Kompensation durch Kompression im Bereich der Wirbelbögen.**

Dies führt zu einer Lastverteilung im Sinne einer Zuggurtung wobei das Facettengelenk als eine Art Hypomochlion fungiert.[16] Das Zusammenspiel dieses komplexen Wirksystems wird jedoch rasch gefährdet, sobald Alterationen der Funktion der vorderen oder hinteren funktionellen Säule erfolgen. Ein Verlust der Flexibilität der Bandscheiben führt hier zu einer Gewichtsumverteilung und somit pathologischen Mehrbelastung, ebenso zeigt eine Schwäche der tiefen Rückenmuskulatur Ihre Auswirkungen dadurch, dass die Scherkräfte der Wirbelsäule nicht in ausreichendem Umfang aufgefangen werden können.

Bei Fehl- oder Überbelastungen der einzelnen Bausteine der Wirbelsäule kommt es durch körpereigene Schutzmechanismen welche die erhöhten Druck- und Zugbelastungen welchen die Wirbelsäule täglich ausgesetzt wird auffangen sollen zu einem sogenannten degenerativen Umbau des bandhaften und auch des knöchernen Halteapparates. Die Auflageflächen der Korpora werden durch Anbauten, die sogenannten Osteophyten, expandiert. Hierdurch werden die axial wirkenden Kräfte auf einer größeren Fläche verteilt. Die Reaktion der Facettengelenke folgt einem analogen Schema. Die Scherkräfte welche durch die Muskulatur, aber auch durch die Ligamenta Flava, kompensiert werden können, bis zu einem gewissen Grad, insbesondere bei Insuffizienz der Muskulatur, hauptsächlich durch eine Hypertrophie des Bandapparates kompensiert werden. Die Vergrößerung des Halteapparates erfolgt konzentrisch um die Druckflächen herum, so dass es auch zu einer Einengung des rückenmarksführenden Spinalkanales kommt. Von lateral erfolgt Kompression durch die anliegenden Facettengelenkshypertrophien, von vorne durch rückwärtig gerichtete osteophytäre Anbauten des Korpus, und von dorsal durch die ligamentäre Verdickung. Insgesamt ist diese Situation auch im fortgeschrittenen Alter häufig kompensiert, kommt es jedoch zusätzlich zu einer Vorwölbung (Protrusion) der Bandscheibe oder gar zu einem Vorfall (Prolaps) so werden rasch kritische Raumverhältnisse erreicht. Es resultieren in Abhängigkeit von der Lage und Ausdehnung der Enge fokalneurologische Defizite und Schmerzen. Bei anhaltender Kompression oder Kompression mit hoher Intensität kann sich als Resultat eine lokale Schädigung des Rückenmarkes (Myelopathie) ausbilden welche auch Fasern betreffen kann

welche anatomisch tieferliegende Gebiete versorgen und als temporärer oder gar irreparabler Schaden auftreten kann.

## 1.4 Spezielle Anatomie der Halswirbelsäule



**Abbildung 7: Anatomische Besonderheiten der Halswirbelsäule**

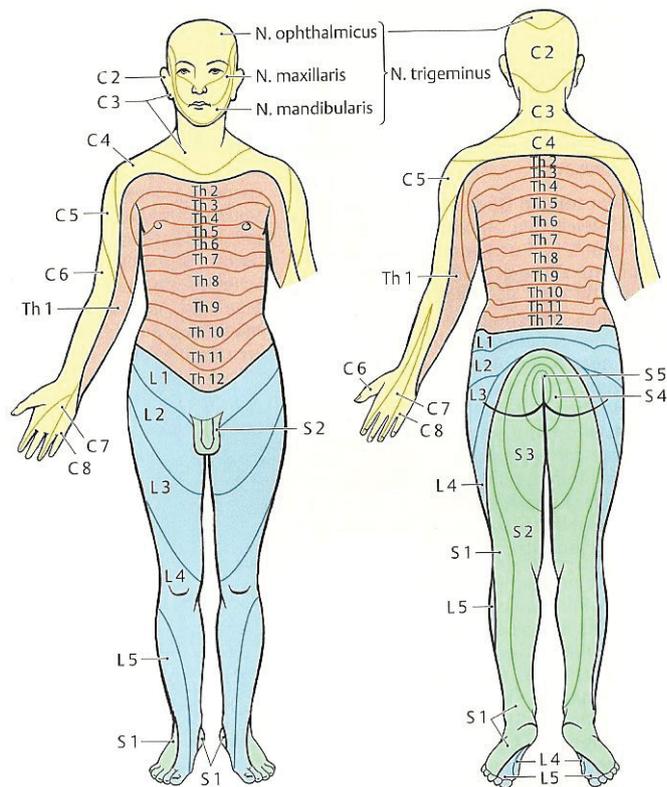
Die sieben Wirbelkörper der Halswirbelsäule bieten hinsichtlich ihrer Anatomie einige Besonderheiten (Abbildung 7). Seitlich im Bereich der Deckplatten wird ein knöcherner Wulst aufgeworfen, der so genannte Processus Uncinatus, welcher das Bandscheibenfach nach lateral begrenzt und beim Erwachsenen mit dem darüberliegenden Wirbelkörper ein Gelenk ausbildet.[19] Dieses Gelenk begrenzt nach Ansicht von Milne[20] die Bewegung der Halswirbelsäule in der Coronarebene. Zusätzlich wird dieser Gelenkverbindung von Penning und Wilms[21] eine tragende Rolle in der Kopplung von Bewegung in der Coronarebene und einer Rotationsbewegung zugeschrieben. Das hauptverantwortliche Gelenk für diese Bewegungen bleibt jedoch wie in der Brust- und Lendenwirbelsäule das Zygapophysealgelenk aus Proc. articularis superior und inferior. Dem Proc. Uncinatus wird in Studien von Post et. Al.[22] sowie von Taylor und Bland[23] und Bushey[24] aus klinischer Sicht eine besondere Signifikanz bezüglich der Barrierefunktion für eine Bandscheibenherniation in das Neuroforamen zugeschrieben. Eine weitere anatomische Besonderheit der Halswirbelsäule stellt das Foramen transversarium dar, welches in seinen knöchernen Begrenzungen als

Leitstruktur für die A. vertebralis dient. Insbesondere bei ausgedehnteren Wirbelsäulenoperationen ist hier die Kenntnis der anatomischen Strukturen und der Nähe des Foramens zum Pedikel wichtig um Gefäßverletzungen zu vermeiden[25].

Die Artikulation zwischen dem ersten und zweiten Halswirbel geschieht in besonderer Weise, hier liegt keine Bandscheibe als Grundlage des Bewegungssegmentes vor, sondern ein durch den Atlas und den Dens Axis gebildetes Radgelenk[26]. Das Gelenk wird durch die knöcherne Artikulation des Dens mit der Fovea dentis gebildet und der occipitale Anteil des Gelenks durch das quer den Atlas durchziehende Lig. transversum. In diesem Gelenk findet der Großteil der Rotationsbewegung des Kopfes mit einem Freiheitsgrad von 20-30° pro Seite statt. [26] Als weiteres morphologisches Alleinstellungsmerkmal zeigen sich die Dornfortsätze der Halswirbel an Ihrem Ende gespalten, bis auf den als vertebra prominens bezeichneten 7. Halswirbel. Der Dornfortsatz des vertebra prominens dient als Landmarke bei der Untersuchung der Wirbelsäule und projiziert sich auf Hautniveau auf den ersten Thorakalwirbelkörper.

## **1.5 Klinische Präsentation**

Patienten welche unter einer degenerativen Erkrankung der Halswirbelsäule, insbesondere mit assoziiertem Bandscheibenvorfall leiden stellen sich häufig mit charakteristischen Symptomen (Schmerzen, Missempfindungen, Taubheit, Schwäche) vor. Die Symptome können einseitig wie auch beidseitig ausgeprägt sein, je nach Lage der Nervenbedrängung, und orientieren sich am Versorgungsgebiet der betroffenen Nervenwurzel (Dermatom Abbildung 8), sie werden als so genannte Radikulopathie bezeichnet.[27]



**Abbildung 8: Dermatome des Menschen nach Hansen Schliack[28]**

Eine frühe Beschreibung der Symptomatik erfolgte durch Parkinson im Jahre 1817[29] wobei er diese jedoch fälschlicherweise auf eine Reizung des Deltamuskels bezog. Häufig werden Schmerzen im Nacken mit Ausstrahlung in die oberen Extremitäten beschrieben. Zusätzlich zu einer reinen Schmerzsymptomatik bestehen oft weitere Einschränkungen der Nervenfunktion. Häufig berichten Patienten darüber, dass die Symptome ohne erkennbares Trauma morgens aufträten[30] und das insbesondere die Schmerzkomponente beim Husten und Niesen exazerbierte. Letzteres wurde bereits durch Dejerine im Jahr 1914[31, 32] in der Erstauflage seiner Beschreibung neurologischer Krankheiten beschrieben.

Sensibilitätseinschränkungen (Hypästhesie) und unter Umständen schmerzhaft Missempfindungen (Dysästhesien) zählen zu den häufigsten Symptomen einer Nervenwurzelbedrängung und kommen bei nahezu 90% der betroffenen vor[33]. Sie können für die Patienten äußerst störend sein, da es in Folge oft zu Einschränkungen der feinmotorischen Leistungen und auch der Koordination kommt (Dinge Fallen aus der Hand oder können nicht gegriffen werden). Die Missempfindungen können bisweilen sehr schmerzhaft sein und

auch den Nachtschlaf und die Ruhephasen des Patienten mitunter deutlich beeinträchtigen.

<b>Muskeigenreflexe</b>	<b>Innervation</b>
Radiusperiostreflex	C5 / C6
Bizeps-Reflex	C5 / C6
Trizeps-Reflex	C6 / C7

**Tabelle 1: Kennreflexe der oberen Extremität**

Als diagnostisch wegweisend, insbesondere für die Lokalisation der korrekten Höhe werden häufig die sogenannten Muskeigenreflexe geprüft ( Tabelle 1). Die Reflexe zeigen sich typischerweise bei einer akuten Schädigung zunächst in ihrer Intensität reduziert. Dies ist häufig schon ersichtlich auch wenn der Patient bislang keine muskuläre Symptomatik wahrnimmt. Radhakrishnan et.al. zeigten in Ihrer Population von 561 Patienten bei 84,1% reduzierte Muskeigenreflexe, jedoch nur bei 64,2% eine Muskelschwäche und eine manifeste Atrophie nur bei 1,4% der Patienten.[33] Bei länger andauernder Beeinträchtigung, bzw. bei Schädigung der Pyramidenbahn können sich die Reflexantworten auch gesteigert zeigen. Reflexprüfungen werden jeweils beidseitig ausgeführt, da insbesondere die Seitendifferenz in der Erkennung einer Pathologie und deren morphologischer Zuordnung eine führende Rolle einnimmt.

Quantifizierung muskulärer Lähmungen	
<i>Nach British Medical Research Council</i>	
Völlige Lähmung	0
Sichtbare Kontraktion ohne mot. Effekt	1
Ausschaltung der Schwerkraft	2
Bewegung gegen die Schwerkraft	3
Bewegung gegen Widerstand	4
Volle Kraftentwicklung	5

**Tabelle 2: Einteilung der Paresegrade**

Lähmungen der Muskeln des Armes spielen in der Symptomvielfalt zervikaler degenerativer Wirbelsäulenleiden ebenfalls eine wichtige Rolle so werden Sie doch gemäß Yoss und Radhakrishnan in 64,2% bzw. 70% der Fälle beschrieben[33, 34]. Die von den Spinalnerven versorgten Muskelgruppen

können bei ausreichender Beeinträchtigung der Nerven in ihrer Funktion mitunter hochgradig eingeschränkt sein. (Quantifizierung von Lähmungen

Tabelle 2) Analog zu den Eigenreflexen und den sensiblen Dermatomen lassen sich auch die Muskelversorgungen bestimmten Nervenwurzeln zuordnen, ein Detail was man sich ebenfalls für die Identifikation tatsächlich betroffener Segmente zu Nutze macht, insbesondere da degenerative Wirbelsäulenleiden sich häufig multisegmental manifestieren[35] aber nicht selten nur eine Höhe symptomatisch und operationsbedürftig ist.

In besonders schweren Fällen kann die Symptomatik auch Bahnen betreffen welche anatomisch tiefer liegende Gebiete betreffen, hierbei kann jede Nervenfunktion unterhalb des bedrängten Niveaus mitbetroffen sein (Myelopathie). Es können sich Gangstörungen (Im Rahmen einer Tetraparese), Blasenstörungen (Akutfall: Überlaufblase; Chronische Schädigung: unkontrollierte Reflexmiktion) und Mastdarmstörungen sowie Lähmungen und sensible Defizite einstellen[36]. Läsionen oberhalb des Austritts des Spinalnerven C4 können aufgrund der dadurch bedingten Affektion des N. Phrenicus (C4, C5) welcher kaudal davon austritt die Zwerchfellatmung deutlich einschränken so dass auch eine maschinelle Beatmung essentiell sein kann.[37] Als klinisch wegweisendes Zeichen einer Schädigung der „langen Bahnen“ wird der Babinski Reflex angesehen, in diesem Fall wird nach Bestreichen der lateralen Fußsohle eine Dorsalextension der Großzehe mit häufig einem Abspreizen der 4 anderen Zehen nach lateral sichtbar.[37] Häufig muss in diesem Fall bei frischer Symptomatik eine notfällige operative Versorgung zur Erreichung eines bestmöglichen Ergebnisses für den Patienten und zur Abwendung weiterer Nervenschädigung erfolgen.

Als häufige Co-Morbidität zur Schulter und Nackenschmerzsymptomatik (Cervicobrachialgie) wird heute die Depression angesehen. Aktuelle Studien haben deutliche Hinweise darauf gefunden, dass Patienten die Schmerzen ausgesetzt sind im weiteren Verlauf ihres Lebens eine deutlich höhere Rezurrenz und Inzidenz für depressive Erkrankungen aufweisen als Patienten ohne Schmerzereignis[38]. Diese Untersuchungen wurden auch speziell im Hinblick auf Cervicobrachialgien durchgeführt und auch in diesem Kontext verdichteten sich die Hinweise auf eine vorliegende Co-Morbidität.[39] Zu beachten gilt jedoch, dass obwohl Cervicobrachialgien zu einer depressiven

Symptomatik und auch einer klinisch manifesten Depression führen können, so können auch aktive Depressionen zu Kopf-, Nacken- und Schulterschmerzen ohne pathomorphologisches Korrelat führen.[40]

## **1.6 Behandlungsoptionen**

In Deutschland existiert zur Behandlung zervikaler Bandscheibenleiden aktuell keine spezielle von einer deutschen Fachgesellschaft herausgegebene Behandlungsempfehlung im Sinne einer Leitlinie, diese existieren hauptsächlich für den lumbalen Bandscheibenvorfall und den Kreuzschmerz. Im Bereich der Halswirbelsäule ist man sich jedoch einig, dass analog zur lumbalen Radikulopathie bei Fehlen von Blasen und Mastdarmstörungen sowie von ausgeprägten Paresen zunächst die Indikation zur konservativen Therapie der Symptome besteht[41]. Das konservative Therapieregime sieht die Behandlung des Patienten mit nicht steroidal Antirheumatika (NSAR) z.B. Ibuprofen sowie eine physiotherapeutische Behandlung vor. Auch manuelle Therapiemethoden, Massagen und Infiltrationen der Facettengelenke und Nervenwurzeltaschen unter fluoroskopischer Kontrolle können in Betracht gezogen werden[42-44]. Somit kann der konservative Therapieansatz auf antientzündliche Lokalthérapien und Entspannung der angrenzenden Muskelgruppen reduziert werden. Eine adäquate Schmerztherapie zur Vermeidung einer Chronifizierung der Schmerzen ist ebenfalls eine wichtige Säule des Therapiekonzeptes[33]. Bei Versagen der Behandlung im Sinne einer fortbestehenden intensiven Schmerzsymptomatik oder auftretenden Paresen sowie bei Verlust der Kontrolle über die Blasen und Mastdarmstörungen muss eine rasche Diagnostik zur Abwendung eines eventuell irreparablen Schadens erfolgen. Als Diagnostik der Wahl gilt hier die Magnetresonanztomographie[44, 45]. Diese Untersuchungsmodalität eignet sich besonders gut, da durch die Schnittbildgebung eine sehr gute Einschätzung der Grenzen und Affektionen der verschiedenen relevanten Strukturen erfolgen kann[43]. Insbesondere die verbesserte Diskriminierung verschiedener Gewebetypen im Vergleich zur Computertomographie sowie die Darstellung pathologischer Wasseranreicherungen in Druckbelasteten Zonen (Ödeme) kann eine Diagnosefindung deutlich erleichtern[46]. Falls es die Situation rechtfertigt und der Patient nach ausführlicher Aufklärung dies wünscht kann eine operative

Behandlung der Pathologie initiiert werden. Bei der operativen Therapie stellt die Dekompression neuraler Strukturen das zentrale Element dar, der Eingriff welcher als Goldstandard gilt ist die anteriore zervikale Diskektomie und Fusion über einen ventralen Zugang nach Smith und Robinson.[1] Je nach geographischer Region und vorherrschender Lehrmeinung wird zur Erhaltung der Höhe ein Bandscheibenersatz eingebracht oder aber das ausgeräumte Segment ledig belassen.

