

# TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

## Fakultät für Medizin

### **Radiologische Beurteilung der zervikalen subaxialen Fusion, Alignment und Sinterung: Eine Vergleichsanalyse verschiedener Messmethoden**

Lorenz Ernst Kogler

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Medizin genehmigten Dissertation.

Vorsitz: Prof. Dr. Jürgen Schlegel

Prüfer der Dissertation:

1. apl. Prof. Dr. Jens Lehmborg
2. apl. Prof. Dr. Jan St. Kirschke

Die Dissertation wurde am 30.03.2021 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 10.08.2021 angenommen.



## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Einleitung.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Methodik .....</b>	<b>8</b>
2.1. Patientenkollektiv .....	8
2.2. Operationsmethode .....	9
2.3. Radiologische Messungen .....	10
2.3.1. Aufnahmetechnik und Auswertung .....	10
2.3.2. Alignmentmessungen .....	10
2.3.3. Fusionsmessungen .....	13
2.3.4. Sinterungsmessungen.....	16
2.4. Interpretation der Messwerte.....	18
2.4.1. Alignmentbewertung.....	18
2.4.2. Fusionsbewertung.....	18
2.4.3. Sinterungsbewertung .....	19
2.5. Klinische Datenerhebung .....	19
2.6. Datenverwaltung und Statistik.....	19
<b>3. Ergebnisse .....</b>	<b>20</b>
3.1. Alignment.....	20
3.1.1. Verwertbarkeit der Aufnahmen .....	20
3.1.2. Deskriptive Übersicht der Messdaten.....	20
3.1.3. Ergebnisse des Kontrolltermins.....	21
3.1.3.1. Alignmentbewertungen des Kontrolltermins.....	21
3.1.3.2. Fallbezogene Übereinstimmung der Alignmentbewertungen .....	22
3.1.3.3. Zusammenhang zwischen den Alignmentbewertungen und dem Ausmaß der Nackenschmerzen .....	22
3.1.4. Veränderung des Alignments im postoperativen Verlauf .....	23
3.1.4.1. Deskriptive Daten der gemessenen Alignment-Veränderungen.....	23
3.1.4.2. Fallbezogene Übereinstimmung in der Bewertung der Alignment-entwicklung.....	24
3.1.4.5. Zusammenhang zwischen den Stellungsveränderungen und der Entwicklung der Nackenschmerzen .....	24
3.2. Fusion.....	27
3.2.1. Verwertbarkeit der Aufnahmen .....	27
3.2.2. Deskriptive Übersicht der Messergebnisse .....	27
3.2.3. Fallbezogene Übereinstimmung der Fusionsbewertungen .....	29

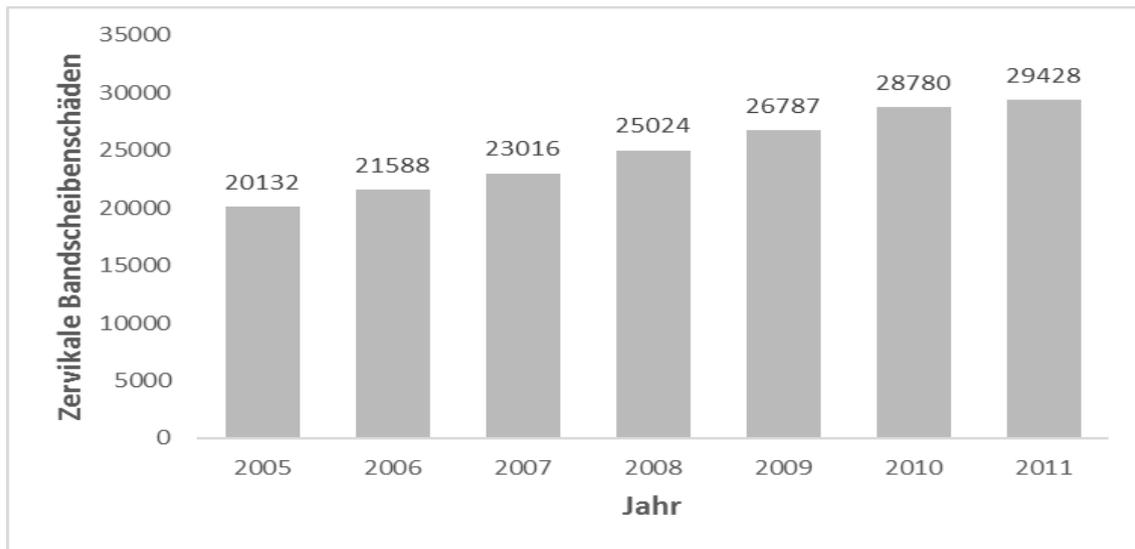
3.2.4. Zusammenhang zwischen den Fusionsbewertungen und dem Ausmaß der Nackenschmerzen .....	30
3.2.5. Zusammenhang zwischen Fusionsbewertung und dem Verlauf der Nackenschmerzen ....	31
<b>3.3. Sinterung .....</b>	<b>35</b>
3.3.1. Verwertbarkeit der Aufnahmen .....	35
3.3.2. Deskriptive Übersicht der Messergebnisse .....	35
3.3.3. Fallbezogene Übereinstimmung der Sinterungsbewertungen.....	36
3.3.4. Zusammenhang zwischen den Sinterungsbewertungen und dem Ausmaß der Nackenschmerzen .....	37
3.3.5. Zusammenhang zwischen den Sinterungsbewertungen und dem Verlauf der Nackenschmerzen .....	37
<b>3.4. Klinische Ergebnisse .....</b>	<b>40</b>
<b>4. Diskussion.....</b>	<b>41</b>
4.1. Alignment .....	41
4.2. Fusion.....	44
4.3. Sinterung .....	50
<b>5. Zusammenfassung .....</b>	<b>53</b>
<b>6. Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>54</b>
<b>7. Literaturverzeichnis.....</b>	<b>55</b>
<b>8. Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>59</b>
<b>9. Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>60</b>
<b>10. Danksagung .....</b>	<b>61</b>

## 1. Einleitung

Rückenschmerzen sind eine Volkskrankheit. Bei Erstvorstellung in Allgemein- arztpraxen werden in 10% der Fälle Rückenschmerzen als Konsultationsgrund angegeben. In orthopädischen Praxen sind dies sogar 50% der Fälle (Krämer (2014). Die Betroffenen leiden unter einem erheblichen Verlust an Lebensqualität und auch die wirtschaftlichen Folgen sind beträchtlich. Wirbelsäulenprobleme sind die häufigste Ursache von Krankschreibung und Frühberentung in Deutschland (Raspe, 2012). Die verursachten volkswirtschaftlichen Kosten werden auf 17 Milliarden Euro jährlich geschätzt. Dabei entstehen 70% der Kosten indirekt als Folge von Produktivitätsverlust. (Bolten, Kempel-Waibel, & Pforringer, 1998)

Für den Laien werden Rückenschmerzen meist mit Schmerzen im Bereich der Lendenwirbelsäule gleichgesetzt. Nackenschmerzen werden mit ihrem kleineren Anteil jedoch dazugerechnet. Ursächlich spielen degenerative Prozesse der Hals- (HWS) und der Lendenwirbelsäule (LWS) die wichtigste Rolle. Ubiquitäre Degenerationsprozesse der HWS lassen sich bei 95% der über 70-Jährigen feststellen, wobei Diskopathien und/oder Spondylosen am häufigsten zu beobachten sind (Börm, 2009; Fejer, Kyvik, & Hartvigsen, 2006). Etwa ein Drittel aller Bandscheibenvorfälle betrifft die Halswirbelsäule (Börm, 2009; Krämer, 2014). Deren Fallzahl steigt im Zuge der alternden Gesellschaft weiter an. Im Jahr 2011 wurde in deutschen Krankenhäusern bei 29428 Patienten eine zervikale Bandscheiben-schädigung diagnostiziert, was eine Zunahme von 9296 Fällen gegenüber dem Jahr 2005 bedeutet (Statistisches Bundesamt, 2014). Abbildung 1 verdeutlicht diese Ent-wicklung.

Abbildung 1: Anzahl diagnostizierter zervikaler Bandscheibenschäden in den Jahren 2005-2011 in deutschen Krankenhäusern (Statistisches Bundesamt, 2014)



Diese zervikalen Bandscheibenschäden stehen am Ende einer degenerativen Kaskade, welche meist die Kompression benachbarter Nervenstrukturen zur Folge hat. Je nach beeinträchtigter Struktur und dadurch entstehenden Symptomatik wird zwischen Myelopathien und Radikulopathien unterschieden. Bei konservativer Therapieresistenz kann das Fortschreiten dieser Krankheitsbilder durch eine Spondylodese operativ behandelt werden. Die anteriore zervikale Diskektomie und Fusion (ACDF), erstmals im Jahre 1958 von Smith und Robinson sowie Cloward beschrieben, gilt dafür als effektivste operative Methode und ist mittlerweile zum Routineeingriff geworden (Cloward, 1958; Smith & Robinson, 1958). Eine Umfrage im Auftrag der deutschen Gesellschaft für Neurochirurgie ergab, dass bereits 2001 in den 100 teilnehmenden Kliniken 8608 Patienten mit einer ACDF versorgt wurden (Schroder & Wassmann, 2001). Bei dieser Operationstechnik wird medial des Musculus Sternocleidomastoideus weitestgehend stumpf bis zur HWS präpariert. Die entsprechende Bandscheibe wird ausgeräumt, die Deckplatten entknorpelt und angefrischt, sowie störende Osteophyten abgetragen (Smith & Robinson, 1958). Als intervertebrale Platzhalter wurden von Cloward Knochenspäne vom Beckenkamm verwendet. Das Ziel dabei ist, die beiden Wirbel des betroffenen Segments durch knöcherne Überbrückung stabil zu verbinden bzw. zu fusionieren und somit eine therapeutisch sinnvolle Höhe des Intervertebralraums zur Dekompression der Nerven sicherzustellen. Zwar wurden damit gute Fusionsraten erreicht, an der Entnahmestelle führte dieses Vorgehen jedoch immer wieder zu Komplikationen (Cloward, 1958; Hacker, 2000; Silber et al., 2003).

Seither wurden verschiedene Systeme entwickelt, welche den Knochenspan der ursprünglichen Fusionsmethode ersetzen sollen. Bagby et al. stellte als erster einen Platzhalter aus Metall vor, welcher gitterförmig konstruiert ist und „Cage“ genannt wird.(Bagby, 1988) Diese Cages werden heute aus unterschiedlichen Materialien hergestellt. Polyetheretherketon (PEEK) und Titan sind dabei die am häufigsten verwendeten. Einige Operateure füllen die Cages zudem mit demineralisierter Knochenmatrix (DBM = demineralized bone matrix), wovon sie sich eine osteokonduktive Wirkung versprechen.

Über die Vor- und Nachteile sowie die klinischen Ergebnisse dieser verschiedenen Vorgehensweisen und Materialien werden laufend wissenschaftliche Arbeiten veröffentlicht. Diese Arbeiten orientieren sich neben den klinischen Resultaten auch an radiologischer Bildgebung, um den Erfolg der Eingriffe zu evaluieren. Die radiologische Kontrolle mittels konventioneller Röntgenaufnahmen ist weltweit gängige Routine. Am Klinikum Rechts der Isar werden routinemäßig am ersten Tag nach OP sowie nach 12-24 Monaten Röntgenaufnahmen der HWS angefertigt. Diese beinhalten seitlichen Aufnahmen in Neutral-Null-Stellung, sowie Funktionsaufnahmen in Inklinations- und Reklinationsstellung. Die Funktionsaufnahmen erlauben Rückschlüsse auf den Fusionsstatus der Spondylodese, indem eventuelle Stellungsveränderungen der vermeintlich miteinander fusionierten Wirbelkörper detektiert werden. Durch einen Vergleich der Röntgenaufnahmen in Neutral-Null-Stellung lässt sich ein Höhenverlust des operierten Segments oder eine Änderung der HWS-Stellung abmessen. In radiologischen Befunden wird der Höhenverlust bzw. das Einsacken eines Wirbelkörpers oder Implantats oft als „Sinterung“ oder „Subsidence“ (engl. Senkung) und die Wirbelsäulenstellung als „Alignment“ (engl. Ausrichtung) bezeichnet.

Vereinzelt wird in Studien zu ACDF auch eine Anschlussinstabilität der an die Spondylodese angrenzenden Segmente radiologisch bewertet. Anders als bei Alignment, Fusion und Sinterung kommen hier aber meist komplexere Knochendegenerations-Scores zur Anwendung, um indirekt auf eine Anschlussinstabilität zurückzuschließen. Oft werden die Röntgenaufnahmen auch durch einen erfahrenen Arzt, ganz ohne Anwendung spezifischer Messungen oder Scores, bewertet. Aus diesem Grund konnte die Bewertung der Anschlussinstabilität in dieser Arbeit, welche die Vergleichsanalyse verschiedener Messmethoden zum Ziel hat, nicht eingeschlossen werden.

Es existiert jedoch kein Goldstandard für die Messung und Bewertung der Parameter an konventionellen Röntgenbildern (Ames et al., 2013; Kaiser et al., 2009). Deshalb werden Fusion, Alignment und Sinterung in verschiedenen Studien mit unterschiedlichen Methoden gemessen und deren Ergebnisse unterschiedlich interpretiert. Das erschwert einen Vergleich dieser Studien erheblich. Zudem ist weiterhin nicht abschließend geklärt, ob diese Messungen Rückschlüsse auf die klinischen Ergebnisse der Operationen zulassen und damit überhaupt eine Notwendigkeit zur routinemäßigen Röntgenkontrolle besteht. Gegenstand dieser Arbeit ist daher, die Vergleichbarkeit der bislang angewandten Methoden zu untersuchen und durch eine Gegenüberstellung mit klinischen Daten zu prüfen, ob diese radiologischen Messungen ein klinisches Korrelat besitzen.

## **2. Methodik**

### **2.1. Patientenkollektiv**

Im Rahmen dieser Studie wurden Patienten gesichtet, welche sich im Zeitraum von 2007 bis 2010 in der neurochirurgischen Klinik des Universitätskrankenhauses rechts der Isar einer ACDF mittels PEEK-Cage an der HWS unterzogen haben. Alle diese Patienten waren volljährig und wiesen eine diagnostizierte Radikulopathie und/oder Myelopathie auf. Das Vorhandensein von Röntgenaufnahmen vom ersten postoperativen Tag war eine weitere Teilnahmevoraussetzung. Patienten, welche an mehr als zwei Segmenten oder an zwei nicht zusammenhängenden Segmenten operiert wurden, haben wir nicht berücksichtigt. Ausgeschlossen wurden alle Fälle, in denen es Anhaltspunkte für Infektion, Entzündung, Trauma, Fraktur, Voroperationen oder Tumoren im Bereich der HWS gab. Insgesamt erfüllten 218 Patienten alle Kriterien und konnten in die Studie aufgenommen werden. Im Verlauf wurden 10 Patienten auf Grund von unvollständigen oder qualitativ minderwertigen Röntgenaufnahmen ausgeschlossen.

Daraus ergab sich ein aus 208 Fällen bestehendes Patientenkollektiv. Darunter waren 101 Frauen (48,6%) und 107 Männer (51,4%). 123 (59,1%) waren monosegmental, 85 (51,4) bisegmental operiert worden. Die Patienten waren am Zeitpunkt der Operation zwischen 30 und 82 Jahre alt, mit einem Durchschnittsalter von 52,9 Jahren. Die Kontrolluntersuchungen fanden durchschnittlich nach 30 Monaten statt, wobei die

früheste Kontrolle nach 11 Monaten und die späteste nach 61 Monaten durchgeführt wurde. Eine deskriptive Übersicht des Patientenkollektivs bietet Tabelle 1.

Vor Beginn der Studie wurde ein entsprechender Ethikantrag eingereicht und von der Ethikkommission der TU München bewilligt.

Tabelle 1: Deskriptive Daten des Patientenkollektivs

Alter in Jahren	Geschlecht	Anzahl der beteiligten Segmente	Zeit bis Kontrolluntersuchung in Monaten	Cage mit DBM-Füllung	Cage ohne DBM-Füllung
52,87 (±11,29) Min. 30 Max. 82	♂: 107 (51,4%) ♀: 101 (48,6%)	1: 123 (59,1%) 2: 85 (51,4)	29,99 (±11,83) Min. 11 Max. 61	124 (59,6%)	84 (40,4%)

## 2.2. Operationsmethode

Die Spondylodese wurde bei allen Patienten als ACDF nach Cloward durchgeführt (Cloward, 1958). Nach Diskektomie wurde ein NUBIC® Cage (Signus Medizintechnik GmbH, Alzenau, Germany) aus PEEK eingesetzt. (siehe Abb.2) 125 Patienten (60%) bekamen einen Cage mit DBM-Füllung und 85 Patienten (40%) ohne.