## **1.7 Operationstechniken**

Die Operationstechniken welche den ventralen Zugang zur Halswirbelsäule wie er heute häufig verwendet wird hervorbrachten wurden im Jahr 1958 nahezu simultan von Smith & Robinson[7], sowie von Cloward[47] publiziert. Die technische Durchführung der Operation wurde bis heute häufig modifiziert, aber die Grundzüge spiegeln immer noch die damals vorgeschlagenen Zugangswege wieder. Die zentrale Frage welche bis heute für konstante Diskussionen und Divergenzen in Therapiedurchführungen sorgt, ist die nach der Wahl des optimalen Bandscheibenersatzes nach durchgeführter Ausräumung des Bandscheibenfaches, sowie die nach der Notwendigkeit einer Plattenstabilisierung im Rahmen der Operation.

Das Bandscheibenfach kann generell nach Ausräumung der Bandscheibe komplett verwaist zurückgelassen werden, diese Praxis ist im deutschsprachigen Raum jedoch nicht mehr sehr weit verbreitet. Alternativ wurden insbesondere vor der Verfügbarkeit künstlicher Interponate autologe Knochendübel (wie z.B. von Cloward vorgeschlagen[47]) in den Spaltraum eingebracht, häufig war die Gewinnung der Knochenfragmente ( meist aus dem Beckenkamm, alternativ Manubrium sterni[48]) jedoch mit einer deutlichen Schmerzsymptomatik und auch mit Wundheilungsstörungen vergesellschaftet, so dass sie heute immer weiter in den Hintergrund gedrängt wird.[49, 50]

Zur Auswahl steht außerdem eine Batterie an Platzhaltern (Cages) welche lediglich die physiologische Höhe des Bandscheibenfaches rekonstruieren sollen. Nahezu alle dieser Cages sind heutzutage rechteckig und weisen ein zentrales Loch zur Füllung mit Knochenspänen auf um eine möglichst rasche Verknöcherung des Segmentes zu erreichen. Manche Platzhalter lassen sich

direkt im Knochen verschrauben, andere werden lediglich von den Kompressionskräften die auf die Wirbelsäule wirken an Ort und Stelle verankert. Zur besseren Arretierung finden sich häufig Zähne bzw. Rillen an den wirbelkörperzugewandten Seiten. Die Cages weisen nicht nur in Ihrer Form sondern auch in ihrer Materialvielfalt eine enorme Bandbreite auf, es existieren Modelle aus Kunststoffen z.B. Poly-Ether-Ether-Keton (PEEK)(Abbildung 9), Titan, und auch aus Röntgendurchlässigem Carbon, hierdurch sollen insbesondere Folgebildgebungen weniger durch metallene Bildartefakte beeinträchtigt werden. Zur intra- und postoperativen Überprüfung der räumlichen Implantatausrichtung sind die Strahlendurchlässigen Cagevarianten in Regelfall mit kleinen Metallstäben als Lagemarkierungen versehen.



**Abbildung 9: Rechteckiger zervikaler PEEK Cage[51]**

Ein alternativer Bandscheibenersatz besteht in sogenannten semirigiden Cages welche analog zu einem herkömmlichen Cage in den Intervertebralspalt eingebracht werden, hier jedoch eine gering ausgeprägte Flexibilität in der Sagittalachse erlauben.



Abbildung 10: Bandscheibenprothese[52]

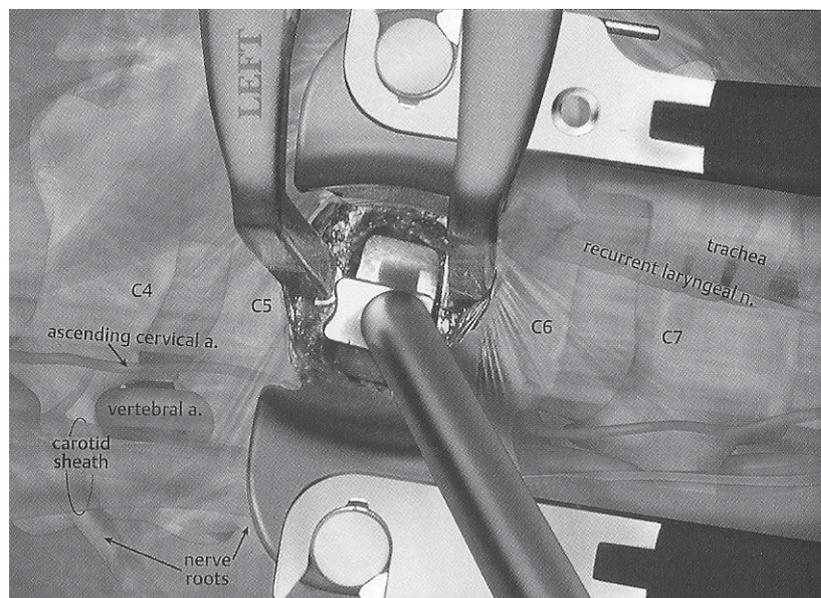
*“© Alphatec Spine, Inc. Reproduced with the permission of owner, Alphatec Spine, Inc. Further reproduction is prohibited without the permission of owner.”*

Die bisher modernste Variante mit erweitertem Bewegungsspielraum stellen Bandscheibenprothesen (Abbildung 10) dar. In ihrem Fall handelt es sich um tatsächlich bewegungserhaltende Implantate, welche zusätzlich zur Höhe des Bandscheibenfaches auch die Bewegungsmöglichkeiten eines gesunden Segmentes imitieren sollen. Diese Implantate sind ohne Begrenzung des Bewegungsspielraumes sowie mit einer integrierten Einschränkung der Bewegungsachsen erhältlich. Kerngedanke ist die Verhinderung von Anschlussdegenerationen der angrenzenden Wirbelsäulensegmente, sowie eine möglichst weitgehende Funktionserhaltung der Wirbelsäule. Der aktuelle Trend in der Literatur bescheinigt den Bandscheibenprothesen im Vergleich zu den Cages ein mindestens gleichwertiges, wenn nicht sogar geringfügig besseres funktionelles Outcome [1, 53].

### **1.7.1 Modifizierter Zugang nach Smith & Robinson**

Der Patient wird in Rückenlage auf dem Operationstisch gelagert. Der Kopf wird hierbei leicht rekliniert, eine Hyperextension sollte aufgrund der häufig vorgeschädigten Wirbelsäule jedoch vermieden werden. Unter Bildwandlerkontrolle erfolgt nun die Lokalisation der korrekten Operationshöhe.

Nach Desinfektion des Operationsgebietes und Abdecken desselben wird die Haut am ventralen Rand des M. Sternocleidomastoideus in horizontaler Schnitfführung inzidiert. Das darunterliegende Platysma sollte im Rahmen des Hautschnittes ebenfalls durchtrennt werden. Der M. Sternocleidomastoideus wird im Folgenden als laterale Begrenzung des Zugangsweges genutzt es erfolgt die weitere Präparation in die Tiefe und Darstellung der Gefäßnervenscheide welche die A. Carotis und die V. Jugularis sowie den N. Vagus enthält. Nach sicherer Identifikation und Darstellung wird diese nach lateral retrahiert, der sich im Zentrum des Operationssitus darstellende M. Omohyoideus und die Trachea werden nach medial verlagert so dass nun die ventralen Anteile der Wirbelsäule nur bedeckt vom M. longus colli freiliegen. Die Muskeln werden stumpf nach lateral mobilisiert und das vordere Längsband dargestellt. Nach Einsetzen eines Sperrers wird das vordere Längsband inzidiert und das Bandscheibenfach ausgeräumt. Ein Distraktor wird in den oberen und unteren Wirbelkörper eingeschraubt um einen Kollaps des Bandscheibenfaches zu verhindern. Nach Austasten der Raumverhältnisse wird ein dem Platzangebot entsprechendes Implantat ausgewählt und eingesetzt.



**Abbildung 11: Operationssitus mit Platzhalter[54]**

Durch Lösung der Distraction wird das Implantat fest in seiner Position verankert und eine bereits initial hohe Grundfestigkeit erreicht. Es folgt der schichtweise Wundverschluss und die Hautnaht [54], eine Drainage wird,

abhängig von den Wundverhältnissen und eventueller Antikoagulation, meist für 2 Tage eingelegt und belassen.

### **1.7.2 Risiken der Operation**

Zu den Operationsrisiken der ventralen Fusion der Halswirbelsäule zählen abgesehen von den allgemeinen Risiken einer Operation, wie z.B. Infektionen, Blutungen, Verletzungen von umliegendem Gewebe, allergischen Reaktionen etc., im Speziellen die Risiken welche durch Ihre Lage bedingt sind, so können direkte Verletzungen der oberen Luftwege (z.B. durch Sperrer) auftreten, aber auch postoperativ kann hier ein Engpass durch Einblutungen in die prävertebrale Faszia entstehen welche eine Druckentfaltung auf die Trachea (Luftröhre) bis hin zur vollständigen Verlegung auslösen kann (0,39% [55]). Häufig besteht aufgrund der Retraktion und folgenden Schwellung des Gewebes im Zugangsbereich eine postoperative, meist jedoch passagere, Dysphagie (12,3% nach Baron et. Al.[56]). Gerade Nervenverletzungen bzw. direkte Verletzungen des Markes können im zervikalen Bereich die bestehende Symptomatik akzentuieren oder im schlimmsten Fall zu einer Querschnittslähmung mit evtl. Tetraparese führen[57], die Inzidenz wird hier gemäß einer Studie mit über 900 000 Patienten von Wang et. Al. mit 0,19% [58] angegeben. Generell ist die Komplikationsrate, obwohl weiterhin niedrig (Wang et al. 3,93% [58]), hier sehr abhängig von der Erfahrung des Operateurs[59], sowie vom Alter des Patienten[60]. Abgesehen von den direkten Komplikationen kann es im weiteren Verlauf auch zu Implantatversagen und begleitenden Frakturierungen der Wirbelkörper kommen welche auch die Statik der Wirbelsäule negativ beeinträchtigen können in einer Studie von DeWald werden Kompressionsfrakturen mit 13% und eine resultierende Kyphosierung mit 26% der Patienten angegeben[61].

### **1.7.3 Anschlussdegeneration**

Ein viel diskutiertes Problem in der Versorgung von degenerativen Wirbelsäulenerkrankungen besteht darin, dass nach einer erfolgreichen Fusion eines Wirbelsäulensegmentes in 16 - 96% der Fälle eine Degeneration der angrenzenden Segmente im weiteren Beobachtungsverlauf erfasst werden kann.[62] Die Frage ob diese Veränderungen auf eine schon im Vorfeld begonnene Degeneration zurückzuführen sind, oder aber zumindest in Teilen

durch eine Alteration der Biomechanik der Wirbelsäule im Sinne einer kompensatorischen Hypermobilität in den Bewegungssegmenten über und unter einer Fusion ist nicht abschließend geklärt.[62] Wichtig ist hierbei jedoch, dass analog zum Auftreten von primären Degenerationen der Wirbelsäule auch hier der radiologische Nachweis nicht mit der klinischen Erscheinung korreliert. Die symptomatische Anschlussdegeneration welche tatsächlich klinische Symptome bedingt wird in der Literatur mit 1,8 – 36% angegeben[62]. Durch den zumindest partiellen Erhalt des physiologischen Range-of-Motion (ROM, Bewegungsspielraum) im Rahmen einer Arthroplastie ist denkbar, dass der Akzeleration der Anschlussdegeneration entgegengewirkt werden kann, in Kadaverstudien konnte bisher zumindest der verbesserte ROM nachgewiesen werden.[3]

#### **1.7.4 Materialdislokation**

Unter Materialdislokation versteht man die Entrückung des Implantates aus seiner Loge, häufig vergesellschaftet mit einer Rotation des Implantates und einer zumindest eingeschränkten Möglichkeit der Erfüllung seiner Funktion. Die Dislokation von Platzhaltern im ausgeräumten Bandscheibenfach, insbesondere von Cages wurde bereits häufig in der Literatur beschrieben und untersucht, ein negativer Einfluss auf das postoperative Outcome wurde bislang nicht sicher nachgewiesen. [63-66] Die Entrückung des Implantates aus der primären Implantationsloge geschieht nach aktuellen Studien am häufigsten in den ersten 6 Wochen nach der Operation[66]. In der unteren Halswirbelsäule lässt sich die Dislokation im Vergleich zu den mittleren und oberen Segmenten am häufigsten nachweisen, eine Veränderung der Ausrichtung des sagittalen Profils der Wirbelsäule war nicht in signifikantem Maße zu beobachten.[64]

## **2 Ziele der Arbeit**

### **2.1 Lebensqualitätsvorteil für Hybridversorgungen**

Ziel der durchgeführten Untersuchung war es, einen signifikanten Lebensqualitätsvorteil, bei Patienten welche sich einer Halswirbelsäulenoperation auf 2 Höhen unterzogen und hierbei eine Hybridversorgung aus Bandscheibenprothese und Cage erhielten, gegenüber

einer rigiden Versteifung mit 2 Cages zu ermitteln. Es wurde angenommen, dass der vermehrte Erhalt der Bewegung in der Halswirbelsäule das subjektive Outcome für den Patienten optimiere.

## **2.2 Lebensqualitätsvorteil für Patienten ohne radiologisch nachgewiesene Implantatdislokation**

Weiteres Ziel der Untersuchung war es anhand der durchgeführten Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule diejenigen Implantate zu identifizieren welche durch Sinterungsfrakturen aus ihrer Initialposition disloziert waren. Es wurde die Hypothese postuliert, dass durch die Dislokation das spinale Gefüge gestört und eine intensivierete Schmerzsymptomatik, aufgrund der vermehrten Distraction der Facettengelenke insbesondere lokal im Nacken auftreten würde.

## **2.3 Schmerzprovokation durch zu kleine Cages**

Als weitere Hypothese wurde angenommen, dass Cages mit einer geringen Höhe, durch eine Verkipfung der Achse nach ventral, zu einer Überdistraction der kleinen Wirbelgelenke führen und betroffene Patienten entsprechend vermehrt unter Nackenschmerzen leiden.

# **3 Material und Methoden**

## **3.1 Patientenkollektiv**

Im Rahmen der Untersuchung wurden die Patienten welche zwischen 1999 und 2010 an der Halswirbelsäule fusioniert wurden bzw. eine Hybridversorgung erhielten identifiziert. Insgesamt fanden sich so 1762 Patienten. Es lagen Nachuntersuchungsdaten von 402 Patienten, 182 davon weiblich und 220 männlich vor. Von diesen Patienten wurden insgesamt 188 monosegmental, 173 bisegmental und 14 mit drei oder mehr Implantaten versorgt. Ein Wirbelkörperersatz musste in 11 Fällen durchgeführt werden. Das Durchschnittsalter belief sich auf 58,82 Jahre (58,88 Männlich, 58,75 weiblich). Eine Myelopathie lag präoperativ bei 89 Patienten vor.