Abbildung 2: NUBIC® Cage, SIGNUS Medizintechnik GmbH, "Data Sheet, Vertebral Body Fusion – simple and efficient" (Retrieved from [http://www.wlorenz.com.co/sites/default/files/documentos\\_producto/Catalogo-Nubic.pdf](http://www.wlorenz.com.co/sites/default/files/documentos_producto/Catalogo-Nubic.pdf), 12.01.2017)



## **2.3. Radiologische Messungen**

### **2.3.1. Aufnahmetechnik und Auswertung**

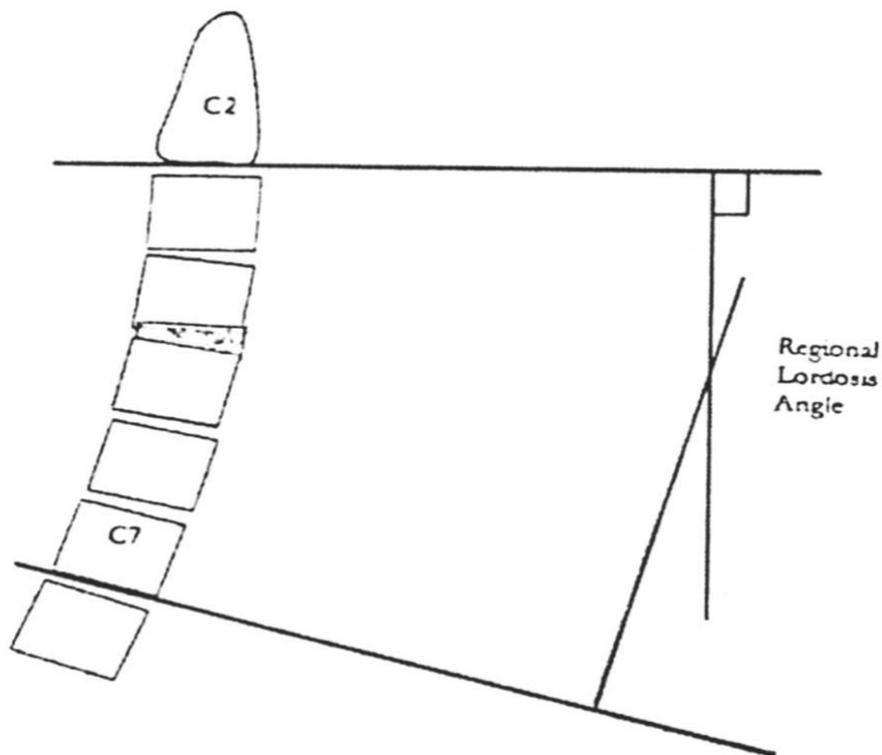
Zur radiologischen Beurteilung wurden von allen Patienten konventionelle Röntgenbilder aufgenommen. Am ersten Tag nach ACDF-Operation wurde eine HWS-Aufnahme von lateral in Neutral-Null-Position bzw. aufrechter Stellung erstellt. Am Tag der Kontrolluntersuchung („follow-up“) wurden diese wiederholt und durch Funktionsaufnahmen in Inklinations- und Reklinationsstellung von lateral ergänzt. Die Auswertung der Aufnahmen erfolgte mit dem Darstellungsprogramm Sectra Workstation IDS7, Version 18.1 vom Hersteller Sectra AB (Teknikringen20, SE-58330 Linköping). Zur Bewertung der Aufnahmen wurden die Patientendaten bezüglich des klinischen Verlaufs und der vorhandenen radiologischen Befunde verblindet. Die Auswertung erfolgte durch eine unabhängige Person, welche nicht an der Operation oder der nachfolgenden Behandlung beteiligt war.

### **2.3.2. Alignmentmessungen**

Als globales sagittales Alignment der HWS bezeichnet man die Ausrichtung der Wirbelkörper (WK) C2-C7 in der Sagittalebene. Synonym wird auch von zervikalem Lordosewinkel gesprochen. Um das Alignment zu objektivieren, wurden in dieser Studie Aufnahmen von lateral in aufrechter Stellung vom Tag nach der Operation und zum Zeitpunkt des Kontrolltermins herangezogen. Das zervikale Alignment wurde nach drei verschiedenen Methoden gemessen, welche im Folgenden beschrieben werden.

Der Cobb-Winkel des zervikalen Alignments wird bestimmt, indem eine Gerade deckungsgleich auf der Endplatte des oberen (C2) sowie des unteren Wirbelkörpers (C7) gezogen wird. Der eigentliche Winkel beschreibt dann den Schnittwinkel der Orthogonalen beider Geraden (Faldini et al., 2012). (s. Abb.3) Dieser Winkel wurde automatisch von unserem Bildbearbeitungsprogramm zwischen zwei gezogenen Geraden berechnet.

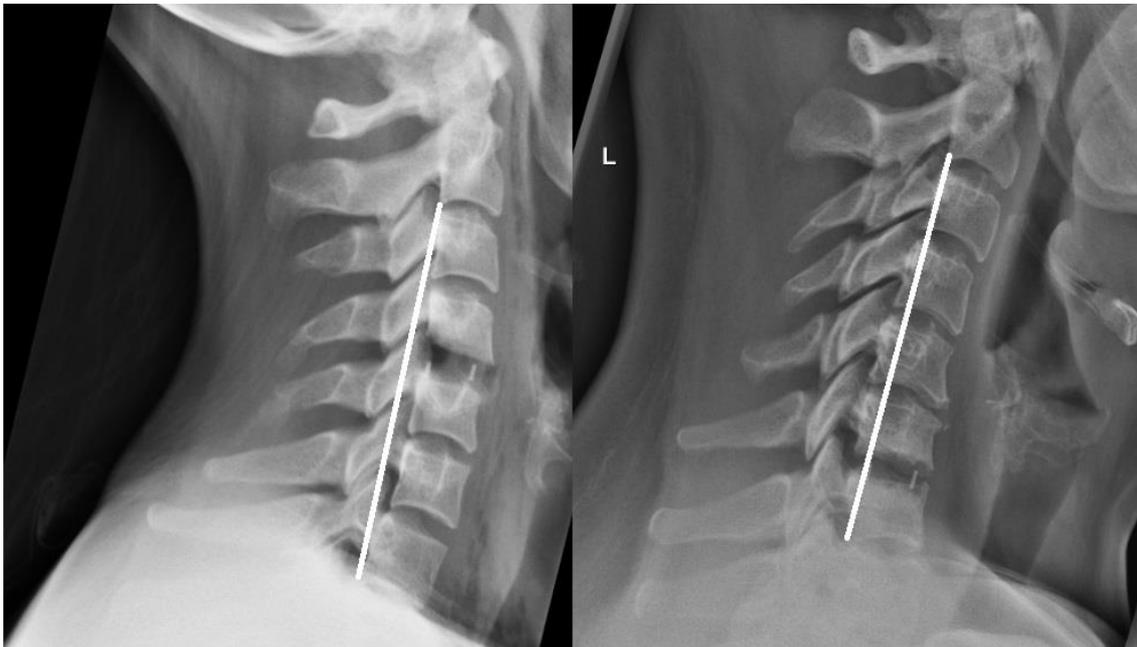
Abbildung 3: Darstellung der Alignmentmessung nach Cobb mittels Winkelmessung zwischen zwei Geraden, welche auf den Deckplatten des 2. und 7. Halswirbels gezogen werden (Shad, Leach, Teddy, & Cadoux-Hudson, 2005)





dieser Linie befinden, spricht man von Kyphose oder Lordose. (s. Abb.5) Schneiden nur einzelne Wirbelkörper diese Linie, wird dies als gestreckte Stellung bzw. „straight“ bezeichnet. (Laing, Ng, Seeley, & Hutchinson, 2001)

Abbildung 5: Lordose- und Kyphose-Stellung nach Laing in aufrechter Position (Eigene Darstellung)



### 2.3.3. Fusionsmessungen

Um den Fusionsstatus zu beurteilen, wurden segmentaler Cobb-Winkel und interspinale Abstände an den Dornfortsätzen gemessen. Diese Methoden haben gemeinsam, dass in den Funktionsaufnahmen Stellungsunterschiede der vermeintlich fusionierten Wirbelkörper in Beziehung zueinander gemessen werden. Dabei wird die selbe Messung an identischen Punkten der Wirbel in Inklinations- und Reklinationsaufnahme durchgeführt. Anhand des Vergleichs der beiden Messergebnisse lassen sich dann Rückschlüsse auf die Beweglichkeit beider Wirbel zueinander ziehen. Darüber hinaus wurde darauf geachtet, ob in den Kontrollaufnahmen eine vollständige Knochenbrücke zwischen den beteiligten Wirbelkörpern erkennbar war.

Der Cobb-Winkel zur Fusionsmessung wird ähnlich dem Alignment mittels Cobb-Methode gemessen. Im Unterschied zur Alignmentbestimmung werden hier jedoch Inklinations- und Reklinationsstellung verglichen und nur die Wirbelkörper des

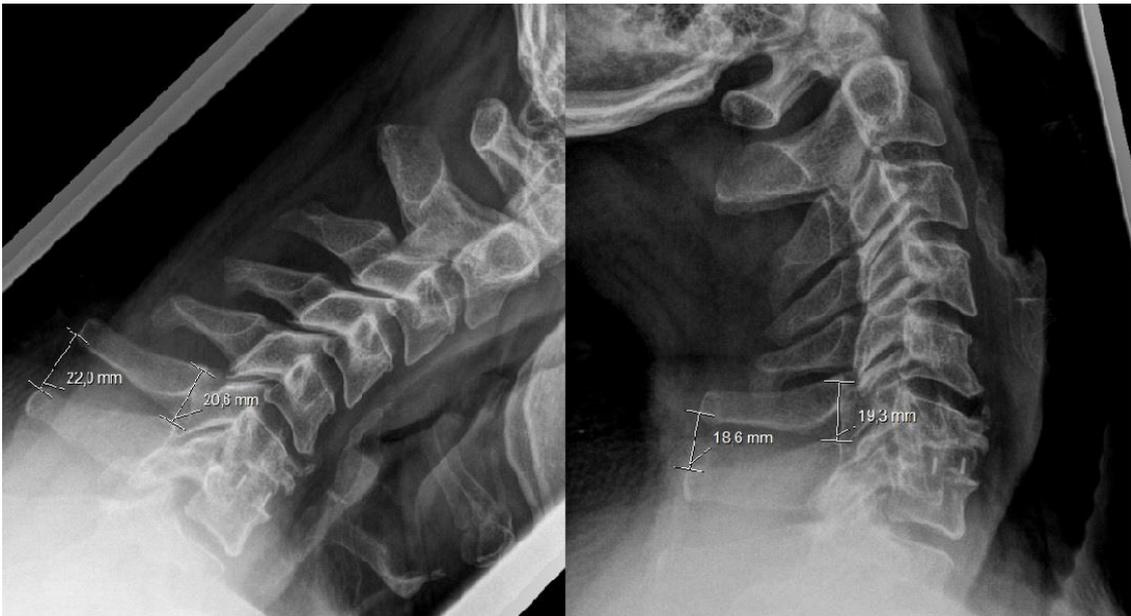
betroffenen Abschnittes einbezogen. (s. Abb.6) Je weniger sich dabei die beiden Messergebnisse unterscheiden, desto wahrscheinlicher ist das Vorhandensein einer Fusion.

Abbildung 6: Cobb-Winkelmessung zur Fusionsprüfung in Inklination (links) und Reklination (rechts). Aufnahmen des gleichen Patienten zum Zeitpunkt der späten Verlaufskontrolle (Eigene Darstellung)



Eine weitere Methode um die Beweglichkeit des operierten Segments zu bestimmen, ist die Messung interspinaler Abstände an identischen Punkten in Inklinations- und Reklinationsstellung. Ist das Segment nicht vollständig fusioniert, wäre ein größerer interspinaler Abstand in Inklination zu erwarten. Wir führten diese Messung zum einen an der Basis der Dornfortsätze („WK nah“), zum anderen an den Enden der Dornfortsätze („WK fern“) durch. (Abb.7)

Abbildung 7: Messung der interspinalen Abstände in Inklination links und Reklination (rechts) Aufnahmen des gleichen Patienten zum Zeitpunkt der späten Verlaufskontrolle (Eigene Darstellung)



Ebenfalls von uns berücksichtigt wurde die Anwesenheit bzw. Abwesenheit von kontinuierlichen Knochenbrücken in den Kontrollaufnahmen bzw. eine vollständige knöcherne Durchbauung des Implantats. (s. Abb.8) Das Vorhandensein einer solchen Brücke soll für das Vorliegen einer Fusion sprechen (Skolasky et al., 2006).

Abbildung 8: Bsp. für unvollständige (links) und vollständige (rechts) knöcherne Überbrückung (Eigene Darstellung)



### 2.3.4. Sinterungsmessungen

Um Sinterungsvorgänge des operierten Segments zu objektivieren, wurden die lateralen HWS-Aufnahmen vom ersten postoperativen Tag und dem Tag der Kontrolluntersuchung herangezogen. Ein Höhenunterschied des operierten Segments zwischen diesen Aufnahmen weist auf Sinterungsvorgänge hin. Dafür wurden an beiden Aufnahmen die ventrale und dorsale Segmenthöhe, sowie die Werte nach Mochida gemessen.

Die ventrale Segmenthöhe wurde von der Deckplatte des oberen WK bis zur Endplatte des unteren WK gemessen. Die Messung erfolgte dabei parallel zu den anterioren Wänden der WK. Die dorsale Segmenthöhe wurde auf gleiche Weise an den posterioren Wirbelgrenzen gemessen (Kim et al., 2016)

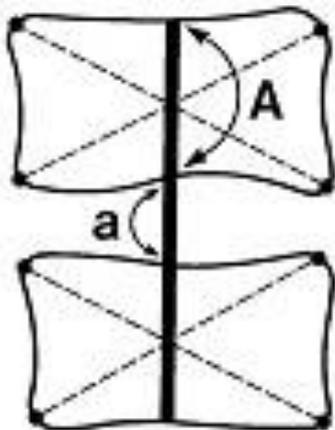
Abbildung 9: Dorsale und ventrale Segmenthöhenmessung mittels Geraden, welche von der Deckplatte des oberen Wirbels, bis zur Endplatte des unteren Wirbels gezogen werden (Eigene Darstellung)



Komplexer gestaltet sich die Messung nach der von Mochida beschriebenen Methode. Hierbei werden die Wirbelkörperpunkte diagonal verbunden, um einen reproduzierbaren zentralen Schnittpunkt zu erhalten. Durch diese Schnittpunkte wird eine Orientierungslinie gezogen, an welcher dann sowohl die Wirbelkörperhöhe (A) als auch die Bandscheibenhöhe (a) gemessen wird. (s. Abb. 10) Durch die Bildung des Quotienten  $A/a$  werden anschließend beide Werte zueinander in Beziehung gesetzt. Aus dem Quotienten der Ergebnisse des ersten postoperativen Tages und denen des Kontrolltermins, wird eine Differenz berechnet. Um einen Prozentwert zu erhalten, wird diese Differenz noch einmal durch den Quotienten der postoperativen Messung geteilt (Mochida, Toh, Nomura, & Nishimura, 2001). Die mathematische Formel lautet wie folgt:

$$-(a/A \text{ post OP} - a/A \text{ follow-up}) / (a/A \text{ post OP}) \times 100\%.$$

Abbildung 10: Schematische Darstellung der Messmethode nach Mochida mit entsprechender Formel zur Berechnung des prozentualen Sinterungs-Wertes (Mochida et al., 2001)



$$\frac{\Delta \frac{a}{A}}{\text{Pre} \frac{a}{A}}$$

## **2.4. Interpretation der Messwerte**

### **2.4.1. Alignmentbewertung**

Eine kyphotische oder steile Stellung galt als ungünstig, während eine Lordose als günstig angesehen wurde. Mit der Methode nach Lang wird direkt in diese Kategorien eingeteilt. Als „Kyphose/Steil“ wurden nach den Winkelmessungen alle Fälle bezeichnet, in denen ein kyphotischer Winkel oder 0 Grad gemessen wurden. Um den postoperativen Verlauf zu bewerten, wurden die Messwerte des Kontrolltermins mit denen des ersten postoperativen Tages verglichen, indem eine Differenz der beiden Messwerte berechnet wurde. (Messwert des Kontrolltermins – Messwert des postoperativen Tages) Anhand dessen wurde in zwei Kategorien eingeteilt. Hatte sich die Stellung der HWS in Richtung einer Kyphose entwickelt, wurde dies als „Verschlechterung“ bewertet. In diesem Fall besaß die Differenz ein negatives Vorzeichen, da Lordosewinkel in unseren Messungen mit positiven Vorzeichen und Kyphosewinkel mit negativen Vorzeichen versehen wurden. Als günstig galt eine stabile bzw. unveränderte Stellung, sowie eine Entwicklung in Richtung Lordose (Wu, Jiang, Liang, & Dai, 2012). Dies wird im Ergebnisteil als „Stabil/Verbesserung“ bezeichnet.

### **2.4.2. Fusionsbewertung**

Als Grundlage bei Winkel und Distanzmessungen dient immer der Betrag der Differenz aus Inklinations- und Reklinationsmessung. Eine Differenz der interspinalen Abstände von weniger als 2mm wurde als Fusion gewertet (Cannada, Scherping, Yoo, Jones, & Emery, 2003). Ein Unterschied von weniger als 2 Grad des Cobb-Winkels galt ebenfalls als Fusionszeichen. (Hisey et al., 2014). Da jedoch Studien existieren, welche eine Differenz von weniger als 4 Grad noch als Fusionszeichen ansahen, wurden in unserer Auswertung beide Interpretationen berücksichtigt (Upadhyaya et al., 2012). Weiter wurde die Anwesenheit von Knochenbrücken als Fusion und folglich deren Abwesenheit als unvollständige Fusion bzw. Pseudarthrose gewertet (Davis et al., 2013). Als Übersicht dieser Einordnungen dient Tabelle 2. Bisegmentale Versteifungen wurden als fusioniert betrachtet, wenn beide Segmente als fusioniert eingestuft werden konnten.

Tabelle 2: Fusionskriterien der jeweiligen Messmethoden

	<b>Interspinaler Abstand</b>	<b>Cobb-Winkel 2 °</b>	<b>Cobb-Winkel 4 °</b>	<b>Knochenbrücken</b>
<b>Fusion</b>	< 2mm	<2 °	< 4 °	Vollständige Überbrückung
<b>Pseudarthrose</b>	≥ 2mm	≥ 2 °	≥ 4 °	Unvollständige oder fehlende Knochenbrücken

### 2.4.3. Sinterungsbewertung

Sinterung wurde als Höhenverlust von mindestens einem der an der Spondylodese beteiligten Segmente, um mehr als 3mm in der ventralen Segmenthöhenmessung definiert. Gleiches galt nach dorsaler Höhenmessung (Gercek, Arlet, Delisle, & Marchesi, 2003; Kim et al., 2016). Ergebnisse der Mochida-Methode wurden zweifach bewertet, wobei von Sinterung ausgegangen wurde, wenn sich für mindestens ein Segment ein Höhenverlust von über 10% bzw. 20% ergab.

### 2.5. Klinische Datenerhebung

Die Patienten gaben ihre Nackenschmerzen anhand einer visuellen Analogskala (VAS) an. Diese wurden von den Patienten vor der Operation und am Tag des Kontrolltermins ausgefüllt.

### 2.6. Datenverwaltung und Statistik

Alle Daten wurden zunächst mit Microsoft Excel 2007 erfasst. Statistisch wurde mit IBM SPSS Statistics 23 ausgewertet. Grafiken und Tabellen wurden mit IBM SPSS Statistics 23 und Microsoft Word 2016 erstellt.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Alignment

##### 3.1.1. Verwertbarkeit der Aufnahmen

Mittels „Jackson physiological stress line method“ und Cobb-Winkel konnte ein Fall von 208 nicht abgemessen werden, da auf den Röntgenaufnahmen erforderliche Strukturen an C7 teilweise von Weichteilen überdeckt waren. Die Methode nach Laing war in allen Fällen anwendbar.

##### 3.1.2. Deskriptive Übersicht der Messdaten

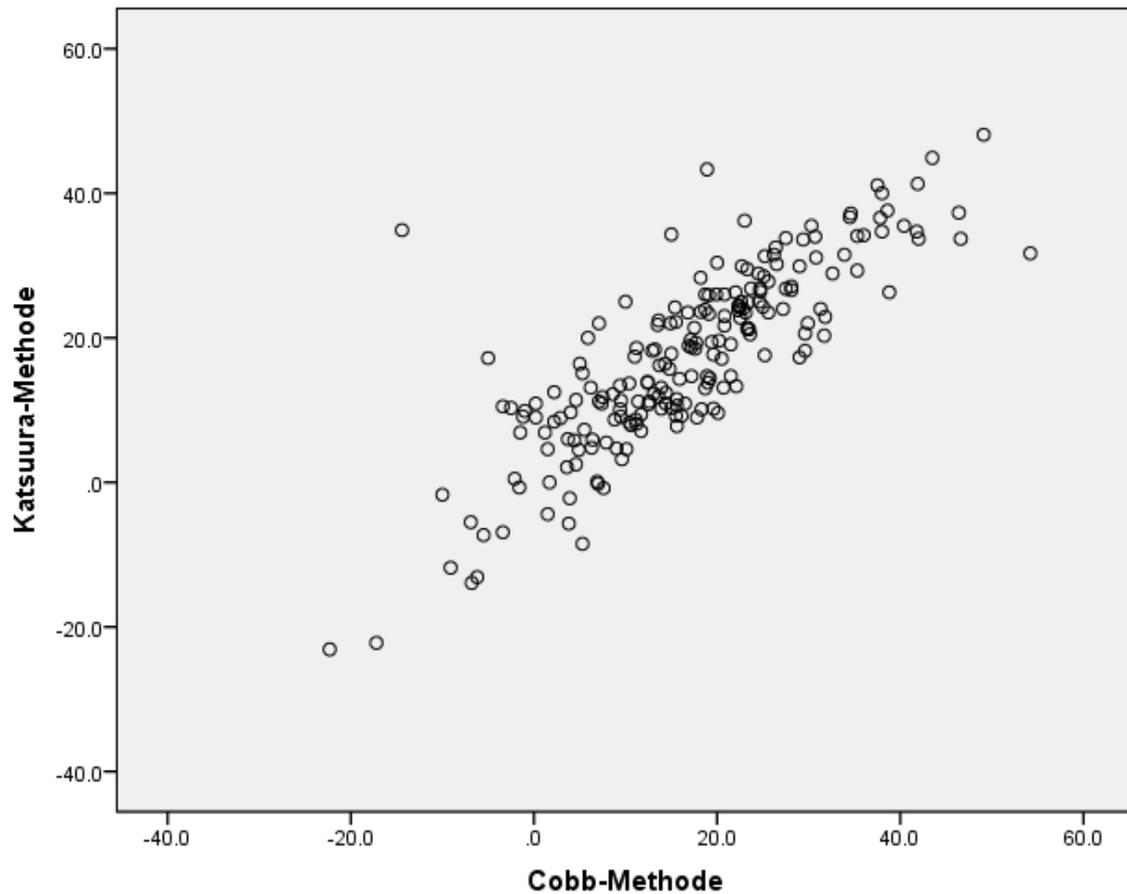
Die Mittelwerte der JPSSLM und Cobb-Winkelmessung unterschieden sich lediglich um  $1,03^\circ$  am Tag nach der OP und um  $0,72^\circ$  zum Zeitpunkt der Kontrolluntersuchung. (Tabelle 3)

Tabelle 3: Mittelwerte der gemessenen Alignmentwinkel

	<b>Post-OP</b>	<b>Kontrolluntersuchung</b>
<b>JPSSLM</b>	19,37° ( $\pm 12,64$ )	17,42° ( $\pm 12,45$ )
<b>Cobb</b>	18,73° ( $\pm 12,18$ )	16,70° ( $\pm 12,82$ )

Beide Methoden zeigten im Shapiro-Wilk-Test normalverteilte (JPSSLM:  $W=0.988$ ,  $p=.071$ ; Cobb  $W=0.987$ ,  $p=.935$ ) und lineare Ergebnisse der Kontrolluntersuchung. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson zeigte eine signifikante positive Korrelation zwischen JPSSLM- und Cobb-Methode am Tag nach OP ( $r= .856$ ,  $p < .0005$ ), wie auch zum Zeitpunkt des Kontrolltermins an. ( $r = .828$ ,  $p < .0005$ ) Dieser Zusammenhang kommt in Abbildung 12 mittels Scatterplot zur Darstellung.

Abbildung 11: Scatterplot der Messergebnisse des Kontrolltermins mittels JPSL(bzw. Katsuura)- und Cobb-Methode (Eigene Darstellung)



### 3.1.3. Ergebnisse des Kontrolltermins

#### 3.1.3.1. Alignmentbewertungen des Kontrolltermins

Tabelle 4 zeigt in prozentualen und absoluten Zahlen, wie die HWS-Stellung am Tag des Kontrolltermins von den jeweiligen Messmethoden gewertet wurde. Mittels Cobb und JPSL wurde eine nahezu gleiche Anzahl an Fällen als Kyphose/Steil oder Lordose eingeordnet, während Laing davon deutlich abweicht.

Tabelle 4: Bewertung des Alignments am Tag der Kontrolluntersuchung je nach Messmethode in absoluten Zahlen und prozentualen Anteilen

	<b>Kyphose/Steil</b>	<b>Lordose</b>
<b>JPSLM</b>	17/207 8,2%	190/207 91,8%
<b>Cobb</b>	18/207 8,7%	189/207 91,3%
<b>Laing</b>	79/208 38%	129/208 62%

### 3.1.3.2. Fallbezogene Übereinstimmung der Alignmentbewertungen

Cohens  $\kappa$  wurde berechnet um die fallbezogene Übereinstimmung der Stellungsbewertungen Kyphose/Steil oder Lordose zwischen den verschiedenen Methoden zu prüfen. Mittels JPSLM und Cobb-Methode wurden 92,7% der Fälle gleich bewertet. Zwischen JPSLM und Laing-Methode überschritten sich in 70% und zwischen Cobb und Laing 69,56% der Einordnungen. Wie Tabelle 6 zeigt, ergab sich moderate Übereinstimmung zwischen JPSSL- und Cobb-Methode. ( $\kappa=.532$ ) Mäßige Übereinstimmungen zeigten sich zwischen JPSLM und Laing ( $\kappa=.253$ ), sowie zwischen Cobb und Laing ( $\kappa=.243$ ). (siehe Tabelle 5)

Tabelle 5: Ergebnisse der Übereinstimmungsprüfung mittels Cohens Kappa

	<b>JPSLM</b>	<b>Cobb</b>	<b>Laing</b>
<b>JPSLM</b>		$\kappa=.532$ $p <.0005$	$\kappa=.253$ $p <.0005$
<b>Cobb</b>	$\kappa=.532$ $p <.0005$		$\kappa=.243$ $p <.0005$
<b>Laing</b>	$\kappa=.253$ $p <.0005$	$\kappa=.243$ $p <.0005$	

### 3.1.3.3. Zusammenhang zwischen den Alignmentbewertungen und dem Ausmaß der Nackenschmerzen

Um einen Zusammenhang zwischen der HWS-Stellung zum Zeitpunkt der Kontrolluntersuchung und dem Ausmaß der Nackenschmerzen zur gleichen Zeit zu

prüfen, wurde die lineare Regression angewandt. Dabei stellte das Ausmaß der Nackenschmerzen die abhängige Variable und die Alignmentbewertung zum Zeitpunkt der Kontrolluntersuchung die erklärende Variable dar. Der Regressionskoeffizient zeigt hier, ob bei einer Kyphose der HWS ein höheres oder niedrigeres Risiko besteht, höhere Werte auf der VAS-Nackenschmerz zu erzielen. Das R-Quadrat betrug 0,005. Das bedeutet, dass lediglich 0,5% der VAS-Werte durch die Stellungsbewertung vorausgesagt werden können. Bei keiner der Messmethoden konnte ein signifikanter Zusammenhang zu den Nackenschmerzen festgestellt werden. Die exakten Ergebnisse der linearen Regression können Tabelle 6 entnommen werden.

Tabelle 6: Ergebnisse der linearen Regression mit VAS-Nackenschmerz und den Stellungsbewertungen zum Zeitpunkt des Kontrolltermins.

	<b>Regressions- koeffizient</b>	<b>p-Wert</b>	<b>95% Konfidenzintervall</b>
<b>JPSLM</b>	0.499	0.555	-1.167 – 2.165
<b>Cobb</b>	-0.687	0.386	-2.247 – 0.872
<b>Laing</b>	0.011	0.980	-0.836 – 0.858

### **3.1.4. Veränderung des Alignments im postoperativen Verlauf**

#### **3.1.4.1. Deskriptive Daten der gemessenen Alignment-Veränderungen**

Die Mittelwerte der Differenzen (Winkel des Kontrolltermins - Winkels am Tag nach OP) unterschieden sich kaum zwischen den Winkelmessungen. Die Messung nach JPSLM bewertete 63,3%, die Messung nach Cobb 56,5% und die Laing-Methode 16,8% der Fälle als Stabil/Verbesserung (s. Tabelle 7).

Tabelle 7: Mittelwerte der Messdifferenzen und anteilmäßige Bewertung der Alignmententwicklung

	Mittelwerte der Messdifferenzen (Kontrolltermin – Tag nach OP)	Stabil/Verbesserung	Verschlechterung
<b>JPSLM</b>	-1,94° (±9,39)	63,3%	36,7%
<b>Cobb</b>	-2,03° (±8,16)	56,5%	43,5%
<b>Laing</b>		16,8%	83,2%

### 3.1.4.2. Fallbezogene Übereinstimmung in der Bewertung der Alignmententwicklung

Die fallbezogene Übereinstimmung zwischen den Methoden wurde mittels Cohens Kappa überprüft. In Tabelle 8 sind die Ergebnisse dieser Untersuchung aufgelistet. Schwache Übereinstimmung ergab sich zwischen Laing und Cobb ( $\kappa=.128$ ), sowie zwischen Laing und JPSLM ( $\kappa=.145$ ). Moderate Übereinstimmung zeigten Cobb und JPSLM ( $\kappa=.480$ ).

Tabelle 8: Cohens-Kappa-Werte der Alignmentveränderungen je nach Messmethode

	JPSLM	Cobb	Laing
<b>JPSLM</b>		$\kappa=.480$ $p < .0005$	$\kappa=.145$ $p = .001$
<b>Cobb</b>	$\kappa=.480$ $p < .0005$		$\kappa=.128$ $p = .007$
<b>Laing</b>	$\kappa=.145$ $p = .001$	$\kappa=.128$ $p = .007$	

### 3.1.4.5. Zusammenhang zwischen den Stellungsveränderungen und der Entwicklung der Nackenschmerzen

Um zu untersuchen, ob eine postoperative Verschlechterung des Alignments das klinische Outcome der Operation beeinträchtigt, wurde der Chi-Quadrat-

Unabhängigkeitstest verwendet. Dabei wurden die Bewertung der Stellungsveränderung je nach Messmethode (1 Stabil/Verbesserung, 0 Verschlechterung) und die Veränderung in der VAS-Nackenschmerz (1 Besser, 0 gleich/schlechter) als Variablen angegeben.