Die Nachuntersuchungen erfolgten im Durchschnitt 670 Tage nach stattgehabter Operation. Bei einer Standardabweichung von 690 Tagen.

## 3.2 Versorgungsmethoden im Vergleich

Im Rahmen der monosegmentalen Fusion mittel Cage wurde jeweils der oben beschriebene modifizierte Zugang nach Smith & Robinson verwendet. Es wurden ausschließlich Cages aus Kunststoffen (z.B. PEEK = Polyether-Ether-Keton) eingesetzt. Nach Ausräumung des Bandscheibenfaches wurde anhand der klinischen Inspektion und des Tastbefundes (Cagegößen Tester) die zu implantierende Cagegröße ausgewählt. Die Cages unterschieden sich generell hinsichtlich ihrer breiten und Höhenmaße um eine möglichst ausgeglichene Gewichtsverteilung zu erreichen. Alle Cages waren mit einem zentralen Loch für Knochenspäne versehen. Auf eine Verplattung der Segmente wurde im Regelfall verzichtet (lag eine Verplattung vor wurde dies separat verzeichnet). Bei einer Hybridversorgung wurde eine Höhe mit einer Bandscheibenprothese und die andere mit einem

Kunststoffcage versorgt (Abbildung 2), hiervon versprach man sich die Reduktion der Hypermobilität in den angrenzenden Segmenten und konsekutiv eine Reduktion der Schmerzen und eventuell sogar



Abbildung 12: Vergleich Bilevel Cage (links) und Hybridversorgung (rechts)

der Anschlussdegeneration benachbarter Segmente.

## 3.3. Oswestry Disability Index

Zur Auswertung der präoperativen und postoperativen Einschränkungen der subjektiven Lebensqualität der untersuchten Patienten wurde der Oswestry Disability Index (ODI) als etabliertes und ausreichend validiertes Instrument genutzt[67]. Auch wenn die initiale Entwicklung des Index als generelles Rückenschmerzinstrument erfolgte wurde der Score bereits im Vorfeld für Studien speziell im Bereich des Nackens genutzt.[68] Der Index wurde im Jahr 1976 von John O'Brien [67] in einer englischen Sprachversion entwickelt und im Jahr 1980 publiziert. Eine weitreichende Verbreitung erfuhr der Test nach einem Meeting der „Society for the Study of the lumbar Spine“ in Paris 1981. Seitdem fand der Index häufig Anwendung in Studienarbeiten und wurde in viele Sprachen übersetzt. In der vorliegenden Arbeit wurde die validierte

deutsche Version des Bogens genutzt.[69, 70]. Der Index erfasst 10 verschiedene Entitäten: Schmerzstärke, Körperpflege, Heben, Gehen, Sitzen, Stehen, Schlafen, Sexualeben, Sozialleben, Reisen. Eine Auswertung des Instrumentes kann auch bei unvollständiger Beantwortung des Fragebogens erfolgen, sofern mindestens 8 der 10 Kategorien mit einer Antwort versehen wurden. Bei 378 Patienten aus dem von uns untersuchten Kollektiv konnte der postoperative Oswestry Score berechnet werden. Zusätzlich zum ODI wurde bei allen Patienten ein subjektiver Zufriedenheitsscore mit der Therapie auf einer Skala von 1 bis 5 erhoben, wobei 1 für ein exzellentes Ergebnis und 5 für das schlechteste Ergebnis steht.

### **3.4 Visuelle Analog Skala**

Die visuelle Analog Skala (VAS) wurde ursprünglich 1921 als Methode zur Evaluation von Vorgesetzten für Mitarbeiter der amerikanischen Scott Paper Company von Hayes und Patterson entworfen.[71] Heutzutage erfreut sich die Methode als visuelle wie auch als numerische Skala (Numeric Rating Scale, NRS) großer Beliebtheit als klinisches Messinstrument für die aktuelle Schmerzsituation eines Patienten da sie schnell und einfach durchzuführen ist, aber mit einer hohen Reliabilität einhergeht.[72] In der durchgeführten Studie konnte für Schmerzen im Arm bei 212 Patienten ein präoperativer sowie für 219 Patienten ein postoperativer Wert aufgezeichnet werden. Bei Nackenschmerzen wurde bei 214 Patienten ein präoperativer Wert und bei 225 ein postoperativer Wert festgehalten. Die Visuelle Analog Skala gibt zwar Auskunft über die Intensität einer Schmerzsymptomatik, eine Aussage zu deren Qualität kann jedoch nicht getroffen werden.

### **3.5 Röntgentechnik und Auswertung**

Im untersuchten Patientenkollektiv lag bei 64 Patienten keine aktuelle Radiologie der Halswirbelsäule vor. Im Rahmen der regulären Nachkontrolle konnten 294 Nativröntgenbilder der Halswirbelsäule in jeweils 2 Ebenen erfasst werden. Bei 38 Patienten lag eine CT Untersuchung der Halswirbelsäule vor, 4 Patienten wurden MRT Aufnahmen erfasst. 2 native Bildgebungen waren technisch nicht auszuwerten. Bei Patienten mit Bandscheiben-Prothesen lagen in 29 Fällen ebenfalls Funktionsaufnahmen vor (jeweils Bilevel Versorgungen im Sinne einer Hybridversorgung). Die Röntgenuntersuchungen wurden auf das

Vorliegen eines Einbruches (Sinterung) in die benachbarten Grund oder Deckplatten der Wirbelkörper untersucht. Hier wurde eine Einsinktiefe von  $\geq 40\%$  der jeweiligen Implantathöhe als Maßstab für eine vorliegende Sinterung gewählt. Es wurde das generelle Vorliegen, sowie die Verkippungsrichtung ( $>5^\circ$ ) und Tiefe der Sinterung (in Relation zur Cagehöhe) erfasst. Die Länge der Wirbelkörperdeckplatte in der Sagittalprojektion wurde als Marker für die Flächenausdehnung des Wirbelkörpers herangezogen und mit der Länge des eingebauten Cages in Relation gesetzt, den erhaltenen Quotienten bezeichnen wir als Cage-Wirbelkörper Quotient (CWQ). Zusätzlich zur Sinterung wurde die Veränderung der Ausrichtung der Halswirbelsäule, das sogenannte Alignment, welches die zervikale Lordose definiert, gemessen. Methodisch wurde hier die Tangente nach Harrison genutzt, es wurde jeweils an der Wirbelkörper Hinterkante eine Tangente angelegt und der Schnittwinkel der Tangenten bestimmt.[73] Die Messungen erfolgten jeweils einmal für den Winkel zwischen HWK 2 und HWK 6 (Beta Winkel) sowie für das behandelte Segment (Alpha Winkel) (Abbildung 13).

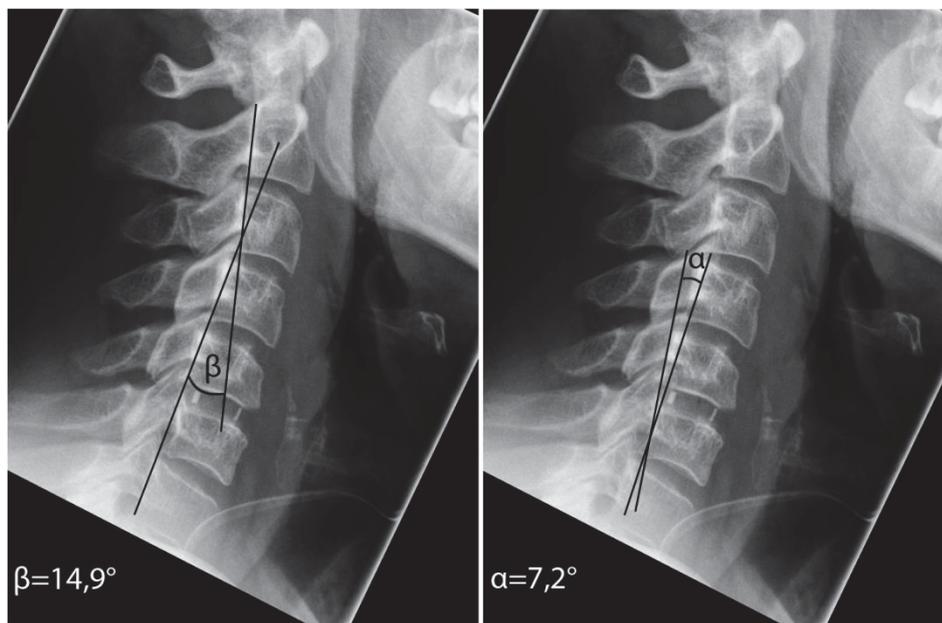


Abbildung 13: Messverfahren HWS: Beta Winkel (links) und Alpha Winkel (rechts)

### 3.6 Statistik

Die Patienten wurden in die jeweils zu untersuchenden Subgruppen unterteilt. Hier wurde die Normalverteilung der Werte festgestellt. Unterschiede hinsichtlich der Grundvariablen Alter und Geschlecht waren nicht in

signifikantem Maße vorhanden. Im Anschluss wurden zunächst orientierende Tests zur groben Einordnung der Hypothesen durchgeführt. Nach Identifikation potentiell signifikanter Einflussvariablen wurden diese gezielt mit weiterführenden Testverfahren untersucht.

Zur statistischen Auswertung der angefertigten Datenbank wurde das Programm IBM SPSS Statistics in der Version Nummer 20 genutzt. Zur Berechnung der Ergebnisse wurde der T-Test, Kreuztabellen mit Chi-Quadrat Test, die Korrelation nach Pearson und eine binäre sowie logistische Regression genutzt. Tabellen wurden in Microsoft Excel 2010 Professional angefertigt.

### **3.7. Ethische Voraussetzungen**

Aufgrund der retrospektiven Natur der Studie, ohne ergänzende Untersuchungen zur klinischen Routine, war eine Beratung durch die lokalen Ethikkommissionen nicht notwendig. Die Studie wurde nach den festgelegten Regularien der Deklaration von Helsinki [74] im Jahre 1964 und Ihren Aktualisierungen (einschließlich 2014) durchgeführt.

## **4 Ergebnisse**

### **4.1 Allgemeinkollektiv**

Insgesamt wurden 402 Patienten mit einem Durchschnittsalter von 58,8 Jahren untersucht. 182 Frauen, 220 Männer. Das Mittlere Follow-Up betrug 670 Tage mit einer Standardabweichung von 690 Tagen. Die mittlere Verweildauer der Patienten betrug 8 Tage SD 4,2, die Gesamtzufriedenheit mit der Operation auf einer Skala von 1-5 wurde im Mittel mit 1,8 SD 1.1 angegeben.

28 Patienten wurden postoperativ revidiert (7%), 18 für Implantatversagen (4,5%) und 10 (2,5%) aufgrund von Hämatomen im Zugangsbereich. 24 Patienten (6%) waren zum Zeitpunkt der Operation bereits voroperiert an der Halswirbelsäule. 21 (5,2%) Patienten zeigten postoperativ Schluckbeschwerden.

186 Patienten erhielten eine singuläre Cage Versorgung der Halswirbelsäule, 118 wurden mit Cages auf 2 Höhen versorgt (1 Patient mit Cage und Spongiosa

im 2. Bandscheibenfach) und 14 auf 3 Höhen. 56 Patienten wurden bisegmental hybridversorgt und weitere 14 über mehr als 2 Höhen mit einem Hybridkonstrukt versorgt. 13 der untersuchten Patienten erhielten einen kompletten Wirbelkörperersatz über eine oder mehrere Höhen. Die Verteilung der Versorgungshäufigkeit ist abgebildet in Abbildung 3.

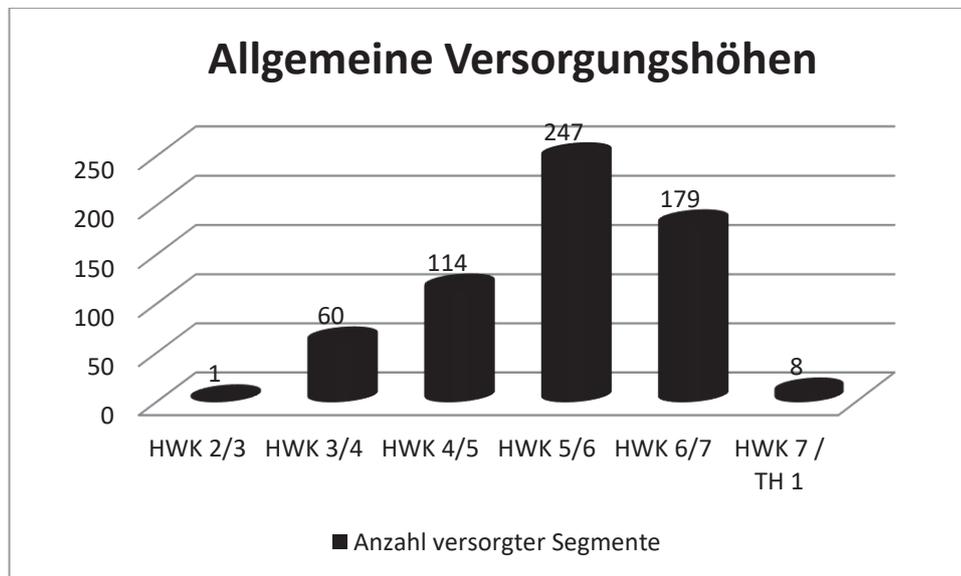


Abbildung 14: Verteilung der Versorgungshöhen nach HWS Segmenten im Gesamtkollektiv

Bei den Patienten zeigte sich im Mittel eine deutliche Reduktion des Schmerzniveaus zwischen prä- und postoperativ. (Tab. 3)

	VAS Nacken	N	VAS Arm	N	VAS Kopf	N	Oswestry in Prozent	N
Präoperativ	6,78	213	6,69	211	3,23	196		377
Postoperativ	2,32	224	1,71	218	1,14	199	21,97	
Differenz	4,46		4,98		2,09			

Tabelle 3: Prä- und Postoperative Lebensqualitäts- und Schmerzerfassung für das Gesamtkollektiv

153 Patienten waren zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung erneut arbeitsfähig, 120 waren bereits präoperativ berentet. 37 Patienten waren weiterhin

arbeitsunfähig, bei den übrigen Patienten wurde keine Aussage zur Arbeitsfähigkeit getroffen.

Bei 80 Patienten (26%, N=309) bestand postoperativ komplette Beschwerdefreiheit, 143 berichteten über residuelle Hyp- oder Dysästhesien, Muskelatrophien und Paresen wurden von 43 Patienten beklagt. 63 Patienten gaben weiterhin an unter Schmerzen zu leiden, 31 davon unter Nuchalgien.

Die Beschwerdedauer in Relation zur postoperativen Bewertung des Outcomes wurde ebenfalls analysiert, hier zeigte sich eine Verschlechterung des Outcome für länger bestehende Symptome, Tab. 4.

Korrelation der Präoperativen Beschwerden mit dem Outcome für Mono und Bisegmentale Versorgungen						
p<=0.05		Dauer Präoperativer Beschwerden				
		0-0,5 Jahre	0,5-1 Jahr	1-2 Jahre	>2 Jahre	Trend
Post-OP Outcome	ODI %	20,6	23,2	22,5	29,2	
	VAS Kopf	0,8	1,1	1,3	1,3	
	VAS Nacken	1,9	2,3	2,3	2,7	
	VAS Arm	1,3	2,1	1,7	2,5	

Tabelle 4: Beschwerdezunahme im Mittel für Patienten mit länger Dauernder Symptomatik, rechts dargestellt der Trend über die Zeit

## 4.2 Vergleich bisegmentaler Versorgungstypen

Die Subgruppe der bisegmentalen Versorgungen setzte sich zusammen aus 118 Cageversorgungen und 58 Hybridversorgungen. Das mittlere Alter betrug 51 Jahre SD 8,4 Jahre für Hybride und 60,1 Jahre mit SD 10,7 Jahre für Cages. Es fanden sich 33 Frauen und 23 Männer in der Hybridgruppe, die Cagegruppe bestand aus 44 Frauen und 72 Männern. Die mittlere präoperative Beschwerdedauer belief sich bei Cage Patienten auf 66 Wochen (SD 103 Wochen), Hybridpatienten wurden im Mittel nach 42 Wochen einer operativen Therapie zugeführt (SD 46 Wochen). Die Verweildauer ab dem Operationsdatum zeigte sich im Mittel ähnlich für beide Gruppen, Hybrid: 7,5 Tage; Cages: 8,3 Tage. Das mittlere Follow-Up betrug 384 Tage (SD 498 Tage) für Hybride und 822 Tage für Cages (SD 758 Tage). (Abbildung 10)

## Follow Up bisegmentale Versorgungungen

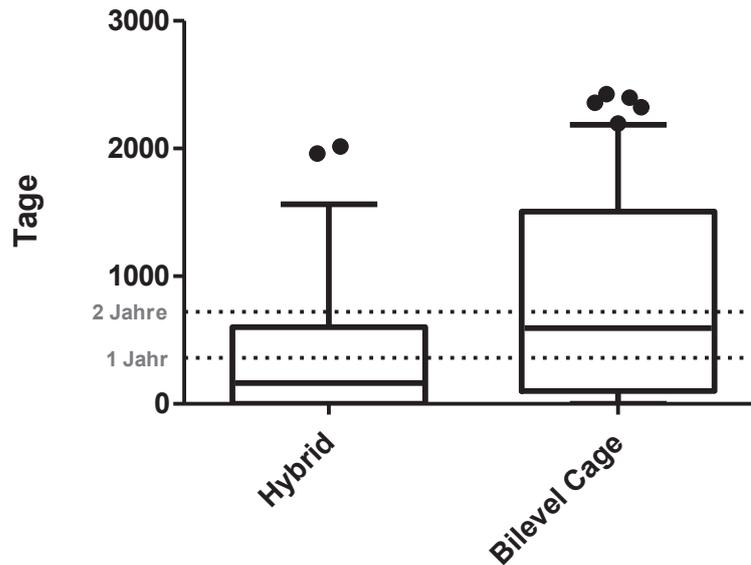


Abbildung 105: Darstellung des Follow-Up als Boxplot, Schwarz eingefügt der Mittelwert der jeweiligen Gruppe als Querbalken, die Fehlerbalken stellen das 95% CI dar, die Punkte die einzelnen Ausreißer

Die Lebensqualität und Schmerzbelastung wurde in beiden Gruppen prä- wie postoperativ festgehalten, siehe Tabelle 5. Patienten beider Gruppen benötigten zu einem hohen Anteil weiterhin regelmäßige medikamentöse Analgesie Hybrid: 51,8% Cages: 45,6%

### Lebensqualität Hybrid- versus Cageversorgung auf 2 Höhen

		VAS			ODI
		Kopf	Nacken	Arm	
Bilevel Cages	Prä OP	3,2 (SD 4,0)	6,3 (SD 3,4)	6,4 (SD 3,4)	
	Post OP	1,1 (SD 2,4)	2,4 (SD 2,9)	1,9 (SD 2,8)	27,0 (SD 22,3)*
Hybride	Prä OP	4,1 (SD 4,6)	8,0 (SD 2,2)	7,9 (SD 2,5)	
	Post OP	2,3 (SD 3,2)	3,4 (SD 3,4)	2,2 (SD 3,3)	21,0 (SD 22,2)*

\* Signifikanz 0,125

Tabelle 5: Bisegmentale Lebensqualitätsanalyse im Vergleich (ohne Altersanpassung)

Zur Reduktion des Alters als potentielle Einflussgröße wurde die Lebensqualitätsauswertung hier erneut durchgeführt, Patienten mit einem Alter >65 Jahre wurden ausgeschlossen. Es verblieben 74 Patienten mit Cageversorgung (Alter Mittel: 53,4 Jahre, SD 6,7 Jahre) und 52 Patienten mit Hybridversorgung (Alter Mittel: 50,3 Jahre, SD 7,3 Jahre). Die Signifikanz im T-Test beim Vergleich der Gruppen stieg deutlich an auf  $p \leq 0,005$ . (

Tabelle 6)

**Lebensqualität Hybrid- versus Cageversorgung auf 2 Höhen nach Alterskorrektur (<65 Jahre)**

		VAS			ODI
		Kopf	Nacken	Arm	
Bilevel Cages	Prä OP	3,6 (SD 4,2)	6,8 (SD 3,1)	6,9 (SD 2,8)	
	Post OP	1,2 (SD 2,5)	2,7 (SD 3,1)	2,2 (SD 3,0)	27,5 (SD 22,0)
Hybride	Prä OP	4,5 (SD 4,6)	8,1(SD 2,2)	8,0 (SD 2,6)	
	Post OP	2,0 (SD 3,0)	3,4 (SD 3,4)	2,2 (SD 3,3)	20,1 (SD 20,5)

Signifikanz  $p \leq 0,005$

**Tabelle 6: Bisegmentale Lebensqualitätsanalyse im Vergleich mit Altersanpassung (<65 J)**

10,7% der Patienten mit Hybridversorgung mussten sich einer Revisionsoperation unterziehen, 5 aufgrund von Implantatversagen und 1 Patient mit prävertebralem Hämatom. 6,9% der Cage Patienten wurden revidiert, 5 für Implantatversagen und 3 mit Hämatom.

Hinsichtlich der Arbeitsfähigkeit zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung ergaben sich deutliche Unterschiede, Hybridpatienten nahmen im Durchschnitt nach 13 Wochen die Arbeit wieder auf während Cageversorgungen 20 Wochen benötigten, weiteres siehe

Tabelle 7.

Arbeitsfähigkeit Hybrid- versus Cageversorgung auf 2 Höhen		
	<i>Bilevel Cages</i>	<i>Hybride</i>
Arbeitsfähig	39* (52% d.a.P.)	25*(50% d.a.P.)
Nicht arbeitsfähig	74	29
... davon Präoperativ berentet	39	4

\* $p < 0,05$

**Tabelle 7: Arbeitsfähigkeit und Berentung für Bisegmentale Versorgungen im absoluten Vergleich; d.a.P. = Anteil der arbeitenden Patienten**

Bei 38 Patienten mit Hybridversorgung lagen Funktionsaufnahmen der Halswirbelsäule vor, 14 Prothesen zeigten hier keine Bewegung, die Lebensqualität der fusionierten unbeweglichen Implantate zeigte sich signifikant gesteigert. (

Tabelle 8)

Lebensqualität Hybridversorgung bei unbeweglichen Prothesen			
	VAS Nacken	VAS Arm	ODI
Beweglich	3,4	3,0*	23,4
Unbewegt	1,9	0,9*	16,2

\*p=0,013

**Tabelle 8: Lebensqualität der Prothesenversorgten Patienten im Mittel in Relation zur Beweglichkeit des Implantates**

Eine solide Fusion (im Röntgenbild) wurde zum Zeitpunkt der Untersuchung bei 12 Hybridpatienten im Cagesegment (N=56) und 50 Fusionspatienten (N=116)  $p=0.006$  beobachtet.

In Hybridversorgungen zeigten 13 Cages Zeichen einer Dislokation im Rahmen eines Sinterungsprozesses, in der bisegmentalen Cageversorgung brachen 33 Cages auf einer Höhe und 19 auf 2 Höhen ein. Patienten mit Sinterung zeigten insgesamt ein minimal besseres Outcome gemessen am ODI Hybrid: 20,5 / 21,2 %; Cages: 25,1 / 28,4 %. Im Mittel war wie Zeit bis zur erneuten Arbeitsaufnahme ebenfalls verlängert bei Patienten mit Sinterung, Hybrid: 14 vs. 12 Wochen Cages: 27 vs.13 Wochen. Die relative Häufigkeitsverteilung der Sinterungen zeigte keine geschlechtsspezifische Ungleichgewichtung.

Die Beta-Angulierung der Halswirbelsäule vom Segment 2-7 zeigte sich im Allgemeinen nahezu gleich in beiden Versorgungstypen Hybrid: 14,6° Cages: 15,4°. Auch vorliegende Sinterungen zeigten hier keinen signifikanten Effekt auf die Lebensqualität oder die Veränderung des Beta Winkels. (

**Tabelle 9)**

Beta Angulierung HWK 2-7			
		Beta Winkel	SD
Cages	mit Sinterung	14,7°	10,5°
	ohne Sinterung	16,1°	10,5°

Hybride	mit Sinterung	15,1°	7,2°
	ohne Sinterung	14,5°	9,2°

Tabelle 9: Beta Angulierung in Abhängigkeit von einer vorliegenden Sinterung, p=0,26

### 4.3 Sinterungsanalyse Monosegmental

In der Subgruppe der monosegmentalen Versorgungen wurden Unteranalysen durchgeführt. Hier fanden sich 86 Frauen und 100 Männer mit einem Durchschnittsalter von 60,0 Jahren SD 11,3 Jahre (♀: 59,4, SD 10,5; ♂: 60,6 SD 11,9). Das Mittlere Follow-Up betrug 650 Tage, SD 674,5 Tage (Abbildung 16).

**Follow Up monosegmentale Versorgungen in Tagen**

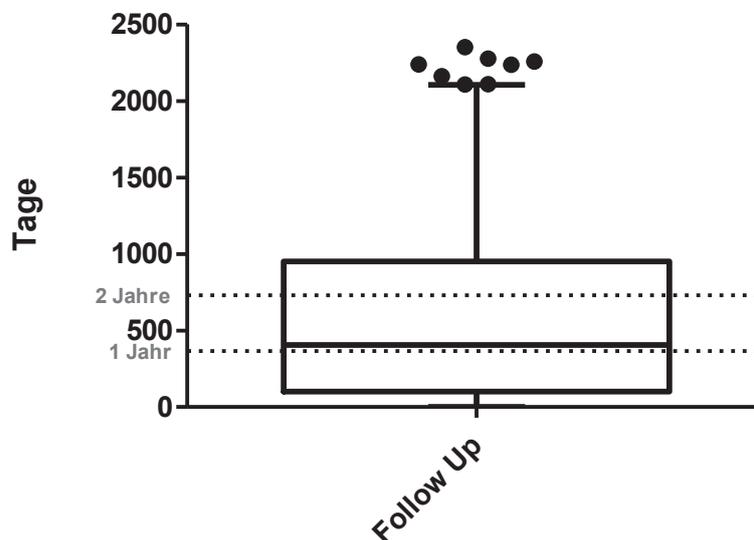


Abbildung 16: Boxplot, Follow Up für monosegmentale Cage Versorgungen, Schwarz als Querbalken der Mittelwert, die Fehlerbalken zeigen das 95% CI

Patienten mit einer monosegmentalen Cageversorgung zeigten insgesamt ein befriedigendes Outcome (

Tabelle 10), in manchen Fällen zeigten sich weiterhin Residualsymptome (

Tabelle 11). 7 Patienten wurden revidiert 3 für Implantatversagen 4 für prävertebrale Hämatome (insgesamt 3,8%). Die allgemeine Patientenzufriedenheit im Mittel lag bei 1,76 Punkten.

Lebensqualität Monosegmentale Versorgung Allgemein				
p<0.001	VAS			ODI
	Kopf	Arm	Nacken	
Präoperativ	3,0 (SD 4,1)	6,6 (SD 3,7)	6,7 (SD 3,7)	
Postoperativ	1,0 (SD 2,3)	1,3 (SD 2,3)	1,9 (SD 2,6)	18,8 (SD 19,9)

**Tabelle 10: Lebensqualität der monosegmentalen Cageversorgung im prä- und postoperativen Vergleich.**

Residualsymptome nach Monosegmentaler Cageversorgung		
Hyp-/Dysästhesie	Schmerzen	Parese/Atrophie
64 Pat.	28 Pat.	14 Pat.

**Tabelle 11: Residualsymptomatik monosegmental versorgter Patienten bei Nachuntersuchung**

Eine Sinterung lag formal bei 74 Patienten vor, 72 zeigten ein orthotopes Implantat. Für 40 Patienten waren die Röntgenaufnahmen entweder nicht vorhanden oder nicht auswertbar. Die Sinterungsrichtung wurde bei 40 Patienten nach ventral, bei 8 nach dorsal und bei 26 als gleichmäßig eingestuft, N=74. Die Patienten der Sinterungsgruppe zeigten insgesamt postoperativ weniger Schmerzen, im Nackenbereich VAS im Mittel 2,2 vs. 1,3;  $p=0,097$  sowie im Bereich des Kopfes VAS 1,3 vs. 0,5;  $p=0,092$ . Hinsichtlich Verweildauer (7,1 vs. 7,7 Tage) bzw. Wiederaufnahme der Arbeit (11 vs. 12 Wochen) zeigten sich keine signifikanten Differenzen. Auch die Lebensqualität nach ODI (18,4 vs. 19,7) und die radikulären Schmerzen im Arm (1,34 vs. 1,23) wiesen keine signifikanten Unterschiede auf. Bemerkenswert war jedoch die erhöhte Inzidenz einer soliden Fusion in der Gruppe gesinterter Implantate, 40,5% (orthotop) versus 45,4% (gesintert);  $p=0,006$ .(Tabelle 12)

Einfluss der Sinterung auf die Fusionsrate		
Sinterung	Fusion	
	Nein	Ja
Nein	50 = 72,9%	34 = 27,1%
Ja	30 = 54,6%	25 = 45,4%

p=0,006

**Tabelle 12: Beobachtete Fusionsrate im biplanaren Röntgen und CT bei monosegmentaler Versorgung in Relation zu Sinterungsereignissen**

In Abhängigkeit von der sagittalen Positionierung der eingebrachten Implantate konnten signifikante Differenzen in den Outcome Scores gezeigt werden. Eine hinterkantennahe Implantation erscheint hier vorteilhaft. (

Tabelle 13, Abbildung 6)

Lebensqualität und Schmerzen in Abhängigkeit von der sagittalen Implantat Positionierung				
	Vorderkante (N=24)	Mitte (N=55)	Hinterkante (N=43)	Deckend (N=6)
ODI	23,6*	19,5*	18,6*	17,1*
VAS Nacken	2,1*	1,8*	1,3*	1,8**
VAS Arm	1,9*	1,1*	0,9*	0,3**
	*p<0,05			** p<0,2

**Tabelle 13: Darstellung der Lebensqualität nach sagittaler Implantatausrichtung im biplanaren Röntgenbild für monosegmentale Versorgungen**

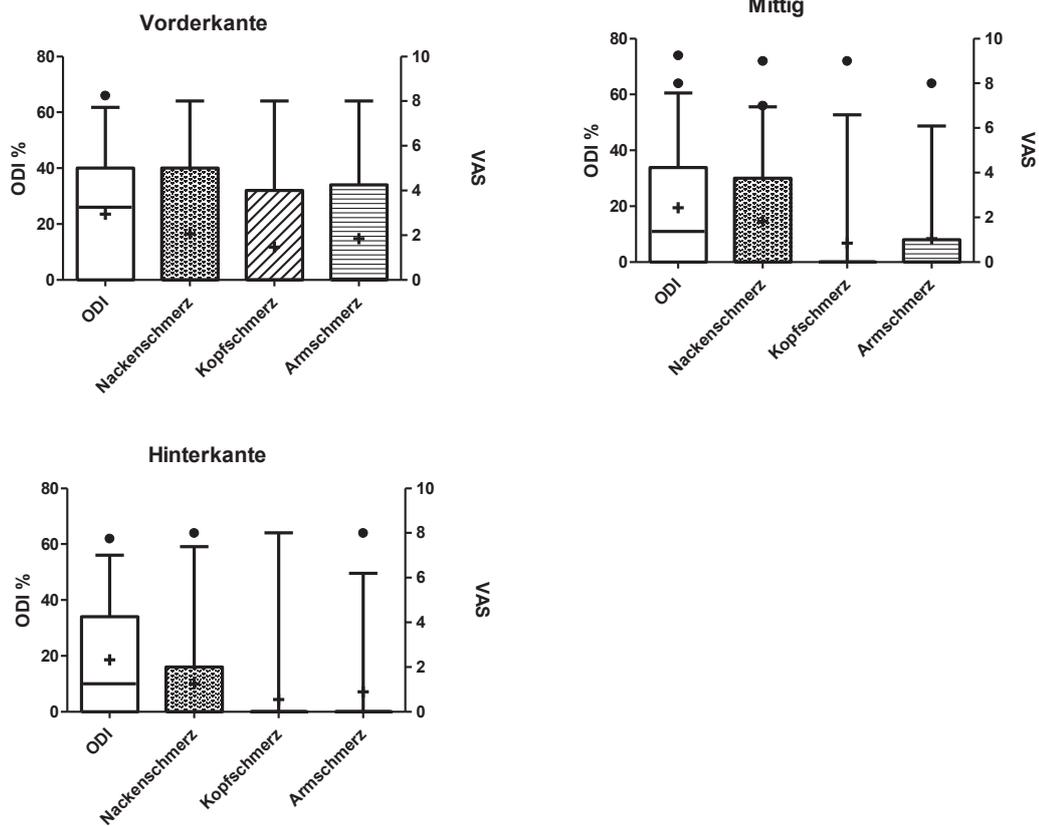


Abbildung 17: Outcome Score Vergleich bei monosegmentaler Implantation in Relation zur sagittalen Ausrichtung des Implantates, dargestellt sind jeweils die postoperativen Scores als Boxplot, mit 95 % CI

Bei monosegmentaler Sinterung zeigte sich eine Reduktion der Alpha Winkel über dem betroffenen Segment im Vergleich zu ungesinterten Implantaten, diese Beobachtung zeigt sich auch bezogen auf den Beta Winkel von HWK 2-7. Insbesondere fand sich eine Reduktion der Winkelmaße bei Verkippungen des Implantates nach dorsal (Beta-Winkel im Mittel 11,33° p=0.01).