Der Chi-Quadrat-Test ergab einen p-Wert von 0.946 und zeigt daher keinen signifikanten Zusammenhang zwischen den festgestellten Alignmentveränderungen mittels JPSLM und der Veränderung der empfundenen Nackenschmerzen. Eine Verschlechterung des Alignments gemäß JPSLM kam zu gleichen Anteilen sowohl in der Gruppe der klinisch von der Operation profitierenden als auch in der Gruppe der klinisch nicht von der Operation profitierenden Patienten vor. (s. Tabelle 9)

Tabelle 9: Kreuztabelle zwischen der Bewertung der Alignmententwicklung nach JPSLM und dem Verlauf der Nackenschmerzen

			VAS-Nackenschmerz		Gesamt
			Gleichbleiben oder Verschlechterung	Verbesserung	
JPSLM	Verschlechterung	Anzahl	22	91	113
		%	19.5%	80.5%	100.0%
	Stabil /Verbesserung	Anzahl	12	51	63
		%	19.0%	81.0%	100.0%
Gesamt		Anzahl	34	142	176
		%	19.3%	80.7%	100.0%

Für die Methode nach Cobb ergab der Chi-Quadrat-Test einen p-Wert von 0.375 und zeigt daher keinen signifikanten Zusammenhang zwischen den festgestellten Alignmentveränderungen und der Veränderung der empfundenen Nackenschmerzen. Die Entwicklung des Alignments wurde in beiden Patientengruppen zu ähnlichen Anteilen bewertet. (s. Tabelle 10)

Tabelle 10: Kreuztabelle der Verlaufsbewertungen mittels Cobb und dem Verlauf der Nackenschmerzen

			VAS-Nackenschmerz		Gesamt
			Gleichbleibend oder Verschlechterung	Verbesserung	
Cobb	Verschlechterung	Anzahl	22	80	102
		%	21.6%	78.4%	100.0%
	Stabil /Verbesserung	Anzahl	12	62	74
		%	16.2%	83.8%	100.0%
Gesamt		Anzahl	34	142	176
		%	19.3%	80.7%	100.0%

Mit dem Chi-Quadrat-Test ergab sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen Alignmentveränderungen und Nackenschmerzen. Der p-Wert betrug 0.049. Patienten, die laut Bewertung nach Laing eine Verschlechterung des Alignments aufweisen, zeigen signifikant häufiger eine Verbesserung der Nackenschmerzen als Patienten, die laut Laing eine stabile oder verbesserte HWS-Stellung aufweisen. Fälle die nach Laing eine Verschlechterung des Alignments entwickelten, erfuhren zu 93,5% eine Verbesserung der Nackenschmerzen. Bei Fällen, deren Alignment als stabil oder besser bewertet wurde, waren dies 77,9%. (s. Tabelle 11)

Tabelle 11: Kreuztabelle der Verlaufsbewertungen mittels Laing und dem Verlauf der Nackenschmerzen

			VAS Nackenschmerz		Gesamt
			Gleichbleiben oder Verschlechterung	Verbesserung	
<b>Laing</b>	<b>Verschlechterung</b>	<b>Anzahl</b>	2	29	31
		<b>%</b>	6.5%	93.5%	100.0%
	<b>Stabil /Verbesserung</b>	<b>Anzahl</b>	32	113	145
		<b>%</b>	22.1%	77.9%	100.0%
<b>Gesamt</b>		<b>Anzahl</b>	34	142	176
		<b>%</b>	19.3%	80.7%	100.0%

## 3.2. Fusion

### 3.2.1. Verwertbarkeit der Aufnahmen

Unterschiede zwischen den Messmethoden zeigten sich bereits in der Auswertbarkeit der Aufnahmen. Die interspinalen Abstände und die knöchernen Überbrückungen konnten in allen Fällen bewertet werden. In 6 Fällen war dies mit der Cobb-Methode nicht möglich. Bei 4 von diesen 6 Fällen konnte der Winkel aufgrund von Weichteilüberlagerungen nicht gemessen werden. Dabei war an allen 4 Spondylodesen C7 beteiligt. In den beiden anderen Fällen konnten wegen degenerativen Knochenveränderungen die Wirbelgrenzen nicht mehr reproduzierbar erkannt werden.

### 3.2.2. Deskriptive Übersicht der Messergebnisse

Die Differenzen der Abstandsmessungen an den Enden und der Basis der Dornfortsätze, sowie der Cobb-Winkel waren normalverteilt nach Shapiro-Wilk ( $W = .797$ ,  $p = .000$ ;  $W = .796$ ,  $p = .000$ ;  $W = .698$ ,  $p = 0.000$ ). Eine starke Korrelation ergab sich zwischen den Messungen an den Dornfortsatzenden und den Dornfortsatzbasen. Zwischen den Abstandsmessungen an den Dornfortsätzen und der Winkelmessung nach Cobb ergaben sich schwache Korrelationen. (s. Tabelle 12)

Tabelle 12: Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen den Ergebnissen der unterschiedlichen Messungen

	<b>Intersp. Abstand WK nah</b>	<b>Intersp. Abstan WK fern</b>	<b>Cobb-Winkel</b>
<b>Intersp. Abstand WK nah</b>		r = .786, p < .0005	r = .324, p < .0005
<b>Intersp. Abstan WK fern</b>	r = .786, p < .0005		r = .280, p < .0005
<b>Cobb-Winkel</b>	r = .324, p < .0005	r = .280, p < .0005	

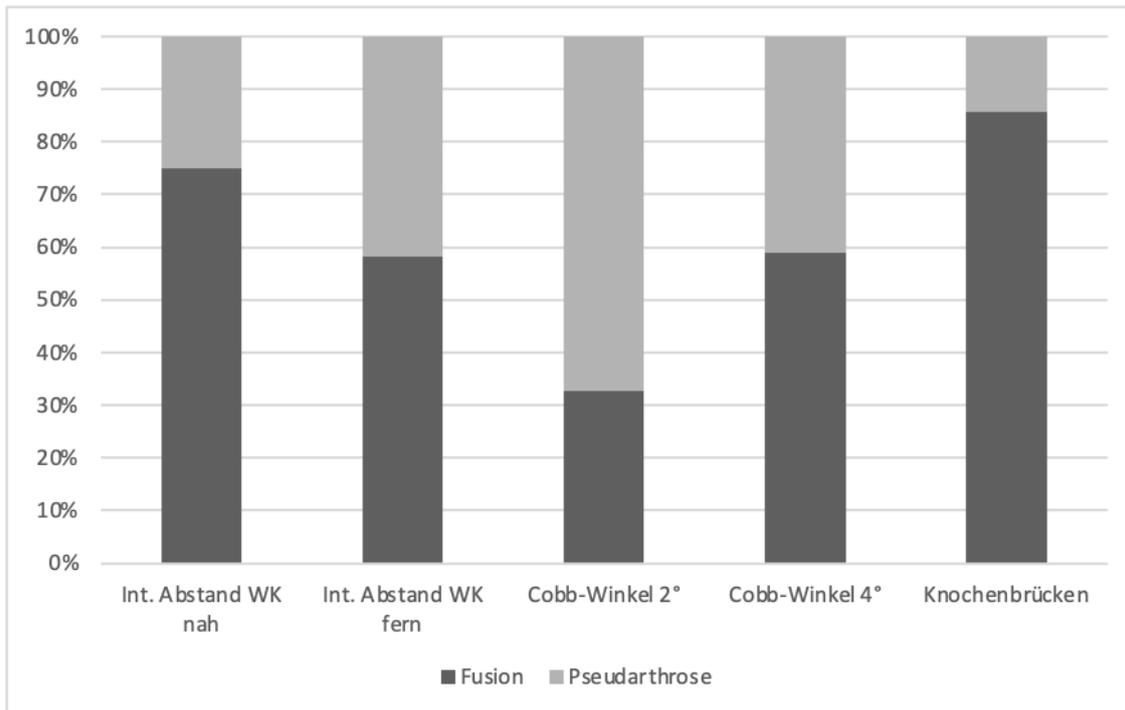
Die Mittelwerte der gemessenen Differenzen der Interspinalen Abstände waren kleiner und folglich auch die Fusionsraten höher, wenn nahe an den Wirbelkörpern gemessen wurde. (s. Tabelle 13)

Tabelle 13: Mittelwerte der gemessenen Stellungsdifferenzen und Fusionsraten der jeweiligen Methoden

	<b>Intersp. Abstand WK nah</b>	<b>Intersp. Abstand WK fern</b>	<b>Cobb-Winkel</b>	<b>Knochen- brücke</b>
<b>Differenz</b>	1,15mm ( $\pm 1,21$ )	1,91mm ( $\pm 2,05$ )	3,74° ( $\pm 4,02$ )	
<b>Fusionsrate</b>	75%	58,2%	<2°: 32,7% <4°: 58,9%	85,6%

Die höchste Fusionsrate von 85,6 Prozent ergab sich durch Beurteilung der knöchernen Überbrückung. Eine unvollständige Fusion wurde mit 77,3% am häufigsten angenommen, wenn die Cobb-Winkel-Differenz von unter 2 Grad als Kriterium verwendet wurde. Die unterschiedlichen Fusionsraten der Messungen kommen in Abbildung 13 zur Darstellung.

Abbildung 12: Fusionsraten der verschiedenen Methoden (Eigene Darstellung)



### 3.2.3. Fallbezogene Übereinstimmung der Fusionsbewertungen

Die Analyse mittels Cohens Kappa ergab lediglich zwischen den Abstandsmessungen an den Dornfortsätzen eine deutliche Übereinstimmung in der Fusionsbewertung. ( $\kappa=.508$ ,  $p <.0005$ ) Sehr schwache Übereinstimmung ergab sich zwischen der Beurteilung der knöchernen Überbrückung und den Winkelmessungen nach Cobb. Die restlichen Vergleiche ergaben schwache Übereinstimmungswerte. Die exakten Übereinstimmungswerte zwischen den Messmethoden werden in Tabelle 14 aufgeführt.

Tabelle 14: Übereinstimmungswerte der Fusionsbewertung nach Cohens Kappa

	<b>Int.Abstand WK nah</b>	<b>Int.Abstand WK fern</b>	<b>Cobb- Winkel 2 °</b>	<b>Cobb- Winkel 4°</b>	<b>Knochen- brücken</b>
<b>Int.Abstand WK nah</b>		$\kappa=.508$ $p <.0005$	$\kappa=.174$ $p <.0005$	$\kappa=.271$ $p <.0005$	$\kappa=.254$ $p <.0005$
<b>Int.Abstand WK fern</b>	$\kappa=.508$ $p <.0005$		$\kappa=.177$ $p = .004$	$\kappa=.275$ $p <.0005$	$\kappa=.206$ $p <.0005$
<b>Cobb-Winkel 2 °</b>	$\kappa=.174$ $p <.0005$	$\kappa=.177$ $p = .004$		$\kappa=.487$ $p <.0005$	$\kappa=.066$ $p =.72$
<b>Cobb-Winkel 4°</b>	$\kappa=.271$ $p <.0005$	$\kappa=.275$ $p <.0005$	$\kappa=.487$ $p <.0005$		$\kappa=.079$ $p =.147$
<b>Knochenbrücken</b>	$\kappa=.254$ $p <.0005$	$\kappa=.206$ $p <.0005$	$\kappa=.066$ $p =.72$	$\kappa=.079$ $p =.147$	

### 3.2.4. Zusammenhang zwischen den Fusionsbewertungen und dem Ausmaß der Nackenschmerzen

Ob eine der Methoden zur Fusionsbewertung eine Vorhersage auf das Ausmaß der Nackenschmerzen zulässt, wurde mittels linearer Regression getestet. Dabei wurde als abhängige Variable der VAS-Wert und als Kovariate die Bewertung der Fusion zum Zeitpunkt der Kontrolluntersuchung angesehen. Das Vorliegen von Fusion zeigte nur bei der Cobb-Winkelmessung mit 4° Toleranz eine signifikante Korrelation auf dem 5% Niveau. Dieser Zusammenhang würde hier bedeuten, dass bei Vorliegen einer Fusion, die Werte der VAS um einen Punkt höher liegen. Bei keiner der restlichen Messmethoden zeigte sich ein signifikant niedrigeres oder höheres Risiko, in der VAS höhere Werte am Kontrolltermin zu erzielen, wenn eine Fusion der operierten Segmente festgestellt wurde. Das R-Quadrat betrug lediglich 0.04, was insgesamt auf eine sehr geringe Vorhersagekraft der Fusionsbewertung auf die empfundenen Nackenschmerzen hindeutet. In Tabelle 15 werden die einzelnen Regressionskoeffizienten mit Signifikanz und Konfidenzintervall nach Messmethode aufgelistet.

Tabelle 15: Ergebnisse der logistischen Regression der Fusionsbewertungen und der VAS-Werte zum Kontrolltermin

	<b>Regressions- koeffizient</b>	<b>p-Wert</b>	<b>95% Konfidenzintervall</b>
<b>Int.Abstand WK nah</b>	-0.694	0.227	-1.825 – 0.437
<b>Int.Abstand WK fern</b>	0.673	0.167	-0.285 – 1.630
<b>Cobb-Winkel 2°</b>	-0.645	0.209	-1.655 – 0.365
<b>Cobb-Winkel 4°</b>	1.040	0.035	0.076 – 2.003
<b>Knochenbrücken</b>	-0.044	0.940	-1.197 – 1.109

### 3.2.5. Zusammenhang zwischen Fusionsbewertung und dem Verlauf der Nackenschmerzen

Ob das Vorliegen oder Fehlen von Fusion einen Einfluss auf den Verlauf des Nackenschmerzes hat, wurde mit dem Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest geprüft. Dabei wurden die Fusionsbewertungen der unterschiedlichen Methoden den Veränderungen der empfundenen Nackenschmerzen gegenübergestellt.

Zwischen der Fusionsbewertung mittels interspinaler Abstandsmessung und der Veränderung der empfundenen Nackenschmerzen ergab der Chi-Quadrat-Test einen p-Wert von 0.959 und zeigt daher keinen signifikanten Zusammenhang. In beiden Fusionsgruppen ergab sich bei etwa 81% der Patienten eine Verbesserung des Nackenschmerzes nach der Operation. (s. Tabelle 16)

Tabelle 16: Kreuztabelle zwischen Fusionsbewertung mittels interspinaler Abstandsmessung an einem dem WK nahen Punkt und dem Verlauf der Nackenschmerzen

			VAS-Nackenschmerz		Gesamt
			Gleichbleiben oder Verschlechterung	Verbesserung	
<b>Int. Abstand WK nah</b>	<b>Keine Fusion</b>	<b>Anzahl</b>	8	34	42
		<b>%</b>	19.0%	81.0%	100.0%
	<b>Fusion</b>	<b>Anzahl</b>	26	108	134
		<b>%</b>	19.4%	80.6%	100.0%
<b>Gesamt</b>		<b>Anzahl</b>	34	142	176
		<b>%</b>	19.3%	80.7%	100.0%

Für die Fusionsmessung mittels interspinaler Abstandsmessung an einem wirbelkörpernahen Punkt ergab der Chi-Quadrat-Test einen p-Wert von 0.057 und zeigt daher keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Fusionsbewertung und der Veränderung der empfundenen Nackenschmerzen. 87,5% der Patienten ohne Fusion erfuhren eine Verbesserung ihrer Nackenschmerzen und lediglich 76% der Patienten, bei denen Fusion gemessen wurde. (s. Tabelle 17) Dieser Unterschied war jedoch statistisch nicht signifikant.

Tabelle 17: Kreuztabelle von Fusionsbewertung mittels interspinaler Abstandsmessung an einem dem WK fernen Punkt und dem Verlauf der Nackenschmerzen

			VAS Nackenschmerz		Gesamt
			Gleichbleiben oder Verschlechterung	Verbesserung	
<b>Int. Abstand WK fern</b>	<b>Keine Fusion</b>	<b>Anzahl</b>	9	63	72
		<b>%</b>	12.5%	87.5%	100.0%
	<b>Fusion</b>	<b>Anzahl</b>	25	79	104
		<b>%</b>	24.0%	76.0%	100.0%
<b>Gesamt</b>		<b>Anzahl</b>	34	142	176
		<b>%</b>	19.3%	80.7%	100.0%

Der Chi-Quadrat-Test ergab einen p-Wert von 0.958 und zeigt daher keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Fusionsbewertung mittels Winkelmessung nach Cobb (2° Toleranz) und der Veränderung der empfundenen Nackenschmerzen. Wie in Tabelle 18 zu sehen, erfuhren 80% der Fälle mit und ohne Fusion eine Besserung ihrer Schmerzen.

Tabelle 18: Kreuztabelle von Fusionsbewertung mittels Winkelmessung nach Cobb 2° und dem Verlauf der Nackenschmerzen

			VAS Nackenschmerz		Gesamt
			Gleichbleiben o. Verschlechterung	Verbesserung	
Cobb 2°	Keine Fusion	Anzahl	23	94	117
		%	19.7%	80.3%	100.0%
	Fusion	Anzahl	11	44	55
		%	20.0%	80.0%	100.0%
Gesamt		Anzahl	34	138	172
		%	19.8%	80.2%	100.0%

Ebenfalls keine Signifikanz ergab der Chi-Quadrat-Test zwischen der Fusionsbewertung mittels Winkelmessung nach Cobb (4° Toleranz) und der Veränderung der empfundenen Nackenschmerzen. (p = 0.474) Patienten mit und ohne gewertete Fusion profitierten klinisch zu ähnlichen Anteilen von der Operation (s. Tabelle 19).