Eine Pearson Korrelation bestand nicht zwischen den Lebensqualitätsparametern und der Ausprägung der jeweiligen Alpha und Beta Winkel.

Einfluss der Sinterung auf die Zervikale Kyphosierung				
	Alpha Winkel	SD	Beta Winkel	SD
Ungesintert	7,7°*	21,4°	18,6°	16,0°
Gesintert	3,6°*	7,3°	16,0°	11,3°

\*p=0,12

Tabelle 14: Reduktion der Alpha Winkel im Rahmen der Sinterung bei monosegmentaler Analyse und Cageverorgung

Die Sinterungshäufigkeit zeigte deutliche Unterschiede bezüglich der sagittalen Implantat Positionierung (Tabelle 15). Auch die Kipprichtung bei stattgehabter Sinterung zeigte sich unterschiedlich bei Veränderung der sagittalen Position. (Tabelle 16)

Sinterungshäufigkeit in Abhängigkeit von der sagittalen Implantat Positionierung				
	Vorderkante	Mitte	Hinterkante	Deckend
Keine Sinterung	18	35	22	7
Sinterung	8 (31%)	23 (40%)	24 (52%)	0

\*p=0,04

Tabelle 15: Monsegmentale Cageversorgungsanalyse der Inzidenz einer Sinterung in Abhängigkeit von der sagittalen Implantat Positionierung im biplanaren Röntgen

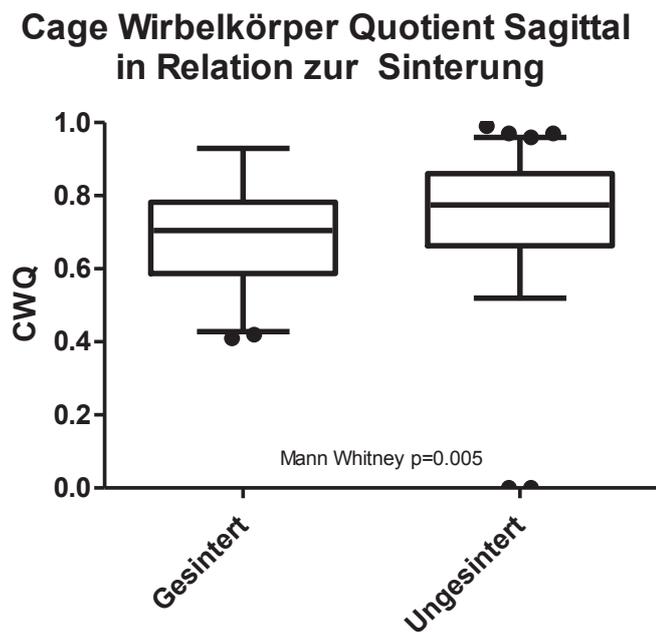
Sinterungsrichtung in Abhängigkeit von der sagittalen Implantat Positionierung					
	Vorderkante	Mitte	Hinterkante	Deckend	
Verkipfung nach ventral	5 / 38%	11 / 35%	22 / <b>81%</b>	1 / 50%	
Gleichmäßiges Sintern	5 / 38%	16 / <b>52%</b>	4 / 15%	1 / 50%	
Verkipfung nach dorsal	3 / 23%	4 / 13%	1 / 4%	0	
p=0,07	Summe	13	31	27	2

Tabelle 16: Darstellung der Verkipfungstendenzen in Abhängigkeit von der sagittalen Implantatposition im biplanaren Röntgenbild bei monosegmentaler Cageversorgung

Die Positionierung der Implantate in der Sagittalebene zeigte außerhalb der Sinterungstendenzen auch Einfluss auf die Lebensqualität der Patienten

Im Durchschnitt belegten die Cages in der sagittalen Ausdehnungsrichtung 67% der Wirbelkörperlänge. Der durchschnittliche Cage-Wirbelkörper Längen Quotient in der Sagittalebene (CWQ) betrug für gesinterte Implantate 66% der Wirbelkörperlänge und für orthotope Implantate 70% jeweils mit einer SD von

11% ( $p=0,095$ ) (Abbildung 11). In einer logistischen Regressionsanalyse zur Berechnung des Einflusses des CWQ auf die Sinterung wurden 112 Fälle einbezogen. Bei einem  $R^2$  nach Nagelkerke von 0,05 wurde für den Einfluss des CWQ ein Regressionskoeffizient von -3,40, Standardfehler 1,78 auf den Faktor Sinterung berechnet,  $p>0,05$ . Die Pearson Korrelation des CWQ mit den Schmerzskaalen und ODI blieb ohne signifikantes Ergebnis.



**Abbildung 118: CWQ Mittelwertanalyse im Vergleich bei Sinterung und Orthotopie der Implantate, Schwarzer Balken: Mittelwert; Fehlerbalken: 95% CI**

Die Auswertung der Implantatgrundflächen in Verbindung mit dem Vorhandensein einer Sinterung zeigte, dass mehr Cages mit einer größeren Fläche gesintert waren, Cages mit kleinerer Auflagefläche blieben vermehrt orthotop. (Abbildung 1912 und 19)

## Implantat Grundfläche in Relation zur Sinterung

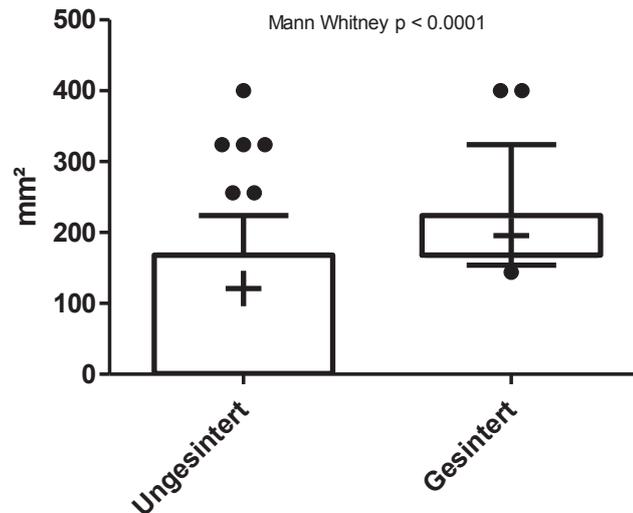


Abbildung 1912: Grundflächenanalyse gesintertter und ungesintertter Implantate in mm<sup>2</sup>, Kreuz: Mittelwert, Fehlerbalken: 95% CI

Cages mit einer Implantathöhe  $\leq 4$  mm zeigten keinen Einfluss auf die aktuelle Schmerzsituation des Patienten auch der ODI war nicht signifikant verändert. Cages mit einer Implantathöhe  $\geq 7$  mm zeigten einen mittleren ODI von 32,2 Punkten im Vergleich zu 18,3 Punkten bei Cages  $< 7$  mm,  $p=0,029$ . Es zeigte sich eine vermehrte Tendenz zur Sinterung für die Gruppe  $> 7$  mm, 13,3% versus 34,7%,  $p=0,09$ . Eine signifikante Korrelation zwischen hohen Cages ( $\geq 7$  mm) und Pseudarthrosenbildung bestand nicht. Bei stattgehabter Fusion zeigte sich im Mittel ein ODI von 16,2 im Vergleich zu 20,1 bei fehlendem Nachweis,  $p=0,23$ .

Eine Durchbauung der Segmente im Sinne einer soliden knöchernen Fusion (soweit im biplanaren Röntgen beurteilbar) zeigte sich bei 37,4% der Patienten, bei weiteren 5% lagen zusätzlich CT Aufnahmen vor welche sicher eine solide Fusion bestätigten (Insgesamt somit 42,2% Fusionsrate). Zeichen der heterotopen Ossifikation wurden bei 21,6% festgestellt und eine nach  $> 6$  Monaten persistierende Pseudarthrose bei 26,6%.

## 5 Diskussion

Im untersuchten Patientenkollektiv zeigte sich hinsichtlich der Verteilung der erkrankten Wirbelsäulensegmente keine Überraschung, wie auch schon

hinlänglich in der Literatur beschrieben [75] zeigten sich die meisten symptomatischen Degenerationen in der mittleren und unteren Halswirbelsäule. Die häufigste Affektion zeigte sich auf Höhe HWK 5/6, gefolgt von den Segmenten HWK 6/7 und HWK 4/5. Die Reduktion der Beschwerden gelang auf das Gesamtkollektiv bezogen sehr gut, mit niedrigen ODI und VAS Scores postoperativ, sowie einem hohen Maß an Zufriedenheit der Patienten mit der Versorgung im Krankenhaus. Dieses Ergebnis bestätigt aktuelle Untersuchungen, die der Hybrid sowie der generellen Cage Versorgung jeweils gute Ansprechraten hinsichtlich des Outcomes bestätigen[1]. In groß angelegten Analysen der Arthroplastie (mit Bandscheibenprothese) im Vergleich zu einer konventionellen Arthrodese des Segmentes mit intervertebralem Cage, z.B. in der Meta-Analyse von McAfee et Al.[1] wurde der Arthroplastie ein vorteilhaftes Outcome hinsichtlich NDI und neurologischer Rekonvaleszenz bescheinigt. Dennoch zeigten sich auch die Ergebnisse der konventionellen Versorgung (Arthrodese) durchaus weiterhin positiv mit einer Gesamterfolgsrate von 70.8% (versus 77,6% für Arthroplastie). Ergänzend zu den guten neurologischen und schmerzbasieren Rekonvaleszenzen werden der Arthroplastie auch von biomechanischer Seite erstrebenswerte Vorteile zugeschrieben, so soll der durch solide Fusion im Regelfall deutlich eingeschränkte Range-of-Motion der Wirbelsäule[76] durch die bewegungserhaltende Therapie postoperativ deutlich gebessert werden. Dies könnte nach aktuellen Erkenntnissen auch zu einer Reduktion des „Distress“ der betroffenen Segmente führen [77] und auch Anschlussdegenerationen vermeiden helfen[78].

Hinsichtlich ihrer Kosteneffizienz zeigte sich in amerikanischen Studien für beide monosegmental eingesetzten Verfahren eine suffiziente Kosteneffizienz, um als überlegen gegenüber einer zervikalen Fusion angesehen zu werden würde gemäß der Studie von Qureshi et Al. eine Funktionalität der Prothese für mehr als 14 Jahre erhalten werden müssen.[79]

Eine verlängerte konservative Therapie, mit Verzögerung einer operativen Therapie des Krankheitsgeschehens, zeigte tendenziell ein schlechteres Ergebnis bezogen auf die Lebensqualität der Patienten und deren Schmerzerleben. So war in jeder Meßkategorie (ODI, VAS Nacken / Arm / Kopf)

ein (negativer) Aufwärtstrend mit zunehmender Beschwerdedauer erkennbar. Untersuchungen von Burneikiene [80] und Pumberger [81] zeigten ebenfalls an, dass die Dauer einer Symptomatik erheblichen Einfluss auf die postoperative Rekonvaleszenz nehmen kann.

Bei den bisegmentalen Versorgungen zeigte sich in unserer Patientenstichprobe eine deutlich jüngere Gruppe von Patienten welche Hybridkonstrukte erhalten hatten (51 versus 60 Jahre im Mittel). Bezüglich des postoperativen Outcomes ließ sich hier zunächst ein Vorteil für die Hybridversorgung hinsichtlich ODI-Scoring erkennen, dieser war jedoch vorerst nicht signifikant. Nach Restriktion der Patientenkollektive durch eine Altershöchstgrenze von 65 Jahren wurden vergleichbare Altersverteilungsmuster in beiden Gruppen erreicht, hiernach zeigte sich in der Hybridgruppe noch ausgeprägter ein Lebensqualitätsvorteil bei nun signifikantem Untersuchungsergebnis (27,5 vs. 20,1 ODI;  $p \leq 0,005$ ). Paradoxaerweise zeigte sich hier eine Inkongruenz zu den erhobenen VAS Werten, die Patienten in der Hybridgruppe beschrieben im Durchschnitt bei zwar höheren präoperativen Schmerzniveaus auch postoperativ persistierend stärkere Schmerzen auch diese Diskrepanz war statistisch signifikant. Die gesteigerte Lebensqualität nach Hybridversorgung wurden auch in Studien von Gao[2], Jia [3] und Shen[4] aufgezeigt. Andere Studien belegen zumindest eine Äquivalenz und „nicht-Unterlegenheit“[82]. Evidenz für die in der vorliegenden Studie aufgefallenen gesteigerten Schmerzlevel für Hybridpatienten wurden bisher in keiner Arbeit publiziert und verlangt sicherlich nach weiterer Begutachtung im Rahmen randomisierter prospektiver Untersuchungen. Hinsichtlich Revisionsraten zeigte sich zwar ein Trend zu mehr Revisionen bei Hybridversorgungen, dieser war jedoch nicht statistisch signifikant, dies bestätigt die Schlussfolgerungen von Xing et. Al [83] welche ebenfalls keinen signifikanten Unterschied für Revisionsraten beider Versorgungsvarianten feststellten. Der Return-to-Work war in beiden Gruppen annähernd gleichwertig (Tab. 7), ebenso wie die Zeit der Hospitalisierung nach durchgeführter Operation. Generell wurde in der Literatur eine häufigere Rückkehr in die Arbeitsfähigkeit für Hybridversorgungen beschrieben, Steinmetz 2008[84]. Frühere Studien, z.B. die von Moatz 2012 beschrieben eine schnellere Rückkehr der Patienten an ihren Arbeitsplatz[85], diese wurde in dem hier

untersuchten Kollektiv ebenfalls gesehen, zeigte sich jedoch nicht statistisch signifikant.