Tabelle 19: Kreuztabelle von Fusionsbewertung mittels Winkelmessung nach Cobb 4° und dem Verlauf der Nackenschmerzen

			VAS Nackenschmerz		Gesamt
			Gleichbleiben oder Verschlechterung	Verbesserung	
Cobb 4°	Keine Fusion	Anzahl	12	58	70
		%	17.1%	82.9%	100.0%
	Fusion	Anzahl	22	80	102
		%	21.6%	78.4%	100.0%
Gesamt		Anzahl	34	138	172
		%	19.8%	80.2%	100.0%

Der Chi-Quadrat-Test ergab einen p-Wert von 0.909 und zeigt daher keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Fusions-Bewertung anhand der knöchernen Überbrückungssituation und derjenigen anhand der Veränderung der empfundenen Nackenschmerzen. Patienten mit und ohne Fusion erreichten nach der Operation in ca. 80% der Fälle eine Verbesserung ihrer Nackenschmerzen. (s. Tabelle 20)

Tabelle 20: Kreuztabelle von Fusionsbewertung anhand der knöchernen Segmentüberbrückung und der Veränderung der VAS-Werte

			VAS Nackenschmerz		Gesamt
			Gleichbleiben oder Verschlechterung	Verbesserung	
Knochenbrücken	Keine Fusion	Anzahl	5	22	27
		%	18.5%	81.5%	100.0%
	Fusion	Anzahl	29	120	149
		%	19.5%	80.5%	100.0%
Gesamt		Anzahl	34	142	176
		%	19.3%	80.7%	100.0%

### 3.3. Sinterung

#### 3.3.1. Verwertbarkeit der Aufnahmen

Die ventrale Segmenthöhe konnte in 6 Fällen nicht bestimmt werden, da die Wirbelgrenzen nicht reproduzierbar bestimmt werden konnten. Bei der Messung der dorsalen Segmenthöhe war dies in einem Fall nicht möglich. Die Mochida-Methode war hingegen in allen 208 Fällen anwendbar.

#### 3.3.2. Deskriptive Übersicht der Messergebnisse

Die Sinterungsraten bewegten sich zwischen 51% (ventrale Höhenmessung) und 8% (Mochida 20%). Während sich mit ventraler Höhenmessung Differenzen von durchschnittlich 3,13mm ergaben, waren dies mit 1,85mm bei dorsaler Messung deutlich weniger. Folglich ergab die ventrale Messung auch eine deutlich höhere Sinterungsrate. Am wenigsten Fälle wurden als Sinterung bezeichnet, wenn mit der Mochida-Methode (>20%) bewertet wurde. (s. Tabelle 21)

Tabelle 21: Mittelwerte der Messungen und Sinterungsraten der unterschiedlichen Methoden

	<b>Ventrale Höhenmessung</b>	<b>Dorsale Höhenmessung</b>	<b>Mochida-Methode</b>
<b>Höhendifferenz</b>	3,13mm ( $\pm$ 2,26)	1,85mm ( $\pm$ 1,48)	-2,55% ( $\pm$ 15,07)
<b>Sinterungsrate</b>	51%	28%	>10%: 29% >20%: 8%

Der Shapiro-Wilk-Test ergab eine Normalverteilung der Differenzen bei ventraler und dorsaler Höhenmessung sowie der Mochida-Werte. (W=0.934 p=.000; W=0.927 p=0.000; W=0.970 p=0.000) Der Korrelationskoeffizient nach Pearson zeigte lediglich zwischen den Differenzen der ventralen Höhenmessungen und den Differenzen der dorsalen Höhenmessungen signifikante, starke Korrelation an. (r = .600, p < .0005) Die berechneten Mochida-Werte korrelierten nicht signifikant mit den Höhenmessungen. Alle Ergebnisse dieses Tests sind in Tabelle 22 aufgelistet.

Tabelle 22: Korrelation der Sinterungsmessungen nach Pearson

	<b>ventrale Höhenmessung</b>	<b>dorsale Höhenmessung</b>	<b>Mochida-Wert</b>
<b>ventrale Höhenmessung</b>		r = .600, p < .0005	r = .135, p =.056
<b>dorsale Höhenmessung</b>	r = .600, p < .0005		r = .042, p =.550
<b>Mochida-Wert</b>	r = .135, p =.056	r = .042, p =.550	

### 3.3.3. Fallbezogene Übereinstimmung der Sinterungsbewertungen

Cohens Kappa ergab lediglich für die verwandten Methoden mäßige Übereinstimmung in der Bewertung, ob Sinterung vorlag oder nicht. Die Höhenmessungen zeigten nur sehr schwache Übereinstimmungswerte mit der Mochida-Methode. (s. Tabelle 23)

Tabelle 23: Übereinstimmung der Sinterungsbewertung mittels Cohens Kappa

	<b>Ventrale Höhenmessung</b>	<b>dorsale Höhenmessung</b>	<b>Mochida 10%</b>	<b>Mochida 20%</b>
<b>Ventrale Höhenmessung</b>		$\kappa=.341$ p <.0005	$\kappa=.067$ p =.329	$\kappa=.019$ p =.630
<b>dorsale Höhenmessung</b>	$\kappa=.341$ p <.0005		$\kappa=.008$ p =.902	$\kappa=.063$ p =.664
<b>Mochida 10%</b>	$\kappa=.067$ p =.329	$\kappa=.008$ p =.902		$\kappa=.334$ p <.0005
<b>Mochida 20%</b>	$\kappa=.019$ p =.630	$\kappa=.063$ p =.664	$\kappa=.334$ p <.0005	

### 3.3.4. Zusammenhang zwischen den Sinterungsbewertungen und dem Ausmaß der Nackenschmerzen

Ob Nackenschmerz verstärkt vorliegt, wenn Sinterung stattgefunden hat, wurde mittels linearer Regression untersucht. Dabei wurde als abhängige Variable die VAS-Wert zum Zeitpunkt der Kontrolluntersuchung und als Kovariate die Sinterung je nach Messmethode angesehen. Bei keiner der Methoden beeinflusste das Vorliegen von Sinterung die Ausprägung der Nackenschmerzen signifikant. (s. Tabelle 24) Das R-Quadrat betrug 0.025 und bedeutet damit, dass lediglich 2,5% der VAS-Nackenschmerz durch die Sinterungssituation erklärt werden kann.

Tabelle 24: Ergebnisse der logistischen Regression zwischen den Sinterungsbewertungen und den VAS-Werten

	<b>Regressions- koeffizient</b>	<b>p-Wert</b>	<b>95% Konfidenzintervall</b>
<b>Ventrale Höhenmessung</b>	0.482	0.264	-0.367 – 1.332
<b>dorsale Höhenmessung</b>	0.504	0.324	-0.502 – 1.510
<b>Mochida 10%</b>	0.314	0.516	-0.638 – 1.266
<b>Mochida 20%</b>	-0.795	0.373	-2.551 – 0.961

### 3.3.5. Zusammenhang zwischen den Sinterungsbewertungen und dem Verlauf der Nackenschmerzen

Ob das Vorliegen oder Fehlen von Sinterung einen Einfluss auf den Verlauf des Nackenschmerzes hat, wurde mit dem Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest geprüft. Dabei wurde die Bewertung der Sinterung je nach Messmethode und die Verlaufsbewertung des VAS-Nackenschmerz gegenübergestellt.

Der Chi-Quadrat-Test ergab einen p-Wert von 0.788 und zeigt daher keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Sinterungsbewertung mittels ventraler Höhenmessung (3mm Toleranz) und der Veränderung der empfundenen

Nackenschmerzen. Etwa 80% der Patienten beider Gruppen profitierten klinisch von der Operation. (s. Tabelle 25)

Tabelle 25: Kreuztabelle von Sinterungsbewertung anhand der ventralen Höhenmessung dem Verlauf der Nackenschmerzen

			VAS Nackenschmerz		Gesamt
			Gleichbleiben oder Verschlechterung	Verbesserung	
<b>Ventrale Höhenmessung</b>	<b>Keine Sinterung</b>	<b>Anzahl</b>	18	69	87
		<b>%</b>	20.7%	79.3%	100.0%
	<b>Sinterung</b>	<b>Anzahl</b>	16	68	84
		<b>%</b>	19.0%	81.0%	100.0%
<b>Gesamt</b>		<b>Anzahl</b>	34	137	171
		<b>%</b>	19.9%	80.1%	100.0%

Für die dorsale Höhenmessung ergab der Chi-Quadrat-Test einen p-Wert von 0.445 und zeigt damit ebenfalls keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dieser Sinterungsbewertung und der Veränderung der empfundenen Nackenschmerzen auf. Patientengruppen mit und ohne Sinterung profitierten klinisch zu ähnlichen Anteilen von der Operation. (s. Tabelle 26)

Tabelle 26: Kreuztabelle von Sinterungsbewertung anhand der dorsalen Höhenmessung und dem Verlauf der Nackenschmerzen

			VAS Nackenschmerz		Gesamt
			Gleichbleiben oder Verschlechterung	Verbesserung	
<b>dorsale Höhenmessung</b>	<b>Keine Sinterung</b>	<b>Anzahl</b>	25	98	123
		<b>%</b>	20.3%	79.7%	100.0%
	<b>Sinterung</b>	<b>Anzahl</b>	8	44	52
		<b>%</b>	15.4%	84.6%	100.0%
<b>Gesamt</b>		<b>Anzahl</b>	33	142	175
		<b>%</b>	18.9%	81.1%	100.0%

Der Chi-Quadrat-Test zwischen der Sinterungsbewertung mittels Mochida-Methode (10% Toleranz) und der Unterschiede in den VAS-Nackenschmerz ergab keinen signifikanten Zusammenhang. ( $p = 0.294$ ) Der geringe Unterschied zwischen den Patientengruppen ist damit ebenfalls nicht signifikant. (s. Tabelle 27)

Tabelle 27: Kreuztabelle der Sinterungsbewertung mittels Mochida-Methode (10%) und dem Verlauf der Nackenschmerzen

			VAS Nackenschmerz		Gesamt
			Gleichbleiben oder Verschlechterung	Verbesserung	
<b>Mochida 10%</b>	<b>Keine Sinterung</b>	<b>Anzahl</b>	27	100	127
		<b>%</b>	21.3%	78.7%	100.0%
	<b>Sinterung</b>	<b>Anzahl</b>	7	42	49
		<b>%</b>	14.3%	85.7%	100.0%
<b>Gesamt</b>		<b>Anzahl</b>	34	142	176
		<b>%</b>	19.3%	80.7%	100.0%

Der Chi-Quadrat-Test ergab einen p-Wert von 0.270 zeigt daher keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Sinterungsbewertung mittels Mochida-Methode (20% Toleranz) und der Veränderung der empfundenen Nackenschmerzen. Aus diesem Grund sind die klinischen Unterschiede zwischen den Gruppen mit und ohne Sinterung, welche in Tabelle 28 auffallen, ebenfalls nicht signifikant.

Tabelle 28: Kreuztabelle der Sinterungsbewertung mittels Mochida-Methode (20%) und dem Verlauf der Nackenschmerzen

			VAS Nackenschmerz		Gesamt
			Gleichbleiben oder Verschlechterung	Verbesserung	
<b>Mochida 20%</b>	<b>Keine Sinterung</b>	<b>Anzahl</b>	33	130	163
		<b>%</b>	20.2%	79.8%	100.0%
	<b>Sinterung</b>	<b>Anzahl</b>	1	12	13
		<b>%</b>	7.7%	92.3%	100.0%
<b>Gesamt</b>		<b>Anzahl</b>	34	142	176
		<b>%</b>	19.3%	80.7%	100.0%

### 3.4. Klinische Ergebnisse

Von den 208 Patienten, welche von uns radiologisch untersucht wurden, füllten 176 die VAS-Nackenschmerz vor der ACDF und am Tag des Kontrolltermins aus. Vor der Operation wurden durchschnittlich 6,45 ( $\pm 2,87$ ) Punkte auf der VAS angegeben. Am Kontrolltermin wurden die Nackenschmerzen mit durchschnittlich 2,30 ( $\pm 2,57$ ) Punkten angegeben. Dies entspricht einer Differenz von - 4,15 Punkten.

## 4. Diskussion

### 4.1. Alignment

Das globale Alignment der HWS wird in den röntgenologischen Kontrolluntersuchungen nach ACDF-Operationen standardmäßig mituntersucht. Viele Studien verwenden die dabei gewonnenen Befunde als zusätzlichen Indikator für den Erfolg oder Misserfolg solcher Operationen. Ein Goldstandard für die Messung des Alignments existiert gegenwärtig nicht, was dazu führt, dass in unterschiedlichen Studien unterschiedliche Methoden zum Einsatz kommen. Ob die verschiedenen Messmethoden zu analogen Ergebnissen führen, wurde nach Kenntnis des Autors bisher nicht untersucht. Ein Vergleich dieser Studien wird dadurch erheblich erschwert. Weiter ist nicht abschließend geklärt, ob die Alignmentbewertung eine Aussage auf den klinischen Erfolg der Operation zulässt. Wir entschieden uns daher die bestehenden Methoden zur Messung des globalen zervikalen Alignments hinsichtlich der Komparabilität ihrer Ergebnisse zu untersuchen und zu prüfen, ob diese Ergebnisse Rückschlüsse auf den klinischen Verlauf zulassen.

Wir wählten zur Bewertung des Alignments drei Methoden aus, welche uns häufig in der Literatur begegneten und im klinischen Alltag einfach anzuwenden sind. Aufgrund ihrer einfachen Anwendung und ihrer guten Interrater-Reliabilität wird die Cobb-Winkelmessung am häufigsten verwendet. Mit ähnlichen Eigenschaften ist die JPSSM eine Alternative zur Cobb-Methode und kommt daher ebenfalls oft zur Anwendung (Ames et al., 2013; Justin K. Scheer et al., 2013). Laings Methode wird seltener verwendet. Da sie jedoch mit dem geringsten technischen Aufwand durchzuführen ist, wurde sie von uns ebenfalls berücksichtigt. Eine weitere Möglichkeit zur Messung des Alignments ist die Harrison-Methode. Diese ist jedoch aufwändiger durchzuführen und wird im Zuge der Routineuntersuchungen nach ACDF selten angewandt, weshalb sie in unserer Arbeit nicht berücksichtigt wurde (Ames et al., 2013).

Hinsichtlich ihrer praktischen Anwendbarkeit unterschieden sich die Methoden kaum und waren an unseren Aufnahmen problemlos und mit geringem Aufwand durchführbar. Nur ein Fall von 208 konnte mittels JPSSM und Cobb-Methode nicht befundet werden, da C7 teilweise von Weichteilen überdeckt war.

Um zu prüfen, ob die verschiedenen Methoden zu ähnlichen Ergebnissen führen, wurden diese einander statistisch gegenübergestellt. Unser Augenmerk lag hierbei sowohl auf den absoluten Messergebnissen, wie auch auf der letztendlichen Bewertung des Alignments. Die Mittelwerte der Winkelmessungen nach Cobb und JPSSM unterschieden sich dabei nur unwesentlich und lagen im Standardabweichungsbereich der Ergebnisse anderer Studien (Katsuura, Hukuda, Saruhashi, & Mori, 2001; Moon et al., 2011; Villavicencio et al., 2011; Wu et al., 2012). Die Messergebnisse dieser beiden Methoden zeigten zudem starke Korrelation. Laings Methode konnte nicht in den Vergleich der absoluten Messergebnisse einbezogen werden, da sie direkte Einteilungen generiert und keine quantitative Messung beinhaltet. Die anteilmäßige Einordnung der Fälle in Kyphose/Steil und Lordose zum Zeitpunkt des Kontrolltermins waren nach Cobb-Methode und JPSSM wieder sehr ähnlich. Laings Methode wich von beiden stark ab und wertete deutlich mehr Fälle als Kyphose- oder Steilstellung. In der vorhandenen Literatur lassen sich diese Unterschiede in der anteilmäßigen Einordnung des Alignments wiederfinden (Laing et al., 2001; Wu et al., 2012). Die fallbezogene Übereinstimmung zwischen JPSSM und Cobb war dabei moderat. 92,7% der Fälle wurden von beiden gleich bewertet. Laing zeigte mit den beiden anderen Methoden nur mäßige Übereinstimmung. Betrachtet man nun die Bewertung der postoperativen Alignmententwicklung, lässt sich Ähnliches beobachten. Auch hier zeigten Cobb und JPSSM vergleichbare Ergebnisse, während Laing stark abwich. Auch die fallbezogene Übereinstimmung war zwischen JPSSM- und Cobb-Methode moderat und nur schwach zwischen Laing und den restlichen Methoden. Die statistischen Beobachtungen lassen sich hier aus der praktischen Anwendung der Methoden ableiten. Die Ähnlichkeit der Messung nach Cobb-Methode und JPSSM ist offensichtlich. Beide Methoden messen einen Winkel zwischen den Wirbelkörpern C2/C7 und nutzen dafür deren Wirbelgrenzen. Ihre fallbezogene Übereinstimmung war zwar nur „moderat“, mit einer gleichen Bewertung in 92,7% der Fälle zum Zeitpunkt der Kontrolluntersuchung, ist diese aber für einen Vergleich ausreichend. Ebenfalls plausibel ist, dass die Alignmentbeurteilung nach Laing von den anderen Methoden stark abweicht. Abgesehen von der Orientierung an C2 und C7, besitzt sie keinerlei praktische Ähnlichkeit zu den Winkelmessungen.