Bezüglich der Implantatdislokation zeigten sich für beide Gruppen deutliche Unterschiede in der Inzidenz, 52 (45%) Patienten der Fusionsgruppe zeigten Zeichen der Sinterung auf ein oder zwei Höhen während nur bei 13 (34%) Hybridpatienten Zeichen einer Sinterung feststellbar waren. Diese Erkenntnisse decken sich mit den Untersuchungen von Röllinghoff et Al.[86] welche für monosegmentale Versorgungen das radiologische Outcome von Arthroplastie und Fusion mit Cage verglichen haben. Es zeigte sich auch hier eine deutliche Zunahme der Sinterungen innerhalb der Fusionsgruppe 26,1% versus 10,5%,  $p < 0,05$ , zusätzlich wurden als indirekte Zeichen eines vermehrten Distresses auf die umliegenden Segmente vermehrt Zeichen der Anschlussdegeneration in der Cagegruppe beobachtet.[86]

Bei genauerer Untersuchung der Prothesen zeigte sich in 14 (37%) von 38 Funktions-Bildbefunden eine Unbeweglichkeit der Prothese womit diese Versorgung streng genommen der Biomechanik eines Cages entspricht. Der Erhalt der Beweglichkeit spielt auch in der Literatur in Anbetracht des deutlich höheren Kostenfaktors für eine Arthroplastie eine besondere Rolle, in einer Arbeit von Wenger et. Al. wurden 29 Bryan zervikal Prothesen auf Ihre Funktion hin untersucht, bei nur einer Prothese zeigte sich in diesem Kollektiv eine Fusion des betroffenen Segmentes, in den verbleibenden Segmenten wurde eine Beweglichkeit von im Durchschnitt  $10,9^\circ$  mit einer SD von  $4,5^\circ$  gemessen [87]. Unbewegliche Prothesen zeigten sich in der vorliegenden Arbeit im Outcome signifikant gebessert gegenüber ihren „funktionierenden“ Gegenstücken, diese Beobachtung deckt sich mit den Beobachtungen von Heary et Al., welche ebenfalls eine Fusion um eine eingesetzte Prothese beobachteten. Auch in diesem Fall zeigte sich das Outcome exzellent[88]. Die Sinterung der Cages in der zwei Höhen Versorgung zeigte nahezu keinen Effekt auf die klinische Entwicklung der Patienten, das Outcome zeigte sich unverändert wie auch schon durch Zajonz [65] und Klingler[89] zuletzt in einer Review Arbeit von Karikari [5] beschrieben.

Somit konnten in dieser Arbeit, in Bestätigung der aktuellen Literatur zwar unsere Eingangshypothese bestätigt und Hinweise für ein verbessertes

Outcome nach Hybridversorgung einer 2 Höhen Degeneration gefunden werden, eine schnellere Rückkehr zur Arbeit als sozioökonomische Einflussgröße, zeigte sich in dieser Untersuchung jedoch nicht signifikant, während insgesamt kein Unterschied in der Menge der Arbeitswiederaufnahmen erhoben werden konnte. Die am ehesten fusionsbedingte Funktionseinschränkung der Prothesen und die Frage nach der Diskrepanz der VAS und ODI Werte in einer weiteren prospektiv angelegten Untersuchung zu klären sein.

Die Ergebnisse des Allgemeinkollektives hinsichtlich Outcomes lassen sich auch bei dem untersuchten monosegmental versorgten Kollektiv wiederfinden. Das Outcome kann insgesamt als sehr zufriedenstellend angesehen werden, es gelang im Mittel eine Schmerzreduktion auf niedrige VAS Mittelwerte (<2 Punkte) und einen ODI unter 20% korrespondierend mit den in der aktuellen Literatur angegebenen beobachteten guten Ergebnissen.[1, 90, 91]. So fanden McAfee et. Al.[1] in ihrer Meta-Analyse aktueller Multicenterstudien einen deutlichen Vorteil für die Arthroplastie hinsichtlich des Schmerzniveaus nach Neck-Disability Index und ebenfalls hinsichtlich des postoperativen Neuro-Status, insgesamt wurde jedoch auch der Arthrodese mittels Cage ein gutes Outcome hinsichtlich beider Parameter bescheinigt. Tracey et Al.[91] zeigten eine Entlastung hinsichtlich der präoperativ bestehenden Symptome für 86,4% der untersuchten Patienten. Die gute Ergebnisleistung der vorliegenden Studie spiegelt sich auch in der subjektiven Bewertung des Verfahrens durch die Patienten wieder (Im Mittel 1,76 / 5 Punkten).

Die Sinterung zeigte in Diskordanz zu den bisher beschriebenen Effekten[5, 65, 89, 92] eine Verbesserung der postoperativen Intensität residualer Schmerzen ( $p < 0,1$ ), insbesondere im Bereich des Kopfes und des Nackens. Dies kann unter Umständen auf die erhöhte Fusionsrate gesinterter Cagearthrodesen zurückgeführt werden, 44% versus 27%. In der Literatur wird bisher kein positiver signifikanter Einfluss der Sinterung auf die solide Fusion beschrieben[5, 93], allerdings wurde auch in einer Analyse von 111 Studien zum Thema der Sinterung von Karikari[5] keine Studie identifiziert welche eine negative Beeinträchtigung der Patienten durch den Sinterungseffekt darstellen konnte. Als Auslöser der erhöhten Fusionsrate wäre eventuelle eine Aktivierung

der Knochenmatrix durch den Einbruch des Cages in die Grund und Deckplatten denkbar, wodurch eventuell eine knöcherne Fusion vorangetrieben würde, dies zu untersuchen bleibt jedoch Gegenstand weiterführender Studien und kann im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht weiter aufgeklärt werden. Die Fusion an sich wurde in der vorliegenden Studie in 42.2% der Fälle erreicht, somit bleibt sie unterhalb der meist in der Literatur aufgeführten sehr hohen Fusionsraten, Dufour 94%[94], 90% Park[95] 97% Burkhardt [96]. Die Fusion wird im Regelfall anhand einer CT Diagnostik bestimmt[97], kann aber auch in biplanaren und funktionellen Röntgenbildern bewertet werden[98], neuere Untersuchungen zeigen jedoch, dass die reine CT Evaluationstechnik Limitierungen aufweist, da in 41% der als CT-diagnostisch fusioniert angesehenen Segmente weiterhin eine Beweglichkeit >1mm in den Funktionsaufnahmen der Halswirbelsäule nachzuweisen war.[99] Park et Al. schlagen zur sicheren Evaluation der Fusion CT Aufnahmen plus konventionelle Funktionsaufnahmen in Extension und Flektion vor.[99] Auch hinsichtlich der Evaluation der Sinterung zeigt sich kein allgemeingültiger Konsens in der Literatur, um Messungenauigkeiten einzuschränken und tatsächlich signifikante Massenverschiebungen zu klassifizieren wurde in dieser Arbeit eine Dislokation des Cages von 40% seiner eigenen Höhe als Maß der Dislokation angenommen. Hierdurch ergibt sich bei der geringsten vorliegenden Cagehöhe immerhin noch ein sicher messbarer Versatz von 1,6 mm. Aufgrund der Natur von Röntgenbildern war anzunehmen, dass eine Dislokation von <1mm nicht mit ausreichender Sicherheit bestimmt werden konnte. In der Literatur wurde analog zu der hier genutzten Meßmethode häufig die Verlagerung des Implantates in die angrenzenden Deck- und Endplatten herangezogen ([100],[101],[102]). In Dislokationsuntersuchungen anderer Autoren wurden häufig die Höhe des Bandscheibenfaches an sich und seine Höhenveränderung im Rahmen der Nachuntersuchungen als Anhalt für eine Cagedislokation gewählt ([103],[104],[105]), hierbei wurde diese Veränderung manchmal an mehreren Stellen des Segmentes und manchmal nur an einer Lokalität gemessen. Insgesamt werden so sehr unterschiedliche Parameter erfasst, die Verfahren bieten jedoch jeweils ihre Vor- und Nachteile. Insgesamt ist zu sagen, dass im Rahmen der häufig fortgeschrittenen degenerativen Veränderungen der Wirbelkörper, gepaart mit den postoperativen

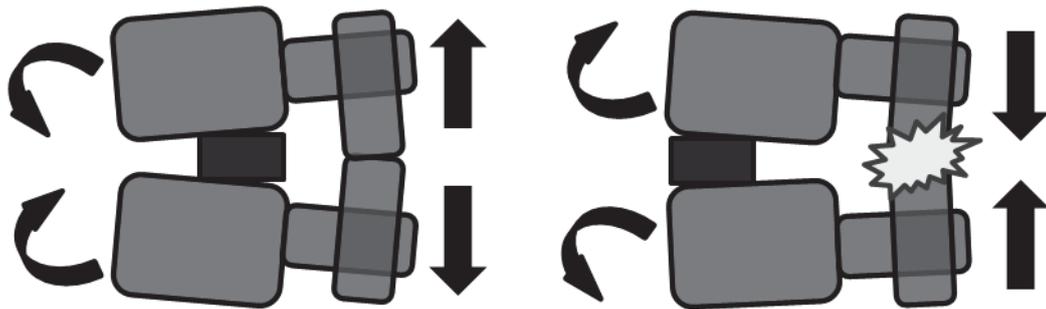
Veränderungen, welche ggfs. „Anfrischungen“ der Deck und Endplatten beinhalten, eine genaue Bestimmung der Endplatten nicht immer sicher möglich ist und insbesondere bei Messungen im niedrigen Millimeterbereich für Ungenauigkeiten sorgt. Somit bleibt festzustellen, dass ein einheitliches Maß für die Sinterung und Implantatdislokation nicht verfügbar ist, eventuell würde eine Kombination beider Meßmethoden die Genauigkeit der Untersuchungen weiter erhöhen.

Studien der letzten Jahre haben festgestellt, dass der Ausrichtung der Halswirbelsäule in der Sagittalebene auch hinsichtlich des Outcomes für den jeweiligen Patienten besondere Bedeutung zukommt. So haben Wu et al [92] in Ihren Untersuchungen der Lordose der Halswirbelsäule prä- wie postoperativ insbesondere als Einflussfaktor des klinischen Outcomes besondere Bedeutung zugeschrieben. Auch Lee et. Al[93] wiesen in Ihren Untersuchungen drauf hin, das insbesondere die *präoperative* Ausrichtung der Wirbelsäule in der Stand-Alone Cage Versorgung einen signifikanten Einfluss auf die Inzidenz einer Sinterung des Implantates zeigt, kyphotische Winkelmaße sollen hier eine Sinterung begünstigen. Im hier untersuchten Kollektiv zeigte die Analyse der Beta und Alphawinkel postoperativ eine Abnahme der Winkel hin zur Steilstellung (Kyphosierung) der Halswirbelsäule für gesinterte Implantate, ein Einfluss auf die Lebensqualität der Patienten lässt sich jedoch, im Kontrast zu den Untersuchungen von Wu, nicht feststellen. Auch die weiterführende Untersuchung der Implantationslokalitäten (in der Sagittalebene) konnte hier keinen Einfluss auf die Beta-Angulierung im Zusammenhang mit der Lebensqualität abbilden. Die Ergebnisse von Lee konnten aufgrund des Fehlens durchgängiger präoperativer Vergleichsbilder nicht nachvollzogen werden.

Die Untersuchung der primären Implantatposition in der Sagittalebene wurde nach aktuellem Wissensstand bisher in keiner Studie als Referenz verwendet. Hier zeigte sich jedoch eine Reduktion der Schmerzsymptome und gleichzeitige Optimierung der ODI Scores bei den Patienten mit zunehmender Nähe des Implantates zur Wirbelkörper Hinterkante(Abb. 6). Hier muss überlegt werden ob durch die Cage-Distraktion im Bereich der mittleren Wirbelsäule eine Entlastung der Facettengelenke und Aufweitung der Neuroforamina erfolgt,

während bei primär vorderkantennaher Implantation ggfs. eine Höhenminderung und Kompression der das Neuroforamen passierenden Strukturen feststellbar sein mag (Abbildung 2013).

## Implantatpositionierung in der Sagittalebene und ihre biomechanische Konsequenz



**Hinterkantennahe Implantation**

**Vorderkantennahe Implantation**

**Abbildung 2013: Erklärungsmodell für die Verbesserten Lebensqualitäts- und Schmerzscores bei hinterkantennahe Implantatlokalisierung.**

Auch dieser Beobachtung könnte im Rahmen weiterer Studienanstrengungen mit adäquater Auswahl der bildgebenden Maßnahmen (Schichtbildgebungen) Rechnung getragen werden. Generell ist zu sagen, dass Implantate mit einer möglichst guten Ausnutzung der Wirbelkörper Deck- und Endplatten als Auflagefläche eine deutlich geringere Sinterungstendenz zeigen als solche welche die Achslast auf einer geringeren Fläche verteilen. Die vorliegende Studie zeigt aber auch, dass die Relation der Flächen und nicht eine absolute Tendenz zu großen Cages bei der Auswahl wichtig sind, so sollte die Länge des Cages mit der Länge des Wirbelkörpers (CWQ) angepasst werden um eine ausreichende den Gegebenheiten entsprechende Lastverteilung zu ermöglichen. Dies bestätigt Untersuchungen von Barsa [106] welcher ebenfalls eine optimale Ausnutzung der Wirbelkörperflächen zur Abstützung zur Verhinderung einer Implantatdislokation empfiehlt. Yang et al. stellten in ihren Untersuchungen ebenfalls eine Verbindung zwischen den anterior-posterioren Durchmessern der Implantate und der Häufigkeit einer vorliegende Sinterung fest Odds Ratio (OR): 0,017,  $p=0,034$ . [6] Den in der Studie von Yang et Al.

außerdem dargestellten starken Einfluss des weiblichen Geschlechtes auf Sinterungshäufigkeiten, OR 7,95 konnten wir in der hier vorliegenden Arbeit nicht nachvollziehen, eine erhöhte Tendenz zur Sinterung nach Geschlechtsmerkmalen zeigte sich weder in der monosegmentalen noch in der bisegmentalen Versorgung.

Die häufig beschriebene Überdistraktion durch hohe Cages und die verbundene erhöhte Inzidenz von Sinterungen wie von Yoo et Al. [107] ab einer Cagehöhe von >7mm beschrieben, und in einer multivariaten Analyse für signifikant befunden, wurde hier ebenfalls deutlich, mit 13% versus 35% Sinterungen ( $p=0,09$ ) zeigte sich hier ebenfalls ein Trend zur Sinterung hoher Implantate. Zur weiteren Evaluation und besseren Einschätzung der biomechanischen Hintergründe sollte diese Zahl jedoch nicht als alleiniger Faktor gesehen werden, Faktoren wie prä- und postoperative Höhe des Bandscheibenfaches spielen im Hinblick auf die Auswahl eines Cages entscheidende Rollen und sollte in weiterführenden Analysen, speziell in diesem Zusammenhang entsprechende Berücksichtigung finden.

## **6 Schlussfolgerungen**

Insgesamt ist zu schließen, dass sowohl die Hybridversorgung als auch die mono- sowie bisegmentale Versorgung eines degenerativen Leidens der Halswirbelsäule zu guten Ergebnissen hinsichtlich ODI und VAS führen. Ein Vorteil zeigt sich hier für die Hybridversorgung gegenüber der Cageversorgung über zwei Höhen hinsichtlich des ODI. Ferner scheint eine unbewegliche Prothese innerhalb eines Hybridkonstruktes mit hoher Wahrscheinlichkeit mit einer suffizienten Lebensqualität und Schmerzminderung einher zu gehen. Die Arbeitsfähigkeit wurde in beiden bisegmentalen Verfahren in gleichem Maße wiederhergestellt, es ließ sich eine Tendenz zu einer rascheren Wiederaufnahme der Arbeitstätigkeit bei Hybridversorgungen beobachten (statistisch nicht signifikant). Eine Dislokation des Implantates zeigte sich nicht nach Geschlechtsmerkmalen ungleichverteilt, führte aber zu einer nahezu unveränderten, wenn nicht sogar besseren Rekonvaleszenz, jedoch mit prolongierter Arbeitsunfähigkeit. Die Beta-Angulierung der Halswirbelsäule zeigte sich hinsichtlich Schmerzen und ODI nicht relevant.