Die Unterschiede zwischen Laing und den beiden anderen Methoden werfen die Frage auf, welche der Messungen favorisiert werden sollte. Auch aus diesem Grund

untersuchten wir, ob die Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden ein klinisches Korrelat besitzen. Einen wichtigen Hinweis auf die geringe klinische Aussagekraft der Ergebnisse aller drei Methoden ergab die lineare Regression, nach welcher nur 0,5% der VAS-Werte durch die Alignmentbewertung erklärt werden können. Weiter konnte in diesem Test bei keiner der Messmethoden ein höheres oder niedrigeres Risiko festgestellt werden, höhere oder niedrigere Werte auf der VAS-Nackenschmerz zu erzielen, wenn am Tag des Kontrolltermins eine kyphotische oder steile HWS-Stellung gemessen wurde. Im Chi-Quadrat-Test zeigte sich ein Zusammenhang zwischen den nach Laing bewerteten postoperativen Alignmentveränderungen und den Veränderungen der VAS. Patienten, die laut Bewertung nach Laing eine Verschlechterung der HWS-Stellung aufweisen, zeigten häufiger eine Verbesserung der Nackenschmerzen als Patienten, die laut Laing ein Gleichbleiben bzw. eine Verbesserung aufweisen. Dieser Zusammenhang ist widersprüchlich und wurde so noch in keiner Arbeit festgestellt. Die Schwäche dieses Zusammenhangs und deren Widersprüchlichkeit lässt uns an der Aussagekraft dieser Beobachtung zweifeln. Weder eine nach Cobb und JPSSM verbesserte HWS-Stellung, noch eine Verschlechterung korrelierte in den Chi-Quadrat-Tests mit einer Veränderung der Nackenschmerzen im postoperativen Verlauf.

Unsere Ergebnisse decken sich hier weitestgehend mit denen der bestehenden Literatur. Die meisten Studien, welche globales zervikales Alignment mit klinischen Outcome-Parametern verglichen haben, fanden keine signifikanten Korrelationen (Di Martino et al., 2015; Kaptain, Simmons, Replogle, & Pobereskin, 2000; Moon et al., 2011; Villavicencio et al., 2011). Nur sehr wenige beschreiben einen signifikanten Zusammenhang, wie Wu et al. Diese fanden eine moderate Korrelation nach Pearson ( $r= 0.347$ ,  $p\leq 0.05$ ) zwischen dem „Japanese Orthopaedic Association score for cervical myelopathy“ und dem C2-C7 Cobb-Winkel zum follow-up nach 5 Jahren. Bedenkt man jedoch die bei dieser Studie relativ kleine Zahl von nur 57 eingeschlossenen Patienten, ist die Aussagekraft dieser moderaten Korrelation nicht besonders stark (Wu et al., 2012). Ob die Alignmentsituation einen Zusammenhang mit dem Auftreten von myelopathischen Beschwerden besitzt, wurde in unserer Arbeit nicht untersucht. Um darüber eine abschließende Aussage treffen zu können, müsste dies in weiterführenden Studien untersucht werden.

Abschließend lässt sich also feststellen, dass die Messungen des Alignments und deren Interpretationen sowohl an der einzelnen Aufnahme als auch im postoperativen Verlauf zwischen den Methoden nach Cobb und JPSPM vergleichbar sind. Die radiologische Beurteilung der HWS-Stellung mittels Laing lässt sich jedoch nicht mit derer von Cobb und JPSPM vergleichen. Studien, die das Alignment nach Laing messen, können damit nicht mit solchen verglichen werden, welche die Methoden nach Cobb oder JPSPM anwenden. Letztere können jedoch unter Berücksichtigung der geringen Unterschiede verglichen werden. Da keine der von uns angewandten Methoden zur Messung des Alignments einen direkten Rückschluss auf das klinische Outcome der Operationen zuließ, können wir zumindest aus klinischer Sicht keine Empfehlung für eine der Methoden aussprechen. Weiter konnten wir zeigen, dass eine Verschlechterung des globalen zervikalen Alignments im postoperativen Verlauf die Ausprägung der empfundenen Nackenschmerzen nicht beeinflusst. Ob das zervikale Alignment ein reliabler Indikator für den Erfolg von ACDF-Operationen ist, kann daher zur Diskussion gestellt werden. Soll nicht auf eine Messung der HWS-Stellung verzichtet werden, wäre die Methode nach Cobb zu favorisieren, da ein Großteil der vorhandenen Studien diese Methode gewählt hat und ein Vergleich der Ergebnisse so ermöglicht werden würde.

#### **4.2. Fusion**

Die radiologische Beurteilung des Fusionsgeschehens zwischen den an der ACDF beteiligten Segmenten ist im postoperativen Verlauf eine Routineuntersuchung. Nicht zuletzt zur Erfolgsevaluation in wissenschaftlichen Arbeiten ist die Fusionsbeurteilung ein häufig genutztes Mittel, da man sich durch die Fusionsmessung objektivierbare Vergleichsparameter verspricht. Im Laufe der Zeit haben sich jedoch verschiedene Methoden zur Messung der Fusion entwickelt, was zu Problemen in der Vergleichbarkeit von Studien führt, welche ACDF-Operationen thematisieren (Kaiser et al., 2009). Zwar existieren Arbeiten, welche die verschiedenen Messmethoden in unterschiedlichen Studien retrospektiv beleuchtet haben und erhebliche Diskrepanzen feststellen konnten, eine Vergleichsanalyse dieser Methoden, angewandt an einem einheitlichen Patientenkollektiv, existiert jedoch nach Kenntnis des Autors nicht. (Kaiser et al., 2009) Diese wäre aber notwendig, um eine abschließende Aussage über die Vergleichbarkeit der verschiedenen Methoden und Studienergebnisse treffen zu

können. Wir entschieden uns daher, die Methoden zur Fusionsmessung hinsichtlich ihrer Vergleichbarkeit und ihrer klinischen Relevanz zu untersuchen.

Dafür wählten wir drei Methoden aus, welche an konventionellen Röntgenaufnahmen angewandt werden und in der Literatur am häufigsten vertreten sind. Nur wenige Studien, welche mit interspinaler Abstandsmessung arbeiteten, definierten den exakten Punkt ihrer Messungen an den Processus Spinosi der Halswirbel. Oft wird nur von einem „definierten Punkt“ auf dem Dornfortsatz gesprochen (Moon et al., 2011). Da zu erwarten ist, dass die gemessenen Distanzdifferenzen mit steigender Entfernung des Messpunktes vom Wirbelkörper zunehmen, wurden von uns alle Patienten an den Enden der Dornfortsätze und an einem reproduzierbaren Punkt nahe dem Wirbelkörper gemessen, um die Notwendigkeit eines einheitlichen Messpunktes zu prüfen. Weiter wurden von uns der Cobb-Winkel und die Beurteilung der knöchernen Überbrückung der operierten Segmente berücksichtigt, da diese neben der interspinalen Abstandsmessung am häufigsten angewandt werden.

Unterschiede ergaben sich schon in der Anwendbarkeit der Methoden. Die exakte Messung gestaltete sich mittels Cobb-Methode schwieriger, da sich diese Methode an den kranialen und kaudalen Wirbelgrenzen orientiert, welche sich aufgrund von Qualitätsmängeln der Aufnahmen oder degenerativer Veränderungen der Wirbel nicht immer scharf abgrenzen ließen. Aus diesem Grund konnte der Cobb-Winkel in 6 von 208 Fällen nicht bestimmt werden, während mit den beiden anderen Methoden alle Fälle vermessen werden konnten. Schon Sudhakar et. al. beschrieben diese Problematik der Cobb-Methode, welche auch ursächlich für die schlechtere Interrater-Reliabilität der Cobb-Methode gegenüber der interspinalen Abstandsmessung sein könnte (Cannada et al., 2003; Sudhakar, Laing, & Redfern, 2003).

Um zu überprüfen ob die verschiedenen Messmethoden vergleichbare Ergebnisse produzieren, stellten wir deren absolute Messergebnisse sowie deren letztendliche Bewertungen der Fusion statistisch gegenüber. Wie zu erwarten korrelierten dabei die Messergebnisse der interspinalen Abstandsmessungen stark. Diese korrelierten jedoch nur schwach mit den Ergebnissen der Winkelmessung nach Cobb. Die Beurteilung der Knochenbrücken konnte nicht in den Vergleich der absoluten Messergebnisse einbezogen werden, da diese Methode den Fusionsstatus direkt bewertet und keine

quantitative Messung beinhaltet. Vergleichbare Korrelationsprüfungen liegen nach Wissensstand des Autors gegenwärtig nicht vor.

Die Analyse der letztendlichen Fusionsbewertungen offenbarte ebenfalls deutliche Unterschiede zwischen den Methoden. So variierte der Anteil der als fusioniert bewerteten Fälle zwischen den verschiedenen Methoden stark. Dieser Anteil war nach der Bewertung der Knochenbrücken am höchsten und nach der Cobb-Winkelmessung ( $2^\circ$ ) am niedrigsten. Erwartungsgemäß wurden mehr Fälle als fusioniert bewertet, wenn der interspinale Abstand nahe am WK gemessen wurde, als wenn dieser an den Dornfortsatzenden gemessen wurde. Ebenfalls zu erwarten war die Zunahme der mit dem Cobb-Winkel festgestellten Pseudarthrose-Fälle mit dem Abnehmen der Winkeltoleranz. Das deckt sich mit den Ergebnissen von Hipp et al., welche eine Zunahme der Pseudarthrose-Fälle von 6% auf 44% beobachteten, wenn die Toleranz von  $4^\circ$  auf  $1^\circ$  gesenkt wurde (Hipp, Reitman, & Wharton, 2005). Ein direkter Vergleich der von uns festgestellten Fusionsraten mit der Literatur ist nicht möglich, da davon ausgegangen werden muss, dass die unterschiedlichen Operationsmethoden, Materialien und Follow-Up-Zeiten ebenfalls einen Einfluss auf die Fusionsraten besitzen. Zudem werden in vielen Studien willkürlich mehrere Messmethoden zusammen angewandt, um Fusion zu beurteilen, was die Vergleichbarkeit mit unseren Fusionsraten ebenfalls verhindert (Cauthen et al., 1998; Davis et al., 2013; Skolasky et al., 2006; Sudhakar et al., 2003). Um die Übereinstimmung bzw. die Unterschiede der unterschiedlichen Fusionsbewertungen spezifischer zu untersuchen, wurde von uns zusätzlich die fallbezogene Übereinstimmung mittels Cohens Kappa berechnet. Eine deutliche fallbezogene Übereinstimmung der Fusionsbewertung zeigte sich dabei jeweils unter den interspinalen Abstandsmessungen an verschiedenen Punkten und unter den Cobb-Winkelmessungen mit unterschiedlichen Toleranzen. Ansonsten ergaben sich zwischen den Methoden nur schwache bis sehr schwache Übereinstimmungswerte. Nach Wissen des Autors wurde auch dies in unserer Arbeit erstmals untersucht.

Die Ergebnisse unserer Vergleichbarkeitsanalyse zeigen also, dass eine Vergleichbarkeit zwischen den Fusionsergebnissen von Studien, welche Fusion mittels unterschiedlicher Messmethoden untersuchen, nicht möglich ist. Nicht nur die festgestellten Fusionsraten unterscheiden sich zu stark zwischen den einzelnen Methoden, auch eine fallbezogene Übereinstimmung war nicht zu beobachten. Werden Studien einander gegenübergestellt, welche das Fusionsverhalten mit der Cobb-

Methode beurteilen, sollte dringend auf die verwendeten Toleranzgrenzen geachtet werden, da diese zu erheblichen Unterschieden in den Fusionsraten führen. Bezüglich der interspinalen Abstandsmessung halten wir es für wichtig, dass im Studiendesign der Ort der Messung am Processus Spinosus exakt definiert wird. Zwar korrelieren die an unterschiedlichen Orten gemessenen Distanzen stark miteinander, der erhebliche Unterschied in den festgestellten Fusionsraten, auf welchen das letztliche Augenmerk der meisten Studien liegt, ist dennoch zu deutlich.

Nachdem wir zeigen konnten, dass die Ergebnisse der verschiedenen Methoden kaum Übereinstimmungen aufweisen, wirft sich die Frage auf, ob eine dieser Methoden den anderen überlegen ist. Zwar existieren bereits einige wenige Studien, welche die Verlässlichkeit bestimmter Messmethoden zur Fusionsprüfung untersuchen, diese weisen jedoch erhebliche Schwächen im Studiendesign auf. Um die Verlässlichkeit der Cobb-Methode und der interspinalen Abstandsmessung in Bezug auf Fusion zu testen, verglichen Cannada et al. die verschiedenen Fusionsbewertungen von 27 Fällen. Als sicher fusioniert galten dabei Segmente, deren Intervertebralraum von soliden Knochenbrücken durchbaut war (Cannada et al., 2003). Knochenbrücken sind jedoch ein zu ungenaues Kriterium um als Standard zu gelten. Es gibt keinerlei Evidenz für die Überlegenheit dieser Methode. Sie werden zwar oft als zusätzliches obligates Kriterium für Fusion angesehen, das erscheint aber nach den schlechten Korrelationswerten mit den anderen Methoden willkürlich. Auch Tuli et al. kamen zu dem Schluss, dass die knöcherne Überbrückung ein zu ungenaues Kriterium für das Erkennen von Pseudarthrose ist. Sie argumentierten hauptsächlich mit der in ihrer Arbeit festgestellten schlechten Interrater-Reliabilität dieser Methode (Tuli, Chen, Eichler, & Woodard, 2004). Ein weiterer Kritikpunkt an diesem Verfahren ist, dass Knochenbrücken auf konventionellen Röntgenaufnahmen je nach Operationsverfahren und Bauart der Implantate unterschiedlich gut erkennbar sind. Das könnte diese Methode für Studien, welche beispielsweise zwei verschiedene Implantatversionen bezüglich ihrer Fusionsraten vergleichen wollen, unbrauchbar machen. Auch Kaiser et al. sahen die Problematik der Knochenbrücken neben der geringen Anzahl an Fällen, als größte Schwäche der Studie von Cannada et. al an (Kaiser et al., 2009). Eine ähnliche Problematik lässt sich auch in der Studie von Sudhakar et al. feststellen. Sie untersuchten die Aussagekraft der Messung des interspinalen Abstands, der anteriorer Segmenthöhe und des Cobb-Winkels auf den Fusionsstatus. Als sichere Fusion galt

dabei ein Segment, das mit allen drei Methoden gleichermaßen als fusioniert bewertet wurde. Ob eine der Methoden tatsächlich eine verlässliche Aussage auf den Fusionsstatus zulässt, wurde jedoch zuvor weder untersucht noch diskutiert (Sudhakar et al., 2003). Aus ethischen und praktischen Gründen ist es auch gar nicht möglich, radiologisch gewonnene Fusionsbewertungen mit „sicheren“ Fusionsbewertungen zu vergleichen, da diese nur durch chirurgische Revision gewonnen werden könnten (Kaiser et al., 2009).

Da also ein Vergleich mit einem „Goldstandard“ nicht möglich ist, entschieden wir uns dafür, die Fusionsbewertungen der unterschiedlichen Messmethoden hinsichtlich ihrer klinischen Aussagekraft zu überprüfen, um auf diesem Wege Hinweise auf eine zu favorisierende Methode zu erhalten. Dafür berechneten wir zunächst die lineare Regression zwischen der Fusionsbewertung und den Ergebnissen der VAS. Sie ergab, dass generell nur 4% der VAS-Werte über die Fusionsbewertung erklärt werden können. Lediglich die Winkelmessung nach Cobb mit 4° Toleranz ergab hier einen signifikanten Regressionskoeffizienten. Dieser betrug 1.040 und bedeutet daher, dass Patienten bei denen nach dieser Methode eine Fusion ihrer Spondylodese festgestellt wurde, um ca. 1 Punkt stärkere Schmerzen auf der VAS angaben, als Patienten bei denen keine Fusion festgestellt wurde. Das niedrige R-Quadrat und die fehlende Plausibilität dieser Beobachtung sprechen jedoch gegen eine Relevanz dieses Ergebnisses. Eine Veränderung der Nackenschmerzen am Tag des Kontrolltermins im Vergleich zum Zustand vor der Operation, korrelierte im Chi-Quadrat-Test mit keiner der unterschiedlichen Fusionsbewertungen signifikant. Eine Verbesserung der klinischen Symptomatik durch die Operation scheint also unabhängig vom radiologisch konstatierten Fusionsstatus zu sein.