Die Patienten der monosegmentalen Subgruppe zeigten im Falle einer Sinterung im Mittel weniger postoperative Nacken und Kopfschmerzen, der ODI und die radikuläre Schmerzsymptomatik waren im Vergleich zu dem Restkollektiv unbeeinträchtigt. Ebenso zeigte sich bei vorliegender Sinterung eine Reduktion des Alpha Winkels und des Beta Winkels, jedoch ohne Konsequenz für die Lebensqualität und Schmerzen. Sinterungen wurden generell am häufigsten bei hinterkantennahen Implantaten beobachtet (52%), dann meist mit einer ventralen Verkipfung (81%), dennoch zeigten gerade diese Patienten die besten mittleren ODI und VAS Scores. Zur Vermeidung einer Cagedislokation kann der Cage Wirbelkörper Quotient in anterior posteriorer Projektion als hilfreiches Mittel zur Längenauswahl des Cages dienen, Cages mit hohem Quotienten zeigten signifikant weniger Einbrüche in umliegende Wirbelkörper. Groß gewählte Implantate mit ausgedehnter Auflagefläche ohne Berücksichtigung der Längenmaße zeigten hier keinen Vorteil hinsichtlich eines Einbrechens. Auf Cages mit einer Höhe >7mm sollte aufgrund der schlechten assoziierten ODI Scores nur unter Vorbehalt zurückgegriffen werden obwohl hier keine vermehrte Sinterungstendenz zu beobachten war.

## 7 Literatur und Quellenverzeichnis

1. McAfee, P.C., et al., *A meta-analysis of comparative outcomes following cervical arthroplasty or anterior cervical fusion: results from 4 prospective multicenter randomized clinical trials and up to 1226 patients*. Spine (Phila Pa 1976), 2012. **37**(11): p. 943-52.
2. Gao, Y., et al., *A meta-analysis comparing the results of cervical disc arthroplasty with anterior cervical discectomy and fusion (ACDF) for the treatment of symptomatic cervical disc disease*. J Bone Joint Surg Am, 2013. **95**(6): p. 555-61.
3. Jia, Z., et al., *Hybrid surgery for multilevel cervical degenerative disc diseases: a systematic review of biomechanical and clinical evidence*. Eur Spine J, 2014. **23**(8): p. 1619-32.
4. Shen, C., et al., *[Contrastive analysis of neck axial symptoms after hybrid surgery or traditional anterior cervical discectomy and fusion for treatment of two-level cervical disease]*. Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi, 2013. **27**(1): p. 58-61.
5. Karikari, I.O., et al., *Impact of subsidence on clinical outcomes and radiographic fusion rates in anterior cervical discectomy and fusion: a systematic review*. J Spinal Disord Tech, 2014. **27**(1): p. 1-10.
6. Yang, J.J., et al., *Subsidence and nonunion after anterior cervical interbody fusion using a stand-alone polyetheretherketone (PEEK) cage*. Clin Orthop Surg, 2011. **3**(1): p. 16-23.
7. Smith, G.W. and R.A. Robinson, *The treatment of certain cervical-spine disorders by anterior removal of the intervertebral disc and interbody fusion*. J Bone Joint Surg Am, 1958. **40-a**(3): p. 607-24.
8. Robert-Koch-Institut, *Gesundheit in Deutschland, in Gesundheitsberichterstattung des Bundes*. 2007. p. 34-35.
9. Al., K.J.e., *Bandscheibenbedingte Erkrankungen: Ursachen, Diagnose, Behandlung, Vorbeugung, Begutachtung*. 5 ed. 2006: Georg Thieme Verlag.
10. Hoy, D.G., et al., *The epidemiology of neck pain*. Best Pract Res Clin Rheumatol, 2010. **24**(6): p. 783-92.
11. Cote, P., et al., *The annual incidence and course of neck pain in the general population: a population-based cohort study*. Pain, 2004. **112**(3): p. 267-73.
12. Cohen, S.P., *Epidemiology, diagnosis, and treatment of neck pain*. Mayo Clin Proc, 2015. **90**(2): p. 284-99.
13. Systems, D.o.H.S.a.I. and G. WHO *WHO methods and data sources*

*for global burden of disease estimates*

2000-2011 2013.

14. Keith L. Moore, T.V.N.P., Christoph Viebahn, *Embryologie*. 6. Auflage ed. 2013: Elsevier GmbH, München.
15. George, B., M. Bruneau, and R.F. Spetzler, *Pathology and surgery around the vertebral artery*. 2011, Springer: Paris. p. Online-Ressource (XVI, 674 p).
16. Harms, J.r., G. Tabasso, and R. Cinanni, *Instrumented spinal surgery : principles and technique*. 1999, Stuttgart ; New York: Thieme. vii, 198 p.
17. [www.MedicalGraphics.de](http://www.MedicalGraphics.de), *Columna vertebralis with pelvis; license (CC BY-ND 3.0 DE)*. 2013: [www.MedicalGraphics.de](http://www.MedicalGraphics.de).
18. Aumüller, G., *Duale Reihe Anatomie*. 2007, Georg Thieme Verlag: Stuttgart. p. 224-263.
19. Hartman, J., *Anatomy and clinical significance of the uncinat process and uncovertebral joint: A comprehensive review*. Clin Anat, 2014. **27**(3): p. 431-40.

20. Milne, N., *The role of zygapophysial joint orientation and uncinat processes in controlling motion in the cervical spine*. J Anat, 1991. **178**: p. 189-201.
21. Penning, L. and J.T. Wilmink, *Rotation of the cervical spine. A CT study in normal subjects*. Spine (Phila Pa 1976), 1987. **12**(8): p. 732-8.
22. Post, N.H., et al., *Unique features of herniated discs at the cervicothoracic junction: clinical presentation, imaging, operative management, and outcome after anterior decompressive operation in 10 patients*. Neurosurgery, 2006. **58**(3): p. 497-501; discussion 497-501.
23. Taylor, J., L. Twomey, and B. Levander, *Contrasts between Cervical and Lumbar Motion Segments*. 2000. **12**(4): p. 28.
24. Bland, J.H. and D.R. Boushey, *Anatomy and physiology of the cervical spine*. Semin Arthritis Rheum, 1990. **20**(1): p. 1-20.
25. Yoshihara, H., P.G. Passias, and T.J. Errico, *Screw-related complications in the subaxial cervical spine with the use of lateral mass versus cervical pedicle screws: a systematic review*. J Neurosurg Spine, 2013. **19**(5): p. 614-23.
26. Schiebler, T.H., Korf, Horst-W., *Anatomie: Histologie, Entwicklungsgeschichte, makroskopische und mikroskopische Anatomie, Topographie*. 10th ed. 2007, Steinkopff-Verlag Heidelberg: Steinkopff-Verlag Darmstadt.
27. Bhadra, A.K., et al., *Single-level cervical radiculopathy: clinical outcome and cost-effectiveness of four techniques of anterior cervical discectomy and fusion and disc arthroplasty*. Eur Spine J, 2009. **18**(2): p. 232-7.
28. Werner Kahle, M.F., *Nervensystem und Sinnesorgane*. 2005, Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
29. Parkinson, J., *An Essay on the Shaking Palsy*. The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences, 2002. **14**(2): p. 223-236.
30. Greenberg, M.S. and N. Arredondo, *Handbook of neurosurgery*. 6th ed. 2006, Lakeland, FL

New York: Greenberg Graphics ;

Thieme Medical Publishers. xii, 1013 p.

31. Déjerine, J.-J., *Sémiologie des affections du système nerveux*. 1914, Paris: Masson. XXVI, 1212 S.
32. Mayer, E.E., *Radiculitis: Its diagnosis and interpretation*. Journal of the American Medical Association, 1918. **71**(5): p. 353-358.
33. Radhakrishnan, K., et al., *Epidemiology of cervical radiculopathy. A population-based study from Rochester, Minnesota, 1976 through 1990*. Brain, 1994. **117 ( Pt 2)**: p. 325-35.
34. Yoss, R.E., et al., *Significance of symptoms and signs in localization of involved root in cervical disk protrusion*. Neurology, 1957. **7**(10): p. 673-83.
35. Kuijper, B., et al., *Degenerative cervical radiculopathy: diagnosis and conservative treatment. A review*. Eur J Neurol, 2009. **16**(1): p. 15-20.
36. Kalsi-Ryan, S., S.K. Karadimas, and M.G. Fehlings, *Cervical spondylotic myelopathy: the clinical phenomenon and the current pathobiology of an increasingly prevalent and devastating disorder*. Neuroscientist, 2013. **19**(4): p. 409-21.
37. Gehlen Walter, D.H.-W., *Neurologie*. 12 ed. 2010: Georg Thieme Verlag Stuttgart.
38. Gerrits, M.M., et al., *Pain, not chronic disease, is associated with the recurrence of depressive and anxiety disorders*. BMC Psychiatry, 2014. **14**: p. 187.
39. Mantyselka, P., et al., *Neck-shoulder pain and depressive symptoms: a cohort study with a 7-year follow-up*. Eur J Pain, 2010. **14**(2): p. 189-93.
40. Myrtveit, S.M., et al., *Adolescent Neck and Shoulder Pain—The Association With Depression, Physical Activity, Screen-Based Activities, and Use of Health Care Services*. Journal of Adolescent Health, 2014. **55**(3): p. 366-372.

41. FX, G. *Leitlinie Lumbale Radikulopathie*. September 2012; Available from: [http://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/030-058l\\_S2k\\_Lumbale\\_Radikulopathie\\_2013\\_1.pdf](http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/030-058l_S2k_Lumbale_Radikulopathie_2013_1.pdf).
42. Gross, A.R., et al., *Conservative management of mechanical neck disorders: a systematic review*. The Journal of Rheumatology, 2007. **34**(5): p. 1083-1102.
43. Woods, B.I. and A.S. Hilibrand, *Cervical radiculopathy: epidemiology, etiology, diagnosis, and treatment*. J Spinal Disord Tech, 2015. **28**(5): p. E251-9.
44. Onks, C.A. and G. Billy, *Evaluation and treatment of cervical radiculopathy*. Prim Care, 2013. **40**(4): p. 837-48, vii-viii.
45. Corey, D.L. and D. Comeau, *Cervical radiculopathy*. Med Clin North Am, 2014. **98**(4): p. 791-9, xii.
46. Eguchi, Y., et al., *Diffusion-weighted magnetic resonance imaging of symptomatic nerve root of patients with lumbar disk herniation*. Neuroradiology, 2011. **53**(9): p. 633-41.
47. Cloward, R.B., *The anterior approach for removal of ruptured cervical disks*. J Neurosurg, 1958. **15**(6): p. 602-17.
48. Peelle, M.W., B.A. Rawlins, and P. Frelinghuysen, *A novel source of cancellous autograft for ACDF surgery: the manubrium*. J Spinal Disord Tech, 2007. **20**(1): p. 36-41.
49. Kim, S.J. and S.D. Kim, *Anterior Cervical Discectomy and Fusion Using a Double Cylindrical Cage versus an Anterior Cervical Plating System with Iliac Crest Autografts for the Treatment of Cervical Degenerative Disc Disease*. J Korean Neurosurg Soc, 2014. **55**(1): p. 12-7.
50. Pollock, R., et al., *Donor site morbidity following iliac crest bone harvesting for cervical fusion: a comparison between minimally invasive and open techniques*. Eur Spine J, 2008. **17**(6): p. 845-52.
51. AG, P.M.V., *Invadur Cage 12.14*. 2015: <http://www.pina-med.de/de/products/category/productoverview/?UniqueID=5>.
52. Spine, P., *Discocerv Prothese*. 2012: <http://www.prismaplus-spine.de/produkte/zervikal/5-discocerv>.
53. Phillips, F.M., et al., *A prospective, randomized, controlled clinical investigation comparing PCM cervical disc arthroplasty with anterior cervical discectomy and fusion. 2-year results from the US FDA IDE clinical trial*. Spine (Phila Pa 1976), 2013. **38**(15): p. E907-18.
54. Singh Kern, V.A.R., *Pocket Atlas of Spine Surgery*. 2012: Georg Thieme Verlag New York. 13-20.
55. Chen, S., et al., *Short- and long-term changes of condylar position after bilateral sagittal split ramus osteotomy for mandibular advancement in combination with Le Fort I osteotomy evaluated by cone-beam computed tomography*. J Oral Maxillofac Surg, 2013. **71**(11): p. 1956-66.
56. Baron, E.M., et al., *Dysphagia, hoarseness, and unilateral true vocal fold motion impairment following anterior cervical discectomy and fusion*. Ann Otol Rhinol Laryngol, 2003. **112**(11): p. 921-6.
57. Boakye, M., et al., *Cervical spondylotic myelopathy: complications and outcomes after spinal fusion*. Neurosurgery, 2008. **62**(2): p. 455-61; discussion 461-2.
58. Wang, M.C., et al., *Complications and mortality associated with cervical spine surgery for degenerative disease in the United States*. Spine (Phila Pa 1976), 2007. **32**(3): p. 342-7.
59. Cole, T., et al., *Surgeon Procedure Volume and Complication Rates in Anterior Cervical Discectomy and Fusions: Analysis of a National Longitudinal Database*. J Spinal Disord Tech, 2014.

60. Buerba, R.A., et al., *Increased risk of complications after anterior cervical discectomy and fusion in the elderly: an analysis of 6253 patients in the American College of Surgeons National Surgical Quality Improvement Program database*. Spine (Phila Pa 1976), 2014. **39**(25): p. 2062-9.
61. DeWald, C.J. and T. Stanley, *Instrumentation-related complications of multilevel fusions for adult spinal deformity patients over age 65: surgical considerations and treatment options in patients with poor bone quality*. Spine (Phila Pa 1976), 2006. **31**(19 Suppl): p. S144-51.
62. Carrier, C.S., C.M. Bono, and D.R. Lebl, *Evidence-based analysis of adjacent segment degeneration and disease after ACDF: a systematic review*. Spine J, 2013. **13**(10): p. 1370-8.
63. Yamagata, T., et al., *Outcomes of contemporary use of rectangular titanium stand-alone cages in anterior cervical discectomy and fusion: cage subsidence and cervical alignment*. J Clin Neurosci, 2012. **19**(12): p. 1673-8.
64. Kao, T.H., et al., *Risk factors for subsidence in anterior cervical fusion with stand-alone polyetheretherketone (PEEK) cages: a review of 82 cases and 182 levels*. Arch Orthop Trauma Surg, 2014. **134**(10): p. 1343-51.
65. Zajonz, D., et al., *Is the radiographic subsidence of stand-alone cages associated with adverse clinical outcomes after cervical spine fusion? An observational cohort study with 2-year follow-up outcome scoring*. Patient Saf Surg, 2014. **8**(1): p. 43.
66. Park, Y., et al., *Comparison of anterior cervical fusion after two-level discectomy or single-level corpectomy: sagittal alignment, cervical lordosis, graft collapse, and adjacent-level ossification*. Spine J, 2010. **10**(3): p. 193-9.
67. Fairbank, J.C. and P.B. Pynsent, *The Oswestry Disability Index*. Spine (Phila Pa 1976), 2000. **25**(22): p. 2940-52; discussion 2952.
68. Ylinen, J. and J. Ruuska, *Clinical use of neck isometric strength measurement in rehabilitation*. Arch Phys Med Rehabil, 1994. **75**(4): p. 465-9.
69. Mannion, A.F., et al., *Development of a German version of the Oswestry Disability Index. Part 1: cross-cultural adaptation, reliability, and validity*. Eur Spine J, 2006. **15**(1): p. 55-65.
70. Mannion, A.F., et al., *Development of a German version of the Oswestry Disability Index. Part 2: sensitivity to change after spinal surgery*. Eur Spine J, 2006. **15**(1): p. 66-73.
71. Marsh-Richard, D.M., et al., *Adaptive Visual Analog Scales (AVAS): A Modifiable Software Program for the Creation, Administration, and Scoring of Visual Analog Scales*. Behavior research methods, 2009. **41**(1): p. 99-106.
72. Hawker, G.A., et al., *Measures of adult pain: Visual Analog Scale for Pain (VAS Pain), Numeric Rating Scale for Pain (NRS Pain), McGill Pain Questionnaire (MPQ), Short-Form McGill Pain Questionnaire (SF-MPQ), Chronic Pain Grade Scale (CPGS), Short Form-36 Bodily Pain Scale (SF-36 BPS), and Measure of Intermittent and Constant Osteoarthritis Pain (ICOAP)*. Arthritis Care Res (Hoboken), 2011. **63 Suppl 11**: p. S240-52.
73. Harrison, D.E., et al., *Cobb method or Harrison posterior tangent method: which to choose for lateral cervical radiographic analysis*. Spine (Phila Pa 1976), 2000. **25**(16): p. 2072-8.
74. *World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects*. J Am Coll Dent, 2014. **81**(3): p. 14-8.
75. Tracy, J.A. and J.D. Bartleson, *Cervical spondylotic myelopathy*. Neurologist, 2010. **16**(3): p. 176-87.
76. Prasarn, M.L., et al., *Adjacent-level biomechanics after single versus multilevel cervical spine fusion*. J Neurosurg Spine, 2012. **16**(2): p. 172-7.

77. Li, J., et al., *Comparison of Clinical Outcomes after Anterior Cervical Discectomy and Fusion versus Cervical Total Disc Replacement in Patients with Modic-2 Changes on MRI*. J Spinal Disord Tech, 2014.
78. Park, J., J.J. Shin, and J. Lim, *Biomechanical analysis of disc pressure and facet contact force after simulated two-level cervical surgeries (fusion and arthroplasty) and hybrid surgery*. World Neurosurg, 2014. **82**(6): p. 1388-93.
79. Qureshi, S.A., et al., *Cost-effectiveness analysis: comparing single-level cervical disc replacement and single-level anterior cervical discectomy and fusion: clinical article*. J Neurosurg Spine, 2013. **19**(5): p. 546-54.
80. Burneikiene, S., et al., *The duration of symptoms and clinical outcomes in patients undergoing anterior cervical discectomy and fusion for degenerative disc disease and radiculopathy*. Spine J, 2014.
81. Pumberger, M., et al., *Clinical predictors of surgical outcome in cervical spondylotic myelopathy: an analysis of 248 patients*. Bone Joint J, 2013. **95-b**(7): p. 966-71.
82. Alvin, M.D. and T.E. Mroz, *The Mobi-C cervical disc for one-level and two-level cervical disc replacement: a review of the literature*. Med Devices (Auckl), 2014. **7**: p. 397-403.
83. Xing, D., et al., *A meta-analysis of cervical arthroplasty compared to anterior cervical discectomy and fusion for single-level cervical disc disease*. J Clin Neurosci, 2013. **20**(7): p. 970-8.
84. Steinmetz, M.P., et al., *Cervical disc arthroplasty compared with fusion in a workers' compensation population*. Neurosurgery, 2008. **63**(4): p. 741-7; discussion 747.
85. Moatz, B. and P.J. Tortolani, *Cervical disc arthroplasty: Pros and cons*. Surg Neurol Int, 2012. **3**(Suppl 3): p. S216-24.
86. Rollinghoff, M., et al., *Quality of life and radiological outcome after cervical cage fusion and cervical disc arthroplasty*. Acta Orthop Belg, 2012. **78**(3): p. 369-75.
87. Wenger, M., et al., *Bryan cervical disc prostheses: preservation of function over time*. J Clin Neurosci, 2009. **16**(2): p. 220-5.
88. Heary, R.F., et al., *Solid radiographic fusion with a nonconstrained device 5 years after cervical arthroplasty*. J Neurosurg Spine, 2014. **21**(6): p. 951-5.
89. Klingler, J.H., et al., *PEEK cages versus PMMA spacers in anterior cervical discectomy: comparison of fusion, subsidence, sagittal alignment, and clinical outcome with a minimum 1-year follow-up*. ScientificWorldJournal, 2014. **2014**: p. 398396.
90. Korinth, M.C., *Treatment of cervical degenerative disc disease - current status and trends*. Zentralbl Neurochir, 2008. **69**(3): p. 113-24.
91. Tracey, R.W., et al., *Outcomes of single-level cervical disc arthroplasty versus anterior cervical discectomy and fusion*. J Clin Neurosci, 2014. **21**(11): p. 1905-8.
92. Wu, W.J., et al., *Cage subsidence does not, but cervical lordosis improvement does affect the long-term results of anterior cervical fusion with stand-alone cage for degenerative cervical disc disease: a retrospective study*. Eur Spine J, 2012. **21**(7): p. 1374-82.
93. Lee, Y.S., Y.B. Kim, and S.W. Park, *Risk factors for postoperative subsidence of single-level anterior cervical discectomy and fusion: the significance of the preoperative cervical alignment*. Spine (Phila Pa 1976), 2014. **39**(16): p. 1280-7.
94. Dufour, T., et al., *Radiological analysis of 37 segments in cervical spine implanted with a peek stand-alone device, with at least one year follow-up*. Br J Neurosurg, 2010. **24**(6): p. 633-40.
95. Park, J.I., et al., *Anterior cervical discectomy and fusion using a stand-alone polyetheretherketone cage packed with local autobone : assessment of bone fusion and subsidence*. J Korean Neurosurg Soc, 2013. **54**(3): p. 189-93.
96. Burkhardt, J.K., et al., *A comparative effectiveness study of patient-rated and radiographic outcome after 2 types of decompression with fusion for spondylotic*

- myelopathy: anterior cervical discectomy versus corpectomy.* Neurosurg Focus, 2013. **35**(1): p. E4.
97. Lee, H.S., J.H. Lee, and J.H. Lee, *A comparison of dynamic views using plain radiographs and thin-section three-dimensional computed tomography in the evaluation of fusion after posterior lumbar interbody fusion surgery.* Spine J, 2013. **13**(10): p. 1200-7.
  98. Luszczuk, M., et al., *Does smoking have an impact on fusion rate in single-level anterior cervical discectomy and fusion with allograft and rigid plate fixation? Clinical article.* J Neurosurg Spine, 2013. **19**(5): p. 527-31.
  99. Park, D.K., et al., *Do CT Scans Overestimate the Fusion Rate After Anterior Cervical Discectomy and Fusion?* J Spinal Disord Tech, 2013.
  100. Lin, H.L., et al., *Change of cervical balance following single to multi-level interbody fusion with cage.* Br J Neurosurg, 2008. **22**(6): p. 758-63.
  101. Thome, C., et al., *A prospective randomized comparison of rectangular titanium cage fusion and iliac crest autograft fusion in patients undergoing anterior cervical discectomy.* J Neurosurg Spine, 2006. **4**(1): p. 1-9.
  102. Yue, W.M., W. Brodner, and T.R. Highland, *Long-term results after anterior cervical discectomy and fusion with allograft and plating: a 5- to 11-year radiologic and clinical follow-up study.* Spine (Phila Pa 1976), 2005. **30**(19): p. 2138-44.
  103. Gu, Y., et al., *Use of an integrated anterior cervical plate and cage device (PCB) in cervical anterior fusion.* J Clin Neurosci, 2009. **16**(11): p. 1443-8.
  104. Dai, L.Y. and L.S. Jiang, *Anterior cervical fusion with interbody cage containing beta-tricalcium phosphate augmented with plate fixation: a prospective randomized study with 2-year follow-up.* Eur Spine J, 2008. **17**(5): p. 698-705.
  105. Balabhadra, R.S., D.H. Kim, and H.Y. Zhang, *Anterior cervical fusion using dense cancellous allografts and dynamic plating.* Neurosurgery, 2004. **54**(6): p. 1405-11; discussion 1411-2.
  106. Barsa, P. and P. Suchomel, *Factors affecting sagittal malalignment due to cage subsidence in standalone cage assisted anterior cervical fusion.* Eur Spine J, 2007. **16**(9): p. 1395-400.
  107. Yoo, M., et al., *Comparison between Two Different Cervical Interbody Fusion Cages in One Level Stand-alone ACDF: Carbon Fiber Composite Frame Cage Versus Polyetheretherketone Cage.* Korean J Spine, 2014. **11**(3): p. 127-35.

## **8 Anhang**

1. Oswestry Disability Index
2. Auswertungsbogen

## 8.1 Oswestry-Score nach Fairbank et al.

Bitte kreuzen Sie jeweils nur eine Antwort an. Die Angaben beziehen sich auf Ihre heutige Situation. Wenn keine Antwort zutrifft, markieren Sie bitte die am meisten zutreffende Antwort.

### 1. Schmerzintensität

- Ich kann meinen Schmerz ertragen, ohne Schmerzmittel zu nehmen
- Der Schmerz ist heftig, aber ich komme ohne Schmerzmittel zurecht
- Schmerzmittel machen mich völlig schmerzfrei
- Schmerzmittel führen zu einer mäßigen Besserung des Schmerzes
- Schmerzmittel führen zu einer geringen Besserung des Schmerzes
- Schmerzmittel haben keinen Einfluss auf meinen Schmerz und ich nehme sie nicht

### 2. Persönliche Pflege (waschen, anziehen,...)

- Ich kann mich normal um mich selbst kümmern, ohne das dadurch Schmerzen ausgelöst werden
- Ich kann mich normal um mich selbst kümmern, aber es bereitet mir zusätzliche Schmerzen
- Es bereitet mir Schmerzen und ich bin langsam und vorsichtig
- Ich benötige ein wenig Hilfe, aber das meiste schaffe ich schon
- Ich brauche jeden Tag Hilfe in allen Belangen der Selbstpflege
- Ich kann mich nicht anziehen, nur mühsam waschen und bleibe im Bett

### 3. Heben/Tragen

- Ich kann schwere Sachen ohne zusätzliche Schmerzen heben
- Ich kann schwere Sachen heben, aber es verursacht zusätzliche Schmerzen
- Schmerzen hindern mich daran, schwere Sachen vom Boden zu heben, aber ich schaffe es, wenn sie günstig liegen z.B. auf Tischen
- Schmerzen hindern mich, schwere Sachen zu heben, aber ich schaffe es leichte bis mittelschwere zu heben, wenn sie günstig liegen
- Ich kann nur sehr leichte Sachen heben
- Ich kann nichts heben oder tragen

### 4. Gehen

- Schmerzen hindern mich nicht, ich kann unbegrenzt gehen
- Schmerzen hindern mich daran mehr als 1.600 m zu gehen
- Schmerzen hindern mich daran mehr als 800 m zu gehen
- Schmerzen hindern mich daran mehr als 400 m zu gehen
- Ich kann nur mit Gehstock oder Krücke gehen
- Ich liege die meiste Zeit im Bett und muss mich zur Toilette schleppen

### 5. Sitzen

- Ich kann in jedem Stuhl sitzen, so lange ich will
- Ich kann nur in meinem Lieblingsstuhl sitzen, so lange ich will
- Die Schmerzen hindern mich daran, länger als 1 Std. zu sitzen
- Die Schmerzen hindern mich daran, länger als 1/2 Std. zu sitzen
- Die Schmerzen hindern mich daran, länger als 10 min zu sitzen
- Die Schmerzen hindern mich daran, überhaupt zu sitzen

**Fortsetzung auf der Rückseite!**

6. **Stehen**

- Ich kann so lange stehen wie ich will, ohne zusätzliche Schmerzen
- Ich kann so lange stehen wie ich will, aber ich habe dabei zusätzliche Schmerzen
- Die Schmerzen hindern mich daran, länger als 1 Std. zu stehen
- Die Schmerzen hindern mich daran, länger als 1/2 Std. zu stehen
- Die Schmerzen hindern mich daran, länger als 10 min zu stehen
- Die Schmerzen hindern mich daran, überhaupt zu stehen

7. **Schlafen**

- Die Schmerzen hindern mich nicht, gut zu schlafen
- Ich schlafe nur gut, wenn ich Tabletten einnehme
- Auch wenn ich Tabletten einnehme, schlafe ich weniger als 6 Std.
- Auch wenn ich Tabletten einnehme, schlafe ich weniger als 4 Std.
- Auch wenn ich Tabletten einnehme, schlafe ich weniger als 2 Std.
- Ich kann aufgrund der Schmerzen überhaupt nicht schlafen

8. **Geschlechtsleben**

- Mein Geschlechtsleben ist normal, es verursacht keine zusätzlichen Schmerzen
- Mein Geschlechtsleben ist normal, verursacht aber zusätzliche Schmerzen
- Mein Geschlechtsleben ist annähernd normal, aber es ist sehr schmerzhaft
- Mein Geschlechtsleben ist stark eingeschränkt durch den Schmerz
- Ich habe nahezu kein Geschlechtsleben wegen der Schmerzen
- Die Schmerzen verhindern jegliches Geschlechtsleben

9. **Soziales Leben (gesellschaftliche Aktivitäten)**

- Mein soziales Leben ist normal und verursacht keinen zusätzlichen Schmerz
- Mein soziales Leben ist normal, aber verstärkt den Schmerz
- Schmerz hat keine wesentlichen Auswirkungen auf mein soziales Leben, abgesehen davon, dass er die anstrengenden Interessen wie z.B. Tanzen etc. einschränkt
- Die Schmerzen haben mein soziales Leben eingeschränkt, ich gehe seltener aus
- Die Schmerzen haben mein soziales Leben auf mein zu Hause reduziert
- Aufgrund der Schmerzen habe ich kein soziales Leben mehr

10. **Reisen**

- Ich kann überall hin Reisen, ohne zusätzliche Schmerzen
- Ich kann überall hin Reisen, aber es bereitet mir zusätzliche Schmerzen
- Die Schmerzen sind schlimm, aber ich schaffe einen Ausflug von mehr als 2 Stunden
- Die Schmerzen hindern mich an Strecken über 1 Std.
- Die Schmerzen hindern mich an kurzen Strecken unter einer 1/2 Std.
- Die Schmerzen hindern mich an jeglichen Fahrten, Ausnahme zum Arzt oder ins Krankenhaus

**Untersuchungszeitpunkt**

Aufnahme O Entlassung O 3 Monate O 6 Monate O 12 Monate O

Gesamtscore:

Beurteilte Fragen:

Prozentscore:

## 8.2 Auswertungsbogen

OP-Datum: \_\_\_\_\_

U-Datum: \_\_\_\_\_

Untersucher Name: \_\_\_\_\_

Patientendaten

Vor-OP:  Datum: \_\_\_\_\_

Versorgungstyp: Cage/Cage  Cage/Prothese  Prothese/Prothese   
Multilevel

Implantat: [1] \_\_\_\_\_ [2] \_\_\_\_\_ [3] \_\_\_\_\_

Level: \_\_\_\_\_

Nachuntersuchung (gerundet) 3  6  12  24  oder \_\_\_\_\_ Monate nach OP

Myelopathie: ja  / nein

VAS (1-10)			Nacken	Arm	Kopf
	Prä-OP	Ruhe			
		Belastung			
	Post OP	Ruhe			
		Belastung			

### Schmerzmittel

Häufigkeit: \_\_\_\_\_ Dauermedikation  / bei Bedarf

NSA: \_\_\_\_\_

Opioid: \_\_\_\_\_

Antikonvulsivum: \_\_\_\_\_

Antidepressivum: \_\_\_\_\_

### Beruf:

AU prä OP in Wochen: \_\_\_\_\_

AU post OP in Wochen: \_\_\_\_\_ Weiterhin AU ja  / nein

Wiedereingliederung in Beruf: ja  / nein

Rentenverfahren: Prä OP ja  / nein  Post OP ja  /nein

### Relevante Nebendiagnosen:

### Neurostatus:

Beschwerdefrei: ja  / nein

Paresen/Atrophie: ja  / nein

Befund: \_\_\_\_\_

Hypästhesie/Dysästhesie: ja  / nein

Befund: \_\_\_\_\_

Schluckbeschwerden o. Dysphonie: ja  / nein

**Zufriedenheit:** sehr zufrieden ; zufrieden ; etwas unzufrieden ; unzufrieden ; sehr unzufrieden

OP nochmals: ja  / nein

**Post-OP Röntgenbefund:** regelrecht  **Befund:** \_\_\_\_\_

Implantateinbruch  ; Materialdislokation: ja  / nein ; Wirbelfraktur ; Kyphose: ja  / nein

### Besonderheiten/Komplikationen:

Infektion  ; Operative Revision

## **9 Eidesstattliche Versicherung**

Ich versichere an Eides statt, dass die Dissertation selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erstellt und die hier vorgelegte Dissertation nicht von einer anderen medizinischen Fakultät abgelehnt worden ist.

Hamburg, den 05.01.2016,

---

Klaus Christian Mende