Bisherige Arbeiten, welche radiologisch gewonnene Fusionsergebnisse mit klinischen Outcome-Parametern verglichen, kamen zu keinen einheitlichen Ergebnissen. So konnten Moon et. al in ihrer Arbeit keinen Zusammenhang zwischen dem Fusionsstatus, definiert als <2mm Differenz zwischen den interspinalen Abstandsmessungen, und dem klinischen Outcome feststellen (Moon et al., 2011). Löfgren et. al stellten ebenfalls keine Korrelation zwischen klinischem Outcome und ihrer Fusionsbewertung fest, welche aus Cobb-Winkel-Messung und Beurteilung der knöchernen Überbrückung bestand (Löfgren, Johannsson, Olsson, Ryd, & Levander, 2000). Cauthen et. al fanden hingegen eine signifikante Korrelation zwischen der Patientenzufriedenheit und dem

Fusionsstatus. Dieser wurde mit der Beurteilung der Knochenbrücken und Funktionsaufnahmen bewertet, wobei die exakten Messkriterien nicht beschrieben wurden. Demnach waren 80% der Patientin mit Fusion und 68% der Patienten ohne Fusion zufrieden mit dem Resultat der Operation (Cauthen et al., 1998). Letzten Endes lässt sich keine konsensuelle Meinung aus der bestehenden Literatur herausfiltern. Das liegt neben den heterogenen Ergebnissen auch an den unterschiedlichen Methoden zur Fusions- und Klinikbewertung. In unserer Arbeit konnten wir jedenfalls bei keiner der von uns einzeln betrachteten Messmethoden einen relevanten Zusammenhang zwischen Fusionsstatus und klinischen Resultaten feststellen.

Zu diskutieren wäre auch grundsätzlich, ob Funktionsaufnahmen ein reliables Mittel zur Fusionsbewertung sind. Denn es muss davon ausgegangen werden, dass Patienten die Flexion und Reklination unterschiedlich stark forcieren (Löfgren et al., 2000). Muskuläre Defizite oder Schmerzen könnten zu einer geringeren Flexion oder Extension führen und so die Ergebnisse der Fusionsmessungen verfälschen. In diesen Fällen wären schließlich geringere Messdifferenzen und damit höhere Fusionsraten zu erwarten. Dies könnte eventuell auch eine Erklärung für den paradoxen Zusammenhang zwischen der Cobb-Methode (4°) und der VAS-Nackenschmerz bieten.

Es lässt sich abschließend feststellen, dass die von uns angewandten Methoden weder zu einheitlichen Ergebnissen führen, noch Fusionsbewertungen generieren, welche ein eindeutiges klinisches Korrelat besitzen. Eine Messmethode als Standard zu empfehlen, ist Angesichts dieser Beobachtungen nur bedingt möglich. Soll eine Fusionsmessung durchgeführt werden, wäre eine interspinale Abstandsmessung mit weniger als 2mm Toleranz dennoch zu favorisieren. Diese wird am häufigsten in gegenwärtigen Studien verwendet, was einen Vergleich mit diesen erst ermöglichen würde. Zudem ist diese Methode in der Anwendung der Cobb-Winkelmessung und der Beurteilung der Knochenbrücken aus oben genannten Gründen überlegen. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die exakte Lage der Messpunkte auf dem Dornfortsatz angegeben wird, da sich die Distanz des Messpunktes zum Wirbelkörper auf die Fusionsraten auswirkt. Ein Messpunkt nahe am WK birgt hier den Vorteil, dass dieser geringerer Varianz unterlegen ist, da die Länge der Dornfortsätze je nach Segment und Person variieren kann und sich diese Unterschiede auf die Messung an den Dornfortsatzenden niederschlagen würden.

### 4.3. Sinterung

Wie für die radiologische Beurteilung von Alignment und Fusion existieren auch für die Beurteilung der Segmentsinterung mehrere Messmethoden. Keine dieser Methoden wurde bisher als Goldstandard anerkannt, weshalb verschiedene Studien unterschiedliche Messmethoden und Sinterungsdefinitionen verwenden. Bisher wurde nicht geprüft, ob diese Methoden zu einheitlichen Ergebnissen führen, was eine Gegenüberstellung der Studienergebnisse erschwert. Wir entschieden uns daher, Methoden zur Sinterungsmessung auf ihre Vergleichbarkeit und klinische Relevanz hin zu prüfen.

Wir wählten dafür die ventrale und dorsale Segmenthöhenmessung aus, da diese Methoden am häufigsten in aktuell existierenden Studien zu ACDF-Operationen vertreten sind. Die Methode nach Mochida wurde bisher hauptsächlich an MRT-Aufnahmen angewandt (Mochida et al., 2001). Wir entschieden uns dennoch diese Methode anzuwenden, weil sie eine reproduzierbare Sinterungsmessung in der Segmentmitte ermöglicht und deshalb eine Alternative zu den gängigen Höhenmessungen darstellt. Die reine Messung der Bandscheibenhöhe wurde von uns nicht berücksichtigt, da diese aufgrund der knöchernen Durchbauung des Intervertebralraums nach ACDF-Operationen schlecht abgrenzbar ist.

Unterschiede ergaben sich bereits in der Anwendbarkeit der Methoden. Die ventrale Segmenthöhe konnte in 6 von 208 Fällen nicht gemessen werden, da die Wirbelkörpergrenzen aufgrund degenerativer Veränderungen oder Qualitätsmängeln der Röntgenaufnahmen nicht klar abgrenzbar waren. Die dorsale Segmenthöhe konnte aus diesem Grund hingegen nur in einem Fall nicht bestimmt werden. Die Mochida-Methode war in allen Fällen anwendbar. Es muss jedoch erwähnt werden, dass sich die Messung nach Mochida deutlich schwieriger und zeitaufwändiger gestaltete als die Messung der Segmenthöhen. Dies liegt an der komplizierteren Abmessung der Röntgenbilder und an der anschließenden Berechnung des eigentlichen Ergebnisses.

Statistisch prüften wir zunächst, ob die verschiedenen Methoden zu vergleichbaren absoluten Messergebnissen und Sinterungsraten führen. Dabei zeigte sich, dass die absoluten Messergebnisse der ventralen und dorsalen Höhenmessung stark miteinander korrelieren, während die Ergebnisse der Mochida-Methode mit keiner der beiden anderen Methoden signifikante Korrelationswerte ergaben. Nach aktuellem Wissen des Autors existiert noch keine vergleichbare Korrelationsprüfung in der bestehenden Literatur. Von größerem Interesse in klinischen Studien ist jedoch die endgültige Sinterungsrate der Patientengruppen. Hier zeigten sich in unserer Arbeit erhebliche Unterschiede zwischen den Messmethoden. So wurden nach ventraler Höhenmessung nahezu doppelt so viele Fälle als Sinterung gewertet als nach dorsaler Höhenmessung. In der Prüfung der fallbezogenen Übereinstimmung zeigte sich zwischen diesen beiden Methoden eine nur mäßige Übereinstimmung. Die Mochida-Methode zeigte hier keine Übereinstimmung mit den Höhenmessungen.

Unsere Ergebnisse zeigen also, dass verschiedene Methoden zur Sinterungsmessung zu unterschiedlichen Resultaten führen. Zwar korrelierten die Messergebnisse der dorsalen und ventralen Segmenthöhenmessung stark, der Unterschied der jeweiligen Sinterungsraten und die nur mäßige fallbezogene Übereinstimmung lassen einen Vergleich dennoch kaum zu.

Um zu prüfen, ob eine der Methoden eine Aussage auf die klinischen Resultate zulässt, wurden die Sinterungsbewertungen den Werten der VAS-Nackenschmerz statistisch gegenübergestellt. Die logistische Regression ergab dabei, dass lediglich 2,5% der auf der VAS angegebenen Werte durch die Sinterungsbewertungen erklärt werden können. Ob Sinterung vorlag oder nicht, war hier bei keiner der Messmethoden mit einem signifikanten Risiko verbunden, höhere oder niedrigere Werte auf der VAS-Nackenschmerz zu erzielen. Auch der Verlauf der Nackenschmerzen scheint nicht von dem gemessenen Sinterungsgeschehen abhängig zu sein, denn die Veränderungen der Nackenschmerzen am Tag des Kontrolltermins verglichen mit denen vor der ACDF-Operation korrelierten im Chi-Quadrat-Test mit keiner der Sinterungsbewertungen signifikant. Diese Ergebnisse decken sich mit denen der bestehenden Literatur, welche ebenfalls keinen Zusammenhang zwischen Subsidence und klinischen Parametern aufzeigen. (Bartels, Donk, & Feuth, 2006; Cabraja, Oezdemir, Koeppen, & Kroppenstedt, 2012; Lemcke, Menz, Al-Zain, & Meier, 2007; Pechlivanis et al., 2011; Zajonz et al., 2014)

Abschließend lässt sich damit feststellen, dass die Ergebnisse der unterschiedlichen Messmethoden nicht zu einheitlichen Ergebnissen führen und sich deshalb auch die Sinterungsraten von Studien, welche unterschiedlichen Methoden zur Sinterungsmessung anwenden, nicht gegenüberstellen lassen. Einen Zusammenhang mit der Ausprägung des Nackenschmerzes nach ACDF-Operation wies keine der unterschiedlichen Sinterungsbewertungen auf. Eine Empfehlung für eine der von uns angewandten Methoden können wir deshalb nicht aussprechen. Da die unterschiedlichen radiologischen Messmethoden nicht miteinander korrelieren und keiner der radiologischen Werte mit der Klinik korrelierte sollte wegen deren mangelnder Relevanz gänzlich auf die standardmäßige Anfertigung dieser Röntgenbilder verzichtet werden

## 5. Zusammenfassung

Um den Erfolg von ACDF-Operationen zu evaluieren, werden konventionelle Röntgenbilder zu Rate gezogen. Meist wird anhand dieser Aufnahmen das Alignment, der Fusionsstatus und das Sinterungsgeschehen bewertet. Für keinen dieser Bereiche existiert jedoch eine Messmethode, welche als Goldstandard anerkannt ist. Folglich werden von unterschiedlichen Autoren unterschiedliche Messmethoden verwendet, was die Vergleichbarkeit der Studien erschwert.

Dies ist die erste Studie, welche die Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Messmethoden untersucht. Dazu wurden die Röntgenaufnahmen von 207 Patienten ausgewertet, welche sich zwischen 2007 und 2010 am Klinikum rechts der Isar einer ACDF unterzogen. Um das Alignment, den Fusionsstatus und das Sinterungsverhalten zu bewerten, wurden je drei unterschiedliche Messmethoden angewandt. Die Ergebnisse dieser Messmethoden wurden hinsichtlich ihrer Vergleichbarkeit miteinander untersucht. Damit die radiologischen Messergebnisse mit den klinischen Ergebnissen verglichen werden konnten, wurden Fragebögen mit einer VAS für Nackenschmerz vor der OP und am Tag der Kontrolluntersuchung an die Patienten ausgegeben. 176 von 208 Patienten füllten diese vollständig aus.

Lediglich zwischen den Alignmentbewertungen mittels JPSSM und Cobb-Winkel konnten ausreichend hohe Übereinstimmungs- und Korrelationswerte festgestellt werden. Alle anderen Methoden zur Bewertung von Fusion, Alignment und Sinterung zeigten schwache Korrelationen und Übereinstimmungswerte untereinander. Bei keiner der von uns angewandten Messmethoden ließ sich ein direkter Zusammenhang mit den klinischen Ergebnissen feststellen.

Unsere Resultate zeigen, dass Studien, welche unterschiedliche Methoden zur Alignment-, Fusions- und Sinterungsbewertung anwenden, zumindest bzgl. ihrer radiologischen Ergebnisse nicht miteinander verglichen werden können. Einheitliche Messmethoden wären dafür dringend notwendig. Weiter ließ sich feststellen, dass keine dieser Messungen eine direkte Aussage über den klinischen Erfolg der ACDF-Operationen zuließ. Auf die standardmäßige Anfertigung dieser Röntgenbilder sollte daher verzichtet werden.

## 6. Abkürzungsverzeichnis

a	Bandscheibenhöhe
A	Wirbelkörperhöhe
Abb.	Abbildung
ACDF	Anteriore zervikale Diskektomie und Fusion
Bsp.	Beispiel
C2	zweiter Halswirbel
C7	siebter Halswirbel
DBM	demineralized bone matrix
HWS	Halswirbelsäule
JPSL	Jacksons physiological stress lines
JPSLM	Jacksons physiological stress line method
LWS	Lendenwirbelsäule
max.	maximal
min.	minimal
mm	Millimeter
MRT	Magnetresonanztomographie
OP	Operation
PEEK	Polyetheretherketon
s.	siehe
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
VAS	Visuelle Analog Skala
WK	Wirbelkörper

## 7. Literaturverzeichnis

- Ames, C. P., Blondel, B., Scheer, J. K., Schwab, F. J., Le Huec, J. C., Massicotte, E. M., & Lafage, V. (2013). Cervical radiographical alignment: comprehensive assessment techniques and potential importance in cervical myelopathy. *Spine*, 38(22 Suppl 1), S149-160. doi:10.1097/BRS.0b013e3182a7f449
- Bagby, G. W. (1988). Arthrodesis by the distraction-compression method using a stainless steel implant. *Orthopedics*, 11(6), 931-934.
- Bartels, R. H., Donk, R. D., & Feuth, T. (2006). Subsidence of stand-alone cervical carbon fiber cages. *Neurosurgery*, 58(3), 502-508; discussion 502-508. doi:10.1227/01.NEU.0000197258.30821.50
- Bolten, W., Kempel-Waibel, A., & Pfforringer, W. (1998). Analysis of the cost of illness in backache. *Medizinische Klinik (Munich, Germany: 1983)*, 93(6), 388-393.
- Börm, W.. (2009). *Spinale Neurochirurgie: operatives Management von Wirbelsäulenerkrankungen; mit 107 Tabellen*: Schattauer Verlag, Stuttgart.
- Cabraja, M., Oezdemir, S., Koeppen, D., & Kroppenstedt, S. (2012). Anterior cervical discectomy and fusion: comparison of titanium and polyetheretherketone cages. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 13, 172. doi:10.1186/1471-2474-13-172
- Cannada, L. K., Scherping, S. C., Yoo, J. U., Jones, P. K., & Emery, S. E. (2003). Pseudoarthrosis of the cervical spine: a comparison of radiographic diagnostic measures. *Spine*, 28(1), 46-51. doi:10.1097/01.brs.0000038157.49250.59
- Cauthen, J. C., Kinard, R. E., Vogler, J. B., Jackson, D. E., DePaz, O. B., Hunter, O. L., Wasserburger, L. B., & Williams, V. M. (1998). Outcome Analysis of Noninstrumented Anterior Cervical Discectomy and Interbody Fusion in 348 Patients. *Spine*, 23(2), 188-192. <https://doi.org/10.1097/00007632-199801150-00008>
- Cloward, R. B. (1958). The anterior approach for removal of ruptured cervical disks. *Journal of Neurosurgery*, 15(6), 602-617. doi:10.3171/jns.1958.15.6.0602
- Davis, R. J., Kim, K. D., Hisey, M. S., Hoffman, G. A., Bae, H. W., Gaede, S. E., Rashbaum, R. F., Nunley, D. P., Peterson, D. L., & Stokes, J. K. (2013). Cervical total disc replacement with the Mobi-C cervical artificial disc compared with anterior discectomy and fusion for treatment of 2-level symptomatic degenerative disc disease: a prospective, randomized, controlled multicenter clinical trial: clinical article. *Journal of Neurosurgery: Spine*, 19(5), 532-545. doi:10.3171/2013.6.SPINE12527
- Di Martino, A., Papalia, R., Albo, E., Cortesi, L., Denaro, L., & Denaro, V. (2015). Cervical spine alignment in disc arthroplasty: should we change our perspective? *European Spine Journal*, 24 Suppl 7, 810-825. doi:10.1007/s00586-015-4258-6
- Faldini, C., Miscione, M. T., Acri, F., Leonetti, D., Nanni, M., Chehrassan, M., & Giannini, S. (2012). Single level cervical fusion by an anterior approach using autologous bone graft influences the adjacent levels degenerative changes: clinical and radiographic results at 10-year minimum follow-up. *European Spine Journal*, 21(1), 90-93. doi:10.1007/s00586-012-2215-1
- Fejer, R., Kyvik, K. O., & Hartvigsen, J. (2006). The prevalence of neck pain in the world population: a systematic critical review of the literature. *European Spine Journal*, 15(6), 834-848. doi:10.1007/s00586-004-0864-4

- Gercek, E., Arlet, V., Delisle, J., & Marchesi, D. (2003). Subsidence of stand-alone cervical cages in anterior interbody fusion: warning. *European Spine Journal*, *12*(5), 513-516. doi:10.1007/s00586-003-0539-6
- Hacker, R. J. (2000). A randomized prospective study of an anterior cervical interbody fusion device with a minimum of 2 years of follow-up results. *Journal of Neurosurgery*, *93*(2 Suppl), 222-226.
- Hipp, J. A., Reitman, C. A., & Wharton, N. (2005). Defining pseudoarthrosis in the cervical spine with differing motion thresholds. *Spine*, *30*(2), 209-210. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000151011.32573.f1>
- Hisey, M. S., Bae, H. W., Davis, R., Gaede, S., Hoffman, G., Kim, K., Pierce, D. N., Peterson, D., Rashbaum, R., & Stokes, J. (2014). Multi-center, prospective, randomized, controlled investigational device exemption clinical trial comparing Mobi-C Cervical Artificial Disc to anterior discectomy and fusion in the treatment of symptomatic degenerative disc disease in the cervical spine. *Int J Spine Surg*, *8*. doi:10.14444/1007
- Scheer, J. K., Tang, J. A., Smith, J. S., Acosta, F. L. Jr., Protopsaltis, T. S., Blondel, B., Bess, J., Shaffrey, C. I., Deviren, V., Lafage, V., Schwab, F., Ames, C. P., & The International Spine Study Group. (2013). Cervical spine alignment, sagittal deformity, and clinical implications. *Journal of Neurosurgery: Spine*, *19*(2), 141-159. doi:doi:10.3171/2013.4.SPINE12838
- Kaiser, M. G., Mummaneni, P. V., Matz, P. G., Anderson, P. A., Groff, M. W., Heary, R. F., Holly, L. H., Ryken, T. C., Choudhri, T. F., Vresilovic, E. J., & Resnick, D. K. (2009). Radiographic assessment of cervical subaxial fusion. *Journal of Neurosurgery: Spine*, *11*(2), 221-227. doi:10.3171/2009.3.SPINE08719
- Kaptain, G. J., Simmons, N. E., Replogle, R. E., & Pobereskin, L. (2000). Incidence and outcome of kyphotic deformity following laminectomy for cervical spondylotic myelopathy. *Journal of Neurosurgery*, *93*(2 Suppl), 199-204.
- Katsuura, A., Hukuda, S., Saruhashi, Y., & Mori, K. (2001). Kyphotic malalignment after anterior cervical fusion is one of the factors promoting the degenerative process in adjacent intervertebral levels. *European Spine Journal*, *10*(4), 320-324. doi:10.1007/s005860000243
- Woong-Beom, K., Seung-Jae, H., Hoyong, C., Ki-Jeong, K., Tae-Ahn, J. & Hyun-Jib, K. (2016). Long-Term Follow-Up Results of Anterior Cervical Inter-Body Fusion with Stand-Alone Cages. *Journal of Korean Neurosurgical Society*, *59*(4), 385-391. doi:10.3340/jkns.2016.59.4.385
- Krämer, Jürgen. (2014). *Bandscheibenbedingte Erkrankungen*: Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York.
- Laing, R. J., Ng, I., Seeley, H. M., & Hutchinson, P. J. (2001). Prospective study of clinical and radiological outcome after anterior cervical discectomy. *British Journal of Neurosurgery*, *15*(4), 319-323.
- Lemcke, J., Menz, H., Al-Zain, F., & Meier, U. (2007). [Outcome after cervical anterior fusion--a clinical study of 368 patients]. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*, *145*(6), 744-752. doi:10.1055/s-2007-965800
- Löfgren, Håkan, Johannsson, Valur, Olsson, Tord, Ryd, Leif, & Levander, B. (2000). Rigid Fusion After Cloward Operation for Cervical Disc Disease Using Autograft, Allograft, or Xenograft: A Randomized Study With Radiostereometric and Clinical Follow-Up Assessment. *Spine*, *25*(15), 1908-1916.
- Mochida, J., Toh, E., Nomura, T., & Nishimura, K. (2001). The risks and benefits of percutaneous nucleotomy for lumbar disc herniation. A 10-year longitudinal study. *Journal of Bone and Joint Surgery (British Volume)*, *83*(4), 501-505.

- Moon, H. J., Kim, J. H., Kim, J. H., Kwon, T. H., Chung, H. S., & Park, Y. K. (2011). The effects of anterior cervical discectomy and fusion with stand-alone cages at two contiguous levels on cervical alignment and outcomes. *Acta Neurochirurgica*, *153*(3), 559-565. doi:10.1007/s00701-010-0879-z
- Pechlivanis, I., Thuring, T., Brenke, C., Seiz, M., Thome, C., Barth, M., Harders, A., & Schmieder, K. (2011). Non-fusion rates in anterior cervical discectomy and implantation of empty polyetheretherketone cages. *Spine*, *36*(1), 15-20. doi:10.1097/BRS.0b013e3181cbf870
- Raspe, Hans-Heinrich. (2012). *Rückenschmerzen* (Vol. Heft 53). Berlin: Robert Koch-Institut (Hrsg).
- Schroder, J., & Wassmann, H. (2001). Polymethylmethacrylate (PMMA) in anterior cervical spine surgery - current situation in Germany. *Zentralblatt für Neurochirurgie*, *62*(2), 33-36. doi:10.1055/s-2002-19475
- Shad, A., Leach, J. C., Teddy, P. J., & Cadoux-Hudson, T. A. (2005). Use of the Solis cage and local autologous bone graft for anterior cervical discectomy and fusion: early technical experience. *Journal of Neurosurgery: Spine*, *2*(2), 116-122. doi:10.3171/spi.2005.2.2.0116
- Silber, J. S., Anderson, D. G., Daffner, S. D., Brislin, B. T., Leland, J. M., Hilibrand, A. S., Vaccaro, A. R., & Albert, T. J. (2003). Donor site morbidity after anterior iliac crest bone harvest for single-level anterior cervical discectomy and fusion. *Spine*, *28*(2), 134-139. doi:10.1097/01.BRS.0000041587.55176.67
- Skolasky, R. L., Maggard, A. M., Hilibrand, A. S., Northrup, B. E., Ullrich, C. G., Albert, T. J., Coe, J. D., & Riley, L. H. 3rd, (2006). Agreement between surgeons and an independent panel with respect to surgical site fusion after single-level anterior cervical spine surgery: a prospective, multicenter study. *Spine*, *31*(15), E503-506. doi:110.1097/01.brs.0000224503.31608.f9
- Smith, G. W., & Robinson, R. A. (1958). The treatment of certain cervical-spine disorders by anterior removal of the intervertebral disc and interbody fusion. *Journal of Bone and Joint Surgery (American Volume)*, *40-a*(3), 607-624.
- Statistisches Bundesamt, Zweigstelle Bonn. (2014). Krankenhausstatistik - Diagnosedaten der Patienten und Patientinnen in Krankenhäusern., *Gesundheit*.
- Sudhakar, N., Laing, R. J. C., & Redfern, R. M. (2003). Assessment of fusion after anterior cervical discectomy. *British Journal of Neurosurgery*, *17*(1), 54-59. doi:10.3109/02688690309177972
- Takeshita, K., Murakami, M., Kobayashi, A., & Nakamura, C. (2001). Relationship between cervical curvature index (Ishihara) and cervical spine angle (C2-7). *Journal of Orthopaedic Science*, *6*(3), 223-226. doi:10.1007/s007760100038
- Tuli, S. K., Chen, P., Eichler, M. E., & Woodard, E. J. (2004). Reliability of radiologic assessment of fusion: cervical fibular allograft model. *Spine*, *29*(8), 856-860.
- Upadhyaya, C. D., Wu, J. C., Trost, G., Haid, R. W., Traynelis, V. C., Tay, B., & Mummaneni, P. V. (2012). Analysis of the three United States Food and Drug Administration investigational device exemption cervical arthroplasty trials. *Journal of Neurosurgery: Spine*, *16*(3), 216-228. doi:10.3171/2011.6.SPINE10623
- Villavicencio, A. T., Babuska, J. M., Ashton, A., Busch, E., Roeca, C., Nelson, E. L., & Burneikiene, S. (2011). Prospective, randomized, double-blind clinical study evaluating the correlation of clinical outcomes and cervical sagittal alignment. *Neurosurgery*, *68*(5), 1309-1316; discussion 1316. doi:DOI:10.1227/NEU.0b013e31820b51f3
- Wu, W. J., Jiang, L. S., Liang, Y., & Dai, L. Y. (2012). 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. *European Spine Journal*, 21(7), 1374-1382. doi:10.1007/s00586-011-2131-9

Zajonz, D., Franke, A. C., von der Hoh, N., Voelker, A., Moche, M., Gulow, J., & Heyde, C. E. (2014). 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*, 8(1), 43. doi:10.1186/s13037-014-0043-4

## 8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Deskriptive Daten des Patientenkollektivs .....	9
Tabelle 2: Fusionskriterien der jeweiligen Messmethoden .....	19
Tabelle 3: Mittelwerte der gemessenen Alignmentwinkel .....	20
Tabelle 4: Bewertung des Alignments am Tag der Kontrolluntersuchung je nach Messmethode in absoluten Zahlen und prozentualen Anteilen .....	22
Tabelle 5: Ergebnisse der Übereinstimmungsprüfung mittels Cohens Kappa .....	22
Tabelle 6: Ergebnisse der linearen Regression mit VAS-Nackenschmerz und den Stellungsbewertungen zum Zeitpunkt des Kontrolltermins. ....	23
Tabelle 7: Mittelwerte der Messdifferenzen und anteilmäßige Bewertung der Alignmententwicklung .....	24
Tabelle 8: Cohens-Kappa-Werte der Alignmentveränderungen je nach Messmethode. ....	24
Tabelle 9: Kreuztabelle zwischen der Bewertung der Alignmententwicklung nach JPSLM und dem Verlauf der Nackenschmerzen .....	25
Tabelle 10: Kreuztabelle der Verlaufsbewertungen mittels Cobb und dem Verlauf der Nackenschmerzen .....	26
Tabelle 11: Kreuztabelle der Verlaufsbewertungen mittels Laing und dem Verlauf der Nackenschmerzen .....	27
Tabelle 12: Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen den Ergebnissen der unterschiedlichen Messungen .....	28
Tabelle 13: Mittelwerte der gemessenen Stellungsdifferenzen und Fusionsraten der jeweiligen Methoden .....	28
Tabelle 14: Übereinstimmungswerte der Fusionsbewertung nach Cohens Kappa .....	30
Tabelle 15: Ergebnisse der logistischen Regression der Fusionsbewertungen und der VAS-Werte zum Kontrolltermin .....	31
Tabelle 16: Kreuztabelle zwischen Fusionsbewertung mittels interspinaler Abstandsmessung an einem dem WK nahen Punkt und dem Verlauf der Nackenschmerzen .....	32
Tabelle 17: Kreuztabelle von Fusionsbewertung mittels interspinaler Abstandsmessung an einem dem WK fernen Punkt und dem Verlauf der Nackenschmerzen .....	32
Tabelle 18: Kreuztabelle von Fusionsbewertung mittels Winkelmessung nach Cobb 2° und dem Verlauf der Nackenschmerzen .....	33
Tabelle 19: Kreuztabelle von Fusionsbewertung mittels Winkelmessung nach Cobb 4° und dem Verlauf der Nackenschmerzen .....	34
Tabelle 20: Kreuztabelle von Fusionsbewertung anhand der knöchernen Segmentüberbrückung und der Veränderung der VAS-Werte .....	34
Tabelle 21: Mittelwerte der Messungen und Sinterungsraten der unterschiedlichen Methoden .....	35
Tabelle 22: Korrelation der Sinterungsmessungen nach Pearson .....	36
Tabelle 23: Übereinstimmung der Sinterungsbewertung mittels Cohens Kappa .....	36
Tabelle 24: Ergebnisse der logistischen Regression zwischen den Sinterungsbewertungen und den VAS-Werten .....	37
Tabelle 25: Kreuztabelle von Sinterungsbewertung anhand der ventralen Höhenmessung dem Verlauf der Nackenschmerzen .....	38
Tabelle 26: Kreuztabelle von Sinterungsbewertung anhand der dorsalen Höhenmessung und dem Verlauf der Nackenschmerzen .....	38
Tabelle 27: Kreuztabelle der Sinterungsbewertung mittels Mochida-Methode (10%) und dem Verlauf der Nackenschmerzen .....	39
Tabelle 28: Kreuztabelle der Sinterungsbewertung mittels Mochida-Methode (20%) und dem Verlauf der Nackenschmerzen .....	40

## 9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anzahl diagnostizierter zervikaler Bandscheibenschäden in den Jahren 2005-2011 in deutschen Krankenhäusern (Statistisches Bundesamt, 2014) .....	6
Abbildung 2: NUBIC® Cage, SIGNUS Medizintechnik GmbH, "Data Sheet, Vertebral Body Fusion – simple and efficient" (Retrieved from <a href="http://www.wlorenz.com.co/sites/default/files/documentos_producto/Catalogo-Nubic.pdf">http://www.wlorenz.com.co/sites/default/files/documentos_producto/Catalogo-Nubic.pdf</a> , 12.01.2017) .....	9
Abbildung 3: Darstellung der Alignmentmessung nach Cobb mittels Winkelmessung zwischen zwei Geraden, welche auf den Deckplatten des 2. und 7. Halswirbels gezogen werden (Shad, Leach, Teddy, & Cadoux-Hudson, 2005) .....	11
Abbildung 4: Schematische Darstellung der Alignmentmessung mittels "Jacksons physiological stress line method" (Takeshita, Murakami, Kobayashi, & Nakamura, 2001) .....	12
Abbildung 5: Lordose- und Kyphose-Stellung nach Laing in aufrechter Position (Eigene Darstellung) .....	13
Abbildung 6: Cobb-Winkelmessung zur Fusionsprüfung in Inklination (links) und Reklination (rechts). Aufnahmen des gleichen Patienten zum Zeitpunkt der späten Verlaufskontrolle (Eigene Darstellung) .....	14
Abbildung 7: Messung der interspinalen Abstände in Inklination links und Reklination (rechts) Aufnahmen des gleichen Patienten zum Zeitpunkt der späten Verlaufskontrolle (Eigene Darstellung) .....	14
Abbildung 8: Bsp. für unvollständige (links) und vollständige (rechts) knöcherne Überbrückung (Eigene Darstellung) .....	15
Abbildung 9: Dorsale und ventrale Segmenthöhenmessung mittels Geraden, welche von der Deckplatte des oberen Wirbels, bis zur Endplatte des unteren Wirbels gezogen werden (Eigene Darstellung) .....	16
Abbildung 10: Schematische Darstellung der Messmethode nach Mochida mit entsprechender Formel zur Berechnung des prozentualen Sinterungs-Wertes (Mochida et al., 2001) .....	17
Abbildung 11: Scatterplot der Messergebnisse des Kontrolltermins mittels JPSL(bzw. Katsuura)- und Cobb-Methode (Eigene Darstellung) .....	21
Abbildung 12: Fusionsraten der verschiedenen Methoden (Eigene Darstellung) .....	29

## **10. Danksagung**

*Herrn Prof. Dr. med. Jens Lehmborg danke ich für die Überlassung des Themas.*

*Herrn PD Dr. med. Ehab Shiban danke ich für die Betreuung und Unterstützung bei der Durchführung der gesamten Arbeit.*

*Mein besonderer Dank gilt allen Probanden, die durch ihre Teilnahme diese Studie erst ermöglicht haben.*

*Meinen Eltern möchte ich für ihre Unterstützung und Ermutigung sowohl während des Studiums als auch darüber hinaus danken.